

# STUDY GRAFIK $R_n$ TERHADAP $\rho$ SEBAGAI ALAT BANTU DALAM MEMPERMUDAH DAN MEMPERCEPAT PROSES DISAIN BALOK BETON BERTULANG

Eka Susanti, Edy hariyanto  
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

## ABSTRAK

Proses disain balok beton bertulang merupakan proses do and check yang terus berulang. Proses tersebut memerlukan banyak waktu untuk mendapatkan disain yang kuat dengan dimensi dan jumlah tulangan yang ekonomis. Proses disain yang memerlukan waktu tersebut akan semakin rumit dan semakin lama bila permodelan disain semakin didekatkan pada permodelan yang mendekati kenyataan dan kebutuhan.

Pengecoran plat lantai dan balok pendukung dilakukan bersamaan sehingga menjadi kesatuan yang monolit. Karena itu disebut dengan Balok T, dimana plat lantai sebagai sayap dari balok, ikut menyumbangkan kekuatan.

Daktilitas balok diperlukan dalam disain struktur tahan gempa, salah satu parameter yang meningkatkan daktilitas adalah penambahan tulangan tekan. Disain dengan tambahan tulangan tekan disebut dengan disain balok bertulangan rangkap.

Disain balok T apalagi dengan tulangan rangkap lebih rumit dan memerlukan banyak waktu.

Penelitian ini bertujuan membuat alat bantu disain balok beton bertulang berupa grafik  $R_n$  terhadap  $\rho$ . Grafik tersebut dibuat untuk balok persegi dengan tulangan tunggal dan rangkap, juga untuk balok T dengan tulangan tunggal dan rangkap dengan parameter mutu beton, mutu baja dan ukuran penampang yang lebih banyak variasinya

***Kata kunci:*** balok persegi, balok T, tulangan tunggal, tulangan rangkap,  $R_n$  dan  $\rho$ .

# **Bab I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Proses disain balok beton bertulang merupakan proses do and check yang terus berulang. Proses tersebut memerlukan banyak waktu untuk mendapatkan disain yang kuat dengan dimensi dan jumlah tulangan yang ekonomis. Proses disain yang memerlukan waktu tersebut akan semakin rumit dan semakin lama bila permodelan disain semakin didekatkan pada permodelan yang mendekati kenyataan dan kebutuhan.

Pada kenyataan dilapangan, pelaksanaan pengecoran plat lantai dan balok pendukung selalu dilakukan bersamaan. Karena itu balok dan pelat merupakan satu kesatuan yang monolit. Dengan kondisi ini plat beton akan berfungsi sebagai sayap dari balok T . Sayap akan ikut menyumbangkan kekuatan balok. Dalam mendisain balok yang menerima momen positif, lebih tepat bila dalam proses disain, balok dimodelkan sebagai balok T bukan balok persegi. Sehingga akan dihasilkan disain balok yang lebih ekonomis. Namun proses disain balok T merupakan proses yang lebih rumit dan lama dibanding disain balok persegi.

Dengan berkembangnya disain struktur tahan gempa, diperlukan elemen struktur yang daktail, yang mampu menerima beban gempa. Salah satu parameter yang meningkatkan daktilitas balok adalah penambahan tulangan tekan. Untuk keperluan tersebut, balok harus didisain dengan tulangan tarik dan tekan. Disain tersebut disebut dengan disain balok dengan tulangan rangkap. Disain balok dengan tulangan rangkap lebih rumit dibanding balok dengan tulangan tunggal.

Pembuatan struktur bangunan dan jembatan didaerah terkadang dengan terpaksa dilakukan oleh orang awam. Karena itu diperlukan alat bantu untuk mendisain struktur balok beton bertulang, agar didapat disain struktur yang lebih mudah, cepat, tepat dan ekonomis.

Penulis pernah menjumpai beberapa literatur yang memuat grafik  $R_n$  terhadap  $\rho$  sebagai alat bantu dalam mempermudah dan mempercepat proses disain balok beton bertulang. Namun grafik tersebut hanya untuk balok persegi dengan tulangan tunggal dan parameter mutu beton, mutu baja dan ukuran penampang yang terbatas.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Penelitian ini akan membahas :

1. Bagaimana membuat alat bantu disain balok beton bertulang berupa grafik  $R_n$  terhadap  $\rho$  untuk balok persegi dan balok T dengan tulangan tunggal dan rangkap dengan variasi parameter mutu bahan dan ukuran penampang yang lebih banyak.
2. Bagaimana menggunakan alat bantu tersebut dalam mempermudah dan mempercepat proses disain balok beton bertulang.

### **1.3. Batasan Masalah**

Penelitian ini membatasi permasalahan pada penggunaan parameter disain sebagai berikut:

- a. Digunakan model balok persegi dan balok T dengan tulangan tunggal dan rangkap.
- b. Mutu beton  $f_c' = 17,5 \text{ Mpa}; 20 \text{ Mpa}; 22,5 \text{ Mpa}; 25 \text{ Mpa}; 30 \text{ Mpa}; 35 \text{ Mpa}; 40 \text{ Mpa}$
- c. Mutu baja  $f_y = 240 \text{ Mpa}; 320 \text{ Mpa}; 400 \text{ Mpa}$
- d. Rasio tulangan  $\rho =$  dari  $\rho_{\min}$  sampai  $\rho_{\max}$

### **1.4. Tujuan Penelitian**

- a. Membuat alat bantu disain balok beton bertulang berupa grafik  $R_n$  terhadap  $\rho$  untuk balok persegi dan balok T dengan tulangan tunggal dan rangkap dengan variasi parameter mutu bahan dan ukuran penampang yang lebih banyak.
- b. Membuat prosedur penggunaan alat bantu tersebut dalam mempermudah dan mempercepat proses disain balok beton bertulang.

### **1.5. Hasil**

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

Dihasilkan alat bantu disain balok beton bertulang berupa grafik  $R_n$  terhadap  $\rho$  yang dapat mempermudah dan mempercepat proses disain.

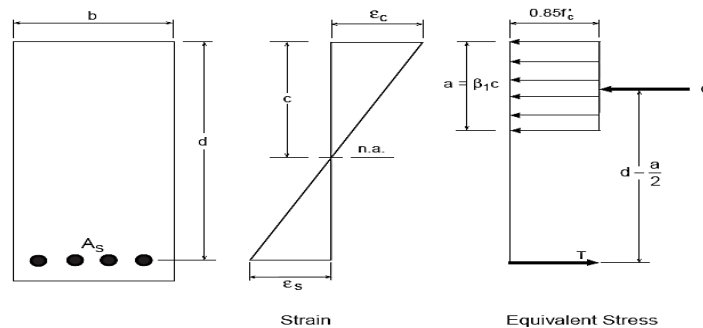
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Balok merupakan elemen struktur utama yang langsung memikul beban lantai. Gaya dalam yang paling menentukan dalam disain tulangan pada balok adalah momen lentur akibat adanya beban lateral. Jenis-jenis balok berdasarkan asumsi yang digunakan untuk mendisain tulangan lentur, adalah:

1. Balok Persegi tulangan tunggal
2. Balok Persegi tulangan rangkap
3. Balok T tulangan tunggal
4. Balok T tulangan rangkap

#### 2.1. Balok Persegi Tulangan Tunggal



Gambar 2.1 Diagram regangan dan gaya-gaya dalam C dan T balok persegi dengan tulangan tunggal

Pada balok persegi dengan tulangan tunggal seperti pada Gambar 2.1, kesetimbangan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

$$C = T$$

$$0,85 f'_c \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y$$

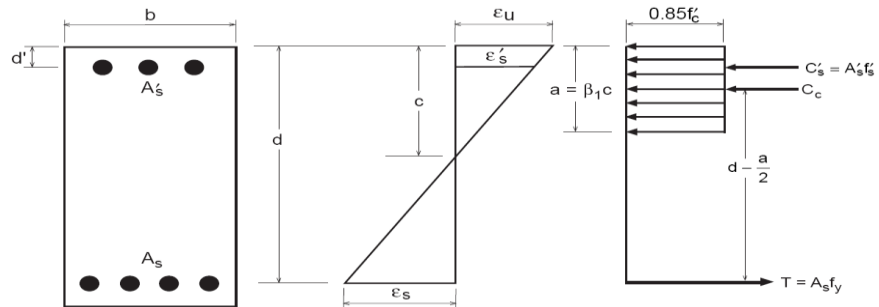
Sehingga tinggi daerah tekan,  $a$  :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b}$$

Dan momen nominalnya:

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

## 2.2. Balok Persegi Tulangan Rangkap



Gambar 2.2 Diagram regangan dan gaya-gaya dalam C dan T balok persegi dengan tulangan rangkap

Pada balok persegi dengan tulangan rangkap seperti pada Gambar 2.2, kesetimbangan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

$$C = T$$

$$C_c + C_s' = T$$

$$0,85 f_c' \cdot b \cdot a + A_s' f_s' = A_s \cdot f_y$$

Sehingga tinggi daerah tekan,  $a$  :

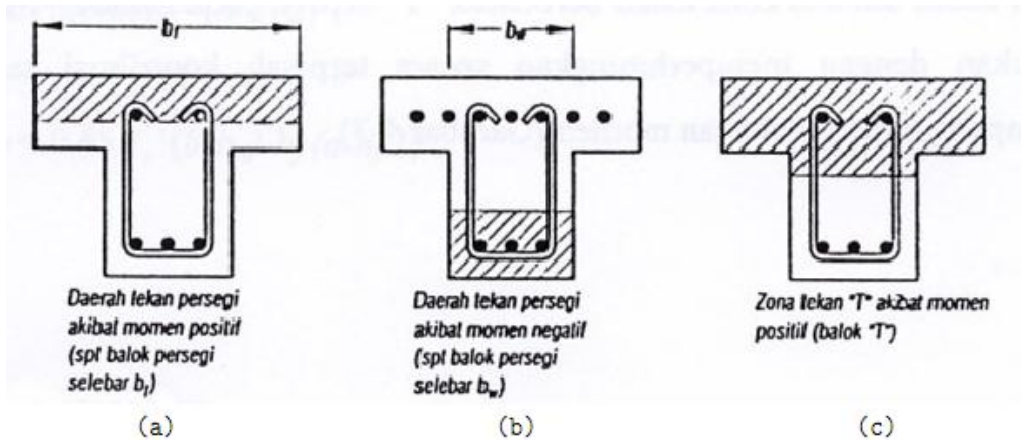
$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 f_c' \cdot b}$$

Dan momen nominalnya:

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d')$$

### Balok T

Balok T dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 2.3 Kemungkinan Bagian Tekan pada Balok T

Gambar 2.3. Jika momen yang bekerja pada penampang adalah momen positif, maka ada 2 kemungkinan yang terjadi :

1. Balok akan berperilaku sebagai balok T palsu jika bagian yang tertekan hanya pada bagian sayap saja (Gambar 2.3.(a)), dengan lebar bagian tekan  $b_f$ . Sehingga Momen nominal balok tersebut adalah:

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot j \cdot d \quad \text{Atau} \quad M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a)$$

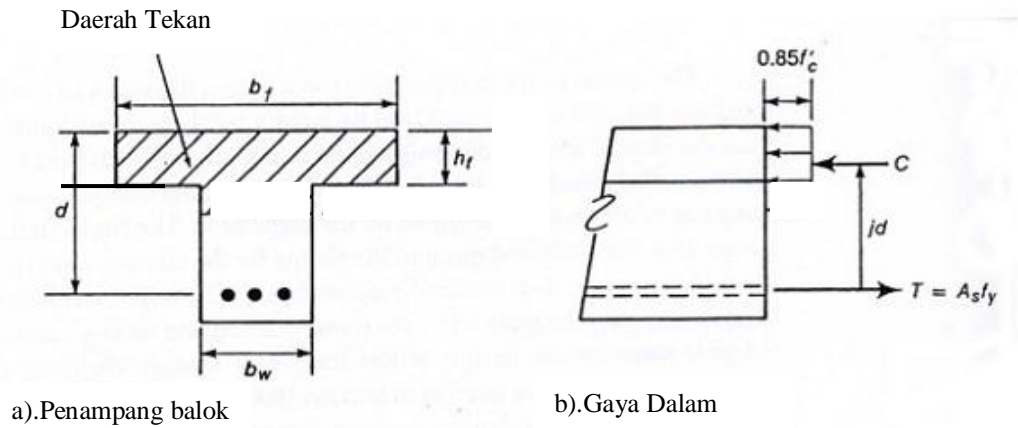
2. Balok akan berperilaku sebagai balok T murni jika bagian yang tertekan meliputi sayap dan badan balok T (Gambar 2.3(c)).

Bagian pelat yang ikut menyumbangkan kekuatan pada balok adalah sebesar:

- a.  $b_f = 1/4$  bentang baloknya sendiri.
- b.  $b_f < 8$  kali tebal pelat.
- c.  $b_f < 1/2$  jarak bersih antara badan-badan balok bersebelahan.

## 2.3. Analisa Balok Tulangan Tunggal

### a. Analisa Balok T palsu Tulangan Tunggal



Gambar 2.4 Bagian Tekan dan Gaya-gaya Dalam Balok T palsu

Pada balok yang berperilaku sebagai balok T palsu seperti Gambar 2.4, analisis gaya dalam sebagai berikut:

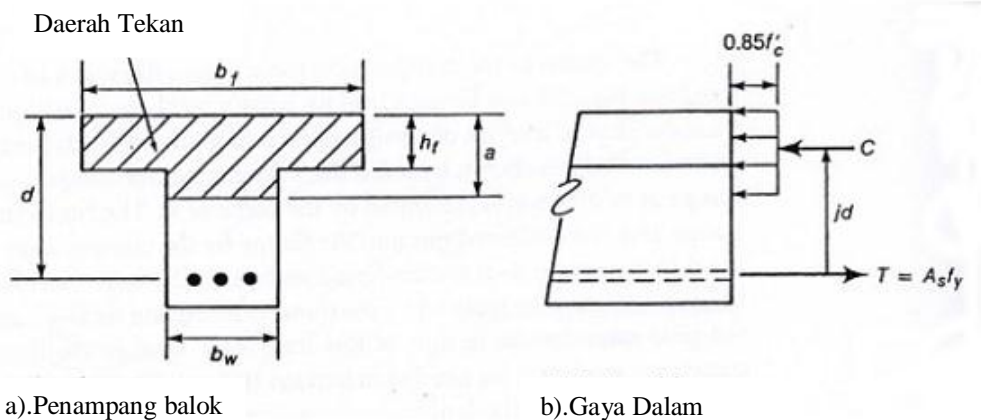
$$C = T$$

$$0,85 f'_c \cdot b_f \cdot h_f = A_s \cdot f_y$$

Dan momen nominalnya:

$$M_n = 0,85 f'_c \cdot b_f \cdot h_f \cdot (d - h_f/2)$$

### b. Analisa Balok T Murni Tulangan Tunggal



Gambar 2.5 Daerah Tekan dan Gaya-gaya Dalam Balok T murni

Pada balok yang berperilaku sebagai balok T murni seperti Gambar 2.5, analisis gaya dalam sebagai berikut:

$$C = T$$

$$C_f + C_w = T_f + T_w$$

$$0,85 f'_c (b_f - b_w) h_f + 0,85 f'_c \cdot b_w \cdot a = A_{sf} \cdot f_y + A_{sw} \cdot f_y$$

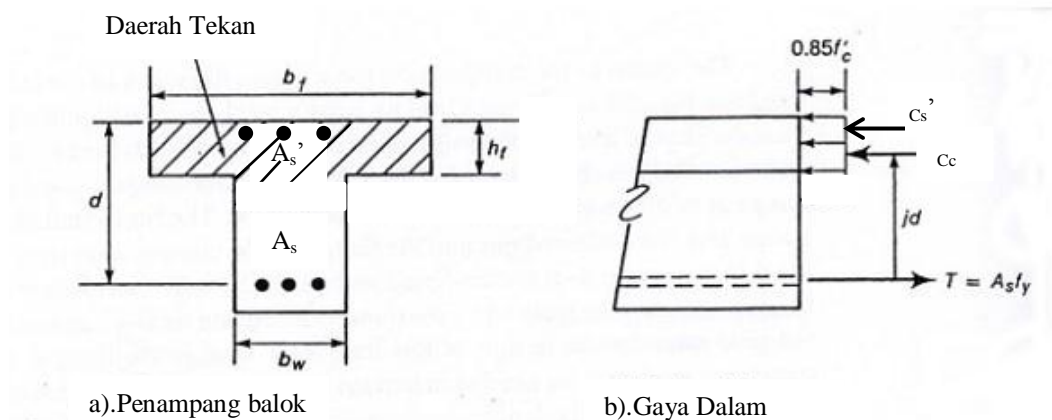
Dan momen nominalnya:

$$M_n = M_{nf} + M_{nw}$$

$$M_n = 0,85 f'_c (b_f - b_w) h_f (d - h_f/2) + 0,85 f'_c \cdot b_w \cdot a (d - a/2)$$

## 2.4. Analisa Balok T Tulangan Rangkap

### a. Analisa Balok T Palsu Tulangan Rangkap



Gambar 2.6 Daerah Tekan dan Gaya-gaya Dalam Balok T palsu tulangan rangkap

Pada balok yang berperilaku sebagai balok T palsu dengan tulangan rangkap, seperti Gambar 2.6, analisis gaya dalam sebagai berikut:

$$C = T$$

$$C_c + C_s' = T$$

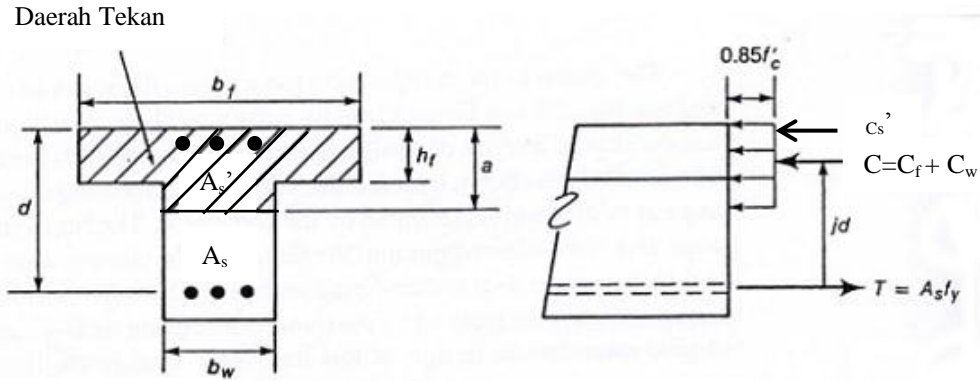
$$0,85 f'_c \cdot b_f \cdot h_f + A_s' f_s' = A_s \cdot f_y$$



Dan momen nominalnya:

$$M_n = 0,85f_c \cdot b_f \cdot h_f \cdot (d - h_f/2) + A_s' f_s' (d - d')$$

**b. Analisa Balok T Murni Tulangan Rangkap**



a). Penampang balok

b). Gaya Dalam

Gambar 2.7 Daerah Tekan dan Gaya-gaya Dalam Balok T murni tulangan rangkap

Pada balok yang berperilaku sebagai balok T murni dengan tulangan rangkap, seperti Gambar 2.7, analisis gaya dalam sebagai berikut:

$$C = T$$

$$C_f + C_w + C_s' = T$$

$$0,85 f_c' (b_f - b_w) h_f + 0,85 f_c' \cdot b_w \cdot a + A_s' f_s' = A_s \cdot f_y$$

Dan momen nominalnya:

$$M_n = 0,85f_c(b_f - b_w)h_f(d - h_f/2) + 0,85 f_c' \cdot b_w \cdot a (d - a/2) + A_s' f_s' (d - d')$$

**2.5. Rasio Tulangan ( ρ )**

Untuk tulangan minimum, menurut SNI adalah

$$\rho_{min} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \\ \frac{1.4}{f_y} \end{array} \right.$$

Untuk tulangan maksimum, menurut SNI tidak boleh lebih dari  $0.75\rho_b$

Sementara itu,

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

Dimana,

$$\beta_1 = 0.85 - 0.005\left(\frac{f'_c - 30}{7}\right) \quad 0.85 \geq \beta_1 \geq 0.65$$

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Parameter Penelitian**

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mutu beton  $f'_c = 17,5 \text{ Mpa}; 20 \text{ Mpa}; 22,5 \text{ Mpa}; 25 \text{ Mpa}; 30 \text{ Mpa}; 35 \text{ Mpa}; 40 \text{ Mpa}$
- Mutu baja  $f_y = 240 \text{ Mpa}; 320 \text{ Mpa}; 400 \text{ Mpa}$
- Rasio tulangan  $\rho =$  dari  $\rho_{\min}$  sampai  $\rho_{\max}$
- Ukuran penampang disesuaikan dengan rasio tulangan, karena  $= A_s b d$  , dimana b dan d adalah ukuran penampang.

Permodelan grafik yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Grafik A.1, Grafik A.2 dan grafik A.3 = Grafik balok persegi dengan tulangan tunggal.  
Masing-masing grafik dibuat untuk mutu baja  $f_y = 240 \text{ Mpa}, 320 \text{ Mpa}$  dan  $400 \text{ Mpa}$ .  
Masing-masing grafik tersebut terdiri dari grafik-grafik dengan berbagai nilai mutu beton  $f'_c = 17,5 ; 20; 22,5; 25; 30; 35$  dan  $40 \text{ Mpa}$ .
2. Grafik B.1( $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ), Grafik B.2 ( $f_y = 320 \text{ Mpa}$ ) dan Grafik B.3 ( $f_y = 400 \text{ Mpa}$ ) = Grafik balok persegi dengan tulangan rangkap.
3. Grafik C.1 ( $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ), Grafik C.2 ( $f_y = 320 \text{ Mpa}$ ) dan Grafik C.3( $f_y = 400 \text{ Mpa}$ ) = Grafik balok T palsu dengan tulangan tunggal.
4. Grafik D.1 ( $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ), Grafik D.2 ( $f_y = 320 \text{ Mpa}$ ) dan Grafik D.3 ( $f_y = 400 \text{ Mpa}$ ) = Grafik balok T murni dengan tulangan tunggal.
5. Grafik E.1 ( $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ), Grafik E.2 dan Grafik E.3 ( $f_y = 400 \text{ Mpa}$ ) = Grafik balok T palsu dengan tulangan rangkap.
6. Grafik F.1 ( $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ), Grafik F.2 ( $f_y = 320 \text{ Mpa}$ ) dan Grafik F.3 ( $f_y = 400 \text{ Mpa}$ ) = Grafik balok T murni dengan tulangan rangkap.

Penelitian dilakukankan di :

Tempat : Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Waktu : Bulan Juni 2014 s/d Nopember 2015

### 3.2. Peralatan Penelitian

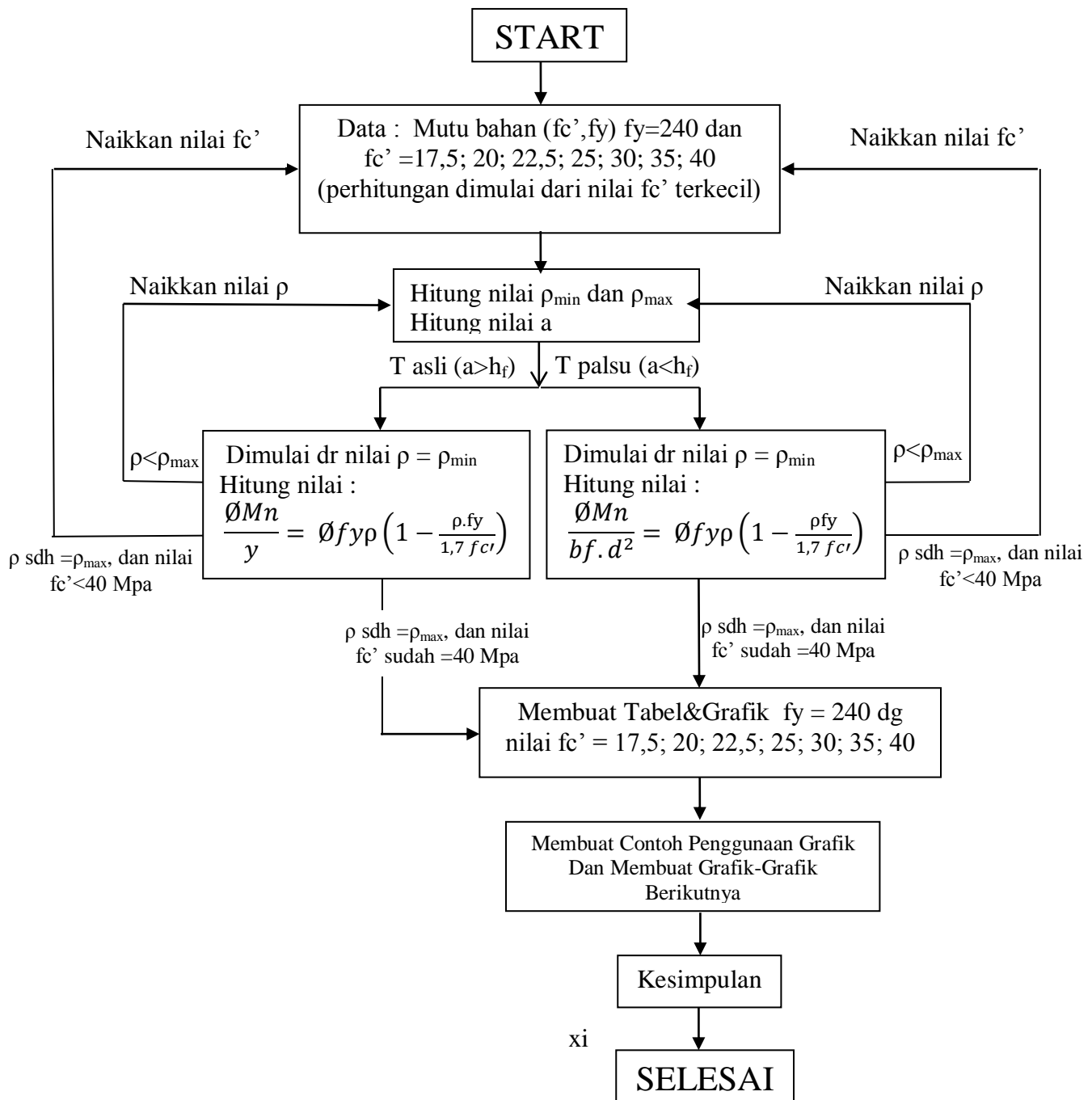
#### Peralatan Penelitian

Peralatan yang diperlukan antara lain:

Laptop	Literatur	Mouse
CD	Modem + pulsa	USB
Printer	Tinta	Kertas

### 3.3. Alur Metodologi Penelitian

Flow Chart Pembuatan Grafik Balok T palsu dan murni untuk  $f_y = 240$  &  $f_c' = 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 35$  dan  $40$  (Grafik C.1 dan D.1)



**BAB IV**  
**ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN**

**4.1 Perumusan Grafik Hubungan  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$  Dengan  $\rho$  Untuk Balok Persegi**

Untuk pembuatan grafik, diperlukan :

- a. Nilai  $\rho_{min}$  sampai  $\rho_{max}$  adalah nilai

**4.1.1 Perumusan  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$**

Rumus momen tahanan nominalnya adalah

$$\phi Mn = \phi As. fy. jd$$

atau  $\phi Mn = \phi As. fy. (d - 0,5a) \dots\dots\dots (1)$

Substitusi nilai  $a = \frac{As.fy}{0,85 f'c . b}$  maka, persamaan (1) menjadi :

$$\phi Mn = \phi As. fy. \left( d - 0,5 \frac{As. fy}{0,85. f'c'. b} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Bila d dikeluarkan dari kurungan, maka persamaan (2) menjadi :

$$\phi Mn = \phi As. fy. d. \left( 1 - \frac{As. fy}{1,7. f'c'. b. d} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Karena  $\rho = \frac{As}{b.d}$  atau  $As = \rho. b. d$ , maka

$$\phi Mn = \phi fy. \rho. b. d^2. \left( 1 - \frac{\rho. fy}{1,7. f'c'} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Sehingga didapat persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\phi Mn}{bd^2} = \phi fy. \rho. \left( 1 - \frac{\rho. fy}{1,7. f'c'} \right) \dots\dots\dots (5)$$

**4.1.2 Batasan nilai rasio tulangan ( $\rho$ )**

Rasio tulangan untuk  $f_y = 240$  Mpa dan nilai  $f_c' = 17,5$  Mpa

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058 * \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{atau } \rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{17,5}}{4.240} = 0,0044 * \dots \dots \dots (7)$$

\*Diambil nilai yang terkecil dari persamaan (6) dan (7)

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

$$\rho_b = 0,85 \frac{0,85.17,5}{240} \left( \frac{600}{600 + 240} \right) = 0,0376$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0376 = 0,0282$$

Perhitungan batasan nilai  $\rho$  untuk  $f_y$  dan  $f_c'$  yang lebih tinggi, dihitung dengan cara yang sama, sehingga hasilnya dapat ditabelkan sebagai berikut :

fc' ( Mpa )	fy = 240 Mpa			fy = 320 Mpa			fy = 400 Mpa		
	ρmin	ρb	Pmax	Pmin	ρb	ρmax	ρmin	ρb	ρmax
17,5	0,0044	0,0376	0,0282	0,0033	0,0258	0,0193	0,0026	0,0190	0,0142
20	0,0047	0,0430	0,0323	0,0035	0,0294	0,0221	0,0028	0,0217	0,0163
22,5	0,0049	0,0484	0,0363	0,0037	0,0331	0,0248	0,0030	0,0244	0,0183
25	0,0052	0,0538	0,0403	0,0039	0,0368	0,0276	0,0031	0,0271	0,0203
30	0,0057	0,0645	0,0484	0,0043	0,0442	0,0331	0,0034	0,0325	0,0244
35	0,0058	0,0753	0,0564	0,0044	0,0515	0,0387	0,0035	0,0379	0,0284
40	0,0058	0,0850	0,0638	0,0044	0,0582	0,0437	0,0035	0,0428	0,0321

Tabel 4.1 Batasan nilai rasio tulangan ( $\rho$ )

#### 4.1.3 Menghitung $\frac{\phi Mn}{bd^2}$

$$\frac{\phi Mn}{bd^2} \text{ untuk } f_y = 240 \text{ Mpa dan } f_c' = 17,5 \text{ Mpa}$$

Diketahui untuk  $f_y = 240$  Mpa dan  $f_c' = 17,5$  Mpa nilai  $\rho_{\min} = 0,0044$  dan nilai

$\rho_{\max} = 0,0282$ , hitung nilai  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$  mulai dari  $\rho_{\min}$  :

$$\frac{\phi Mn}{bd^2} = \phi f_y \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'}\right)$$

$$\frac{\phi Mn}{bd^2} = 0,8 \times 240 \times 0,0044 \cdot \left(1 - \frac{0,0044 \times 240}{1,7 \times 17,5}\right)$$

$$\frac{\phi Mn}{bd^2} = 0,8072$$

Selanjutnya hitung  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$  dengan menaikkan nilai  $\rho$  secara bertahap hingga

mencapai nilai  $\rho_{\max}$ , hasil perhitungan dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Perhitungan  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$  untuk  $f_y = 240$  Mpa &  $f_c' = 17,5$

Fy	fc'	P	$\phi Mn/bd^2$
240	17,5	0,0044	0,8072
240	17,5	0,0060	1,0962
240	17,5	0,0080	1,4369
240	17,5	0,0100	1,7651
240	17,5	0,0120	2,0810
240	17,5	0,0140	2,3844
240	17,5	0,0160	2,6755
240	17,5	0,0180	2,9542
240	17,5	0,0200	3,2204
240	17,5	0,0220	3,4743
240	17,5	0,0240	3,7158
240	17,5	0,0260	3,9449

240	17,5	0,0280	4,1617
240	17,5	0,0282	4,1850

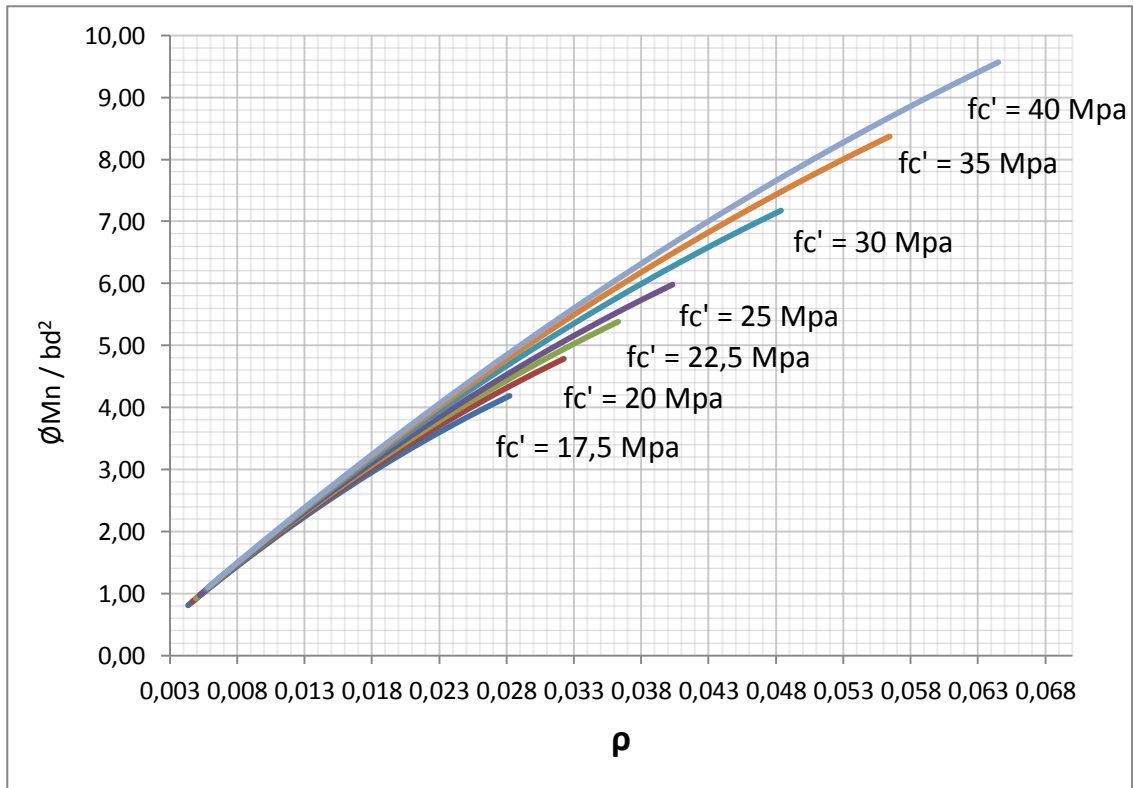
Untuk perhitungan nilai  $\frac{\emptyset Mn}{bd^2}$  dengan nilai  $f_y = 240$  Mpa dan berbagai nilai  $f_c'$ ,

yang berbeda ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan  $\emptyset Mn/bd^2$  untuk  $f_y = 240$  Mpa

$f_c' = 17,5$ Mpa		$f_c' = 20$ Mpa		$f_c' = 22,5$ Mpa		$f_c' = 25$ Mpa		$f_c' = 30$ Mpa		$f_c' = 35$ Mpa		$f_c' = 40$ Mpa	
$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$	$\rho$	$\emptyset Mn/bd^2$
0,0044	0,8072	0,0047	0,8650	0,0049	0,9193	0,0052	0,9706	0,0057	1,0660	0,0058	1,0936	0,0058	1,0969
0,0060	1,0962	0,0060	1,1032	0,0060	1,1086	0,0060	1,1130	0,0060	1,1195	0,0060	1,1241	0,0060	1,1276
0,0080	1,4369	0,0080	1,4493	0,0080	1,4589	0,0080	1,4666	0,0080	1,4782	0,0080	1,4864	0,0080	1,4926
0,0100	1,7651	0,0100	1,7845	0,0100	1,7995	0,0100	1,8116	0,0100	1,8296	0,0100	1,8426	0,0100	1,8522
0,0120	2,0810	0,0120	2,1088	0,0120	2,1305	0,0120	2,1479	0,0120	2,1739	0,0120	2,1925	0,0120	2,2064
0,0140	2,3844	0,0140	2,4224	0,0140	2,4519	0,0140	2,4755	0,0140	2,5109	0,0140	2,5362	0,0140	2,5552
0,0160	2,6755	0,0160	2,7250	0,0160	2,7636	0,0160	2,7944	0,0160	2,8407	0,0160	2,8737	0,0160	2,8985
0,0180	2,9542	0,0180	3,0169	0,0180	3,0657	0,0180	3,1047	0,0180	3,1633	0,0180	3,2051	0,0180	3,2364
0,0200	3,2204	0,0200	3,2979	0,0200	3,3581	0,0200	3,4063	0,0200	3,4786	0,0200	3,5302	0,0200	3,5689
0,0220	3,4743	0,0220	3,5680	0,0220	3,6409	0,0220	3,6992	0,0220	3,7867	0,0220	3,8492	0,0220	3,8960
0,0240	3,7158	0,0240	3,8274	0,0240	3,9141	0,0240	3,9835	0,0240	4,0876	0,0240	4,1619	0,0240	4,2177
0,0260	3,9449	0,0260	4,0758	0,0260	4,1776	0,0260	4,2591	0,0260	4,3812	0,0260	4,4685	0,0260	4,5339
0,0280	4,1617	0,0280	4,3134	0,0280	4,4315	0,0280	4,5260	0,0280	4,6676	0,0280	4,7688	0,0280	4,8447
0,0282	4,1850	0,0300	4,5402	0,0300	4,6758	0,0300	4,7842	0,0300	4,9468	0,0300	5,0630	0,0300	5,1501
		0,0320	4,7562	0,0320	4,9104	0,0320	5,0337	0,0320	5,2188	0,0320	5,3510	0,0320	5,4501
		0,0323	4,7829	0,0340	5,1354	0,0340	5,2746	0,0340	5,4835	0,0340	5,6327	0,0340	5,7446
				0,0360	5,3507	0,0360	5,5068	0,0360	5,7410	0,0360	5,9083	0,0360	6,0338
				0,0363	5,3807	0,0380	5,7304	0,0380	5,9913	0,0380	6,1777	0,0380	6,3175
						0,0400	5,9452	0,0400	6,2344	0,0400	6,4409	0,0400	6,5958
						0,0403	5,9786	0,0420	6,4702	0,0420	6,6979	0,0420	6,8686
								0,0440	6,6988	0,0440	6,9487	0,0440	7,1361
								0,0460	6,9201	0,0460	7,1933	0,0460	7,3981
								0,0480	7,1343	0,0480	7,4317	0,0480	7,6547
								0,0484	7,1743	0,0500	7,6639	0,0500	7,9059
										0,0520	7,8899	0,0520	8,1516
										0,0540	8,1097	0,0540	8,3920
										0,0560	8,3233	0,0560	8,6269
										0,0564	8,3700	0,0580	8,8564
												0,0600	9,0805
												0,0620	9,2991
												0,0638	9,4860

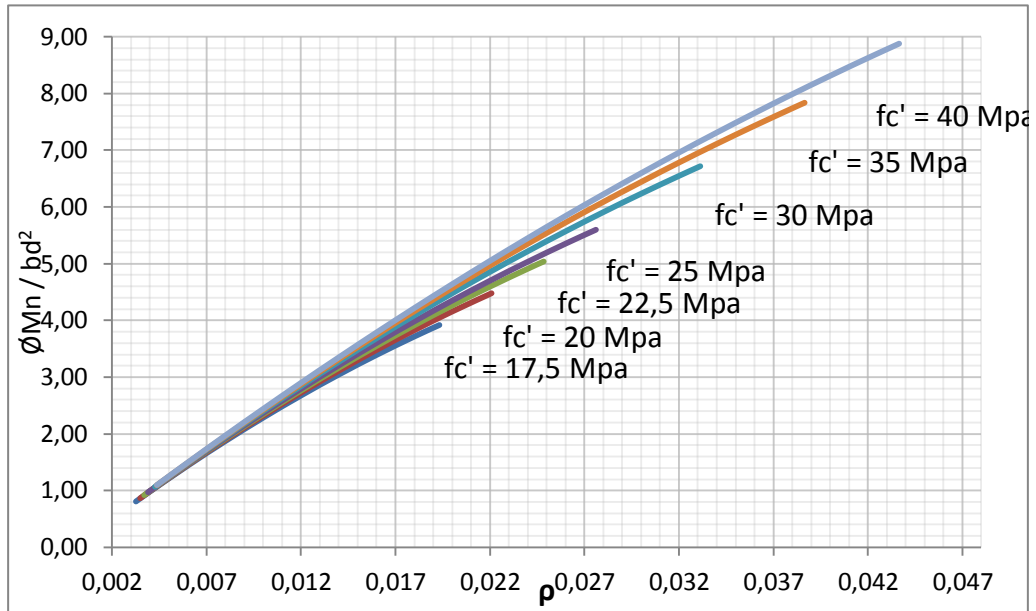
Selanjutnya dari tabel 4.3 dapat dibuat grafik sebagai berikut :



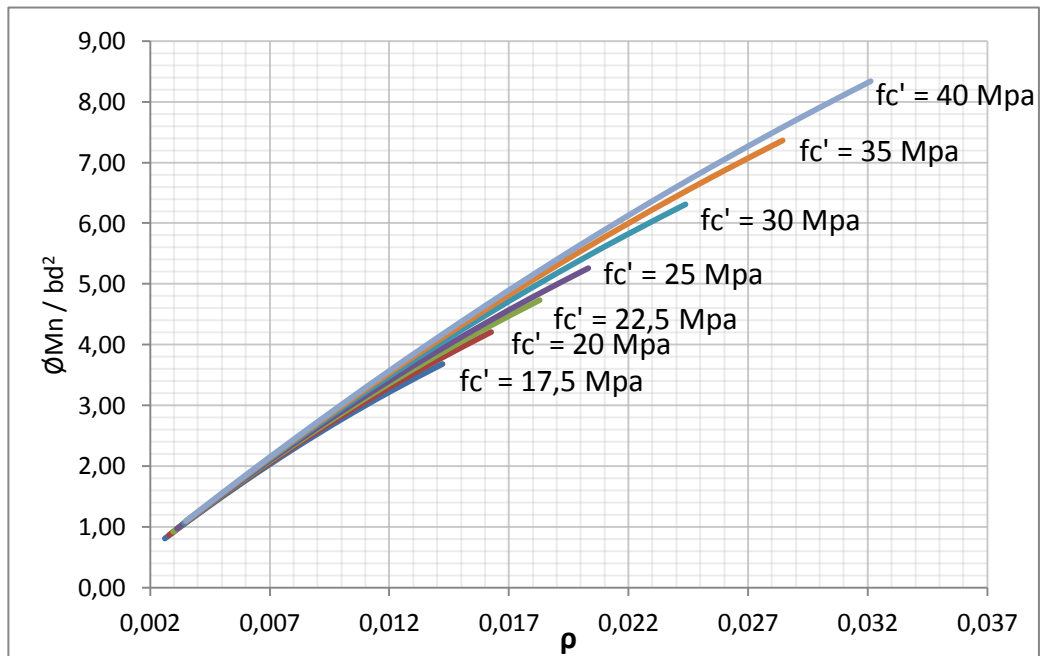
Gambar 4.1 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{bd^2}$  dengan  $\rho$  untuk  $f_y = 240$  Mpa

Dengan cara yang sama dibuat grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{bd^2}$  dengan  $\rho$  untuk  $f_y = 320$  dan 400 Mpa adalah sebagai berikut :



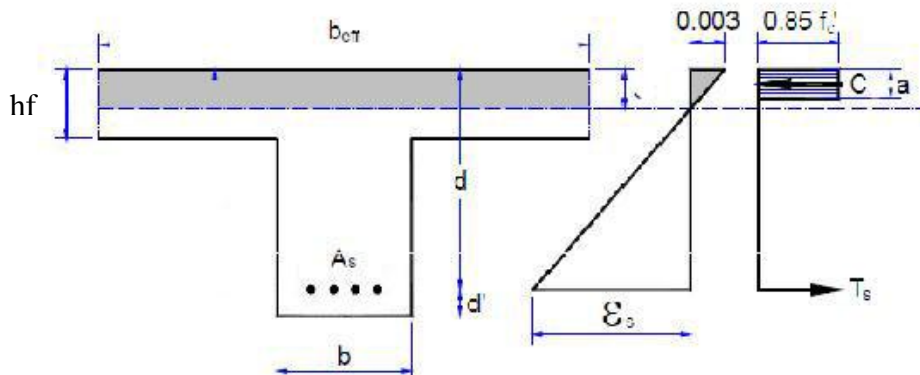


Gambar 4.2 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{bd^2}$  dengan  $\rho$  untuk  $f_y = 320$  Mpa



Gambar 4.3 Grafik hubungan  $\frac{\phi Mn}{bd^2}$  dengan puntuk  $f_y = 400$  Mpa

4.2 Perumusan Grafik Hubungan  $\frac{\phi Mn}{bf.d^2}$  Dengan  $\rho$  Untuk Balok T Palsu



Gambar 4.4 Distribusi Momen Pada Balok T Palsu

Mencari nilai  $\alpha$

Syarat keseimbangan  $C = T$

$$0,85f_c'.bf.a = A_s.f_y$$

$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85f_c'.bf} \dots \dots \dots (8)$$

Substitusi persamaan (8) kepersamaan (1), maka :

$$\phi Mn = \phi A_s.f_y.\left(d - 0,5\frac{A_s.f_y}{0,85.f_c'.bf}\right) \dots \dots \dots (9)$$

Bila d dikeluarkan dari kurungan, maka persamaan (9) menjadi :

$$\phi Mn = \phi A_s.f_y.d.\left(1 - \frac{A_s.f_y}{1,7.f_c'.bf.d}\right) \dots \dots \dots (10)$$

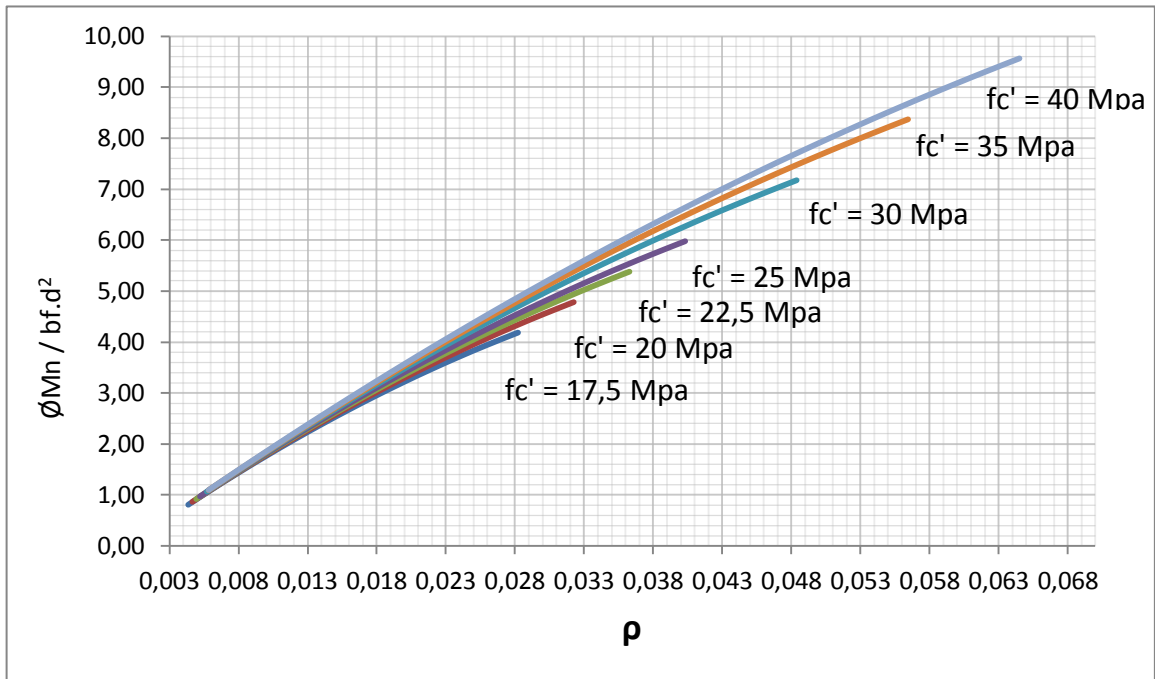
Karena  $\rho = \frac{A_s}{bf.d}$  atau  $A_s = \rho.bf.d$ , maka

$$\phi Mn = \phi f_y.\rho.bf.d^2.\left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f_c'}\right) \dots \dots \dots (11)$$

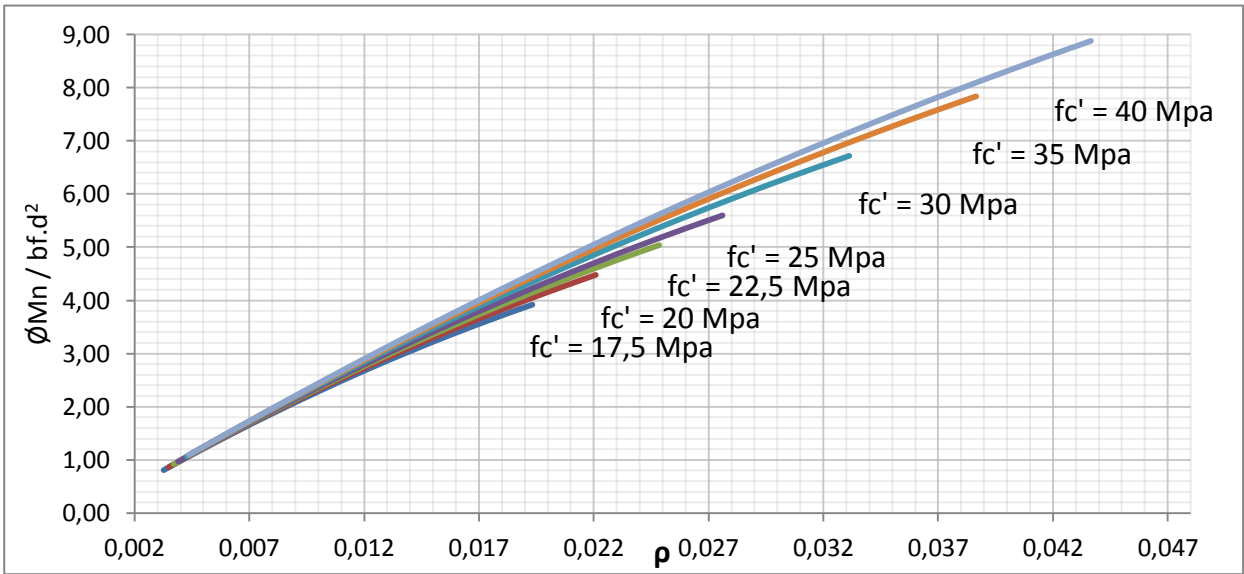
Sehingga didapat persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\phi Mn}{bf \cdot d^2} = \phi fy \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot fy}{1,7 \cdot fc'}\right) \quad \dots \dots \dots (12)$$

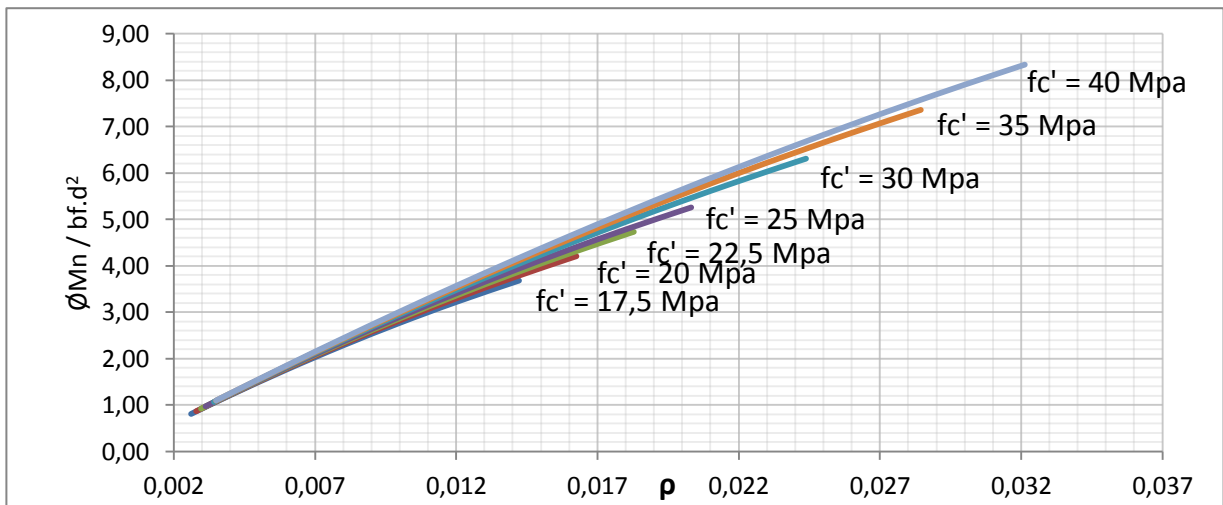
Untuk langkah selanjutnya bisa dilihat pada balok persegi. Tabel hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran dan grafiknya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan  $\frac{\phi Mn}{bf \cdot d^2}$  dengan puntuk  $fy = 240$  Mpa

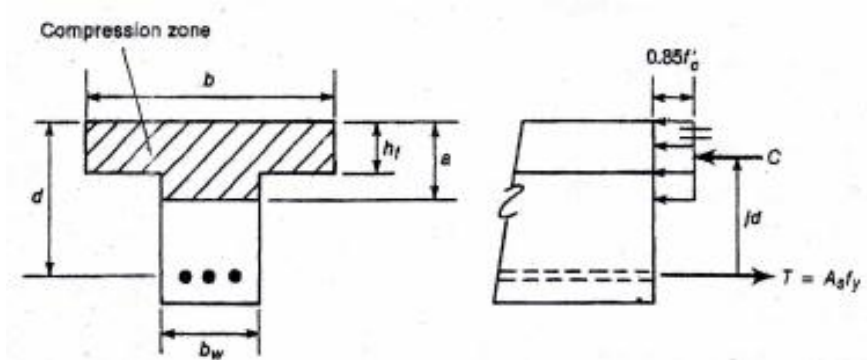


Gambar 4.6 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{b_f \cdot d^2}$  dengan puntuk  $f_y = 320$  Mpa



Gambar 4.7 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{b_f \cdot d^2}$  dengan puntuk  $f_y = 400$  Mpa

### 4.3 Perumusan Grafik Hubungan $\frac{\phi Mn}{y}$ Dengan $\rho$ Untuk Balok T Murni



Gambar 4.8 Distribusi Momen Pada Balok T

Mencari nilai  $\alpha$

Syarat keseimbangan  $C = T$

$$C_f + C_w = T$$

$$0,85 f c' . (b_f - b) h_f + 0,85 f c' . b . a = A_s . f y$$

$$a = \frac{A_s . f y - 0,85 f c' . (b_f - b) h_f}{0,85 f c' . b} \dots \dots \dots (13)$$

Substitusikan persamaan (13) ke persamaan (1), maka :

$$\phi Mn = \phi A_s . f y . \left( d - 0,5 \frac{A_s . f y - 0,85 f c' . (b_f - b) h_f}{0,85 f c' . b} \right) \dots \dots \dots (14)$$

Bila d dikeluarkan dari kurungan, maka persamaan (14) menjadi :

$$\phi Mn = \phi A_s . f y . d \left( 1 - \frac{A_s . f y - 0,85 f c' . (b_f - b) h_f}{1,7 f c' . b . d} \right) \text{ atau}$$

$$\phi Mn = \phi A_s . f y . d \left( 1 - \frac{f y (A_s - \frac{0,85 f c' . (b_f - b) h_f}{f y})}{1,7 f c' . b . d} \right) \dots \dots \dots (15)$$

Mencari nilai  $\rho$

$$\rho = \frac{As_w}{b \cdot d} = \frac{As - As_f}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{As - \left(\frac{0,85fc' \cdot hf \cdot (bf - b)}{fy}\right)}{b \cdot d} \dots \dots \dots (16)$$

Mencari nilai  $As$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$As = \rho \cdot ((bf - b) \cdot hf + b \cdot d) \dots \dots \dots (17)$$

Dari persamaan (16) dan persamaan (17), maka persamaan (15) dapat disederhanakan menjadi :

$$\phi Mn = \phi As \cdot fy \cdot d \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot fy}{1,7 \cdot fc'}\right)$$

$$\phi Mn = \phi fy \cdot \rho \cdot ((bf - b) \cdot hf + b \cdot d) \cdot d \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot fy}{1,7 \cdot fc'}\right) \dots \dots \dots (18)$$

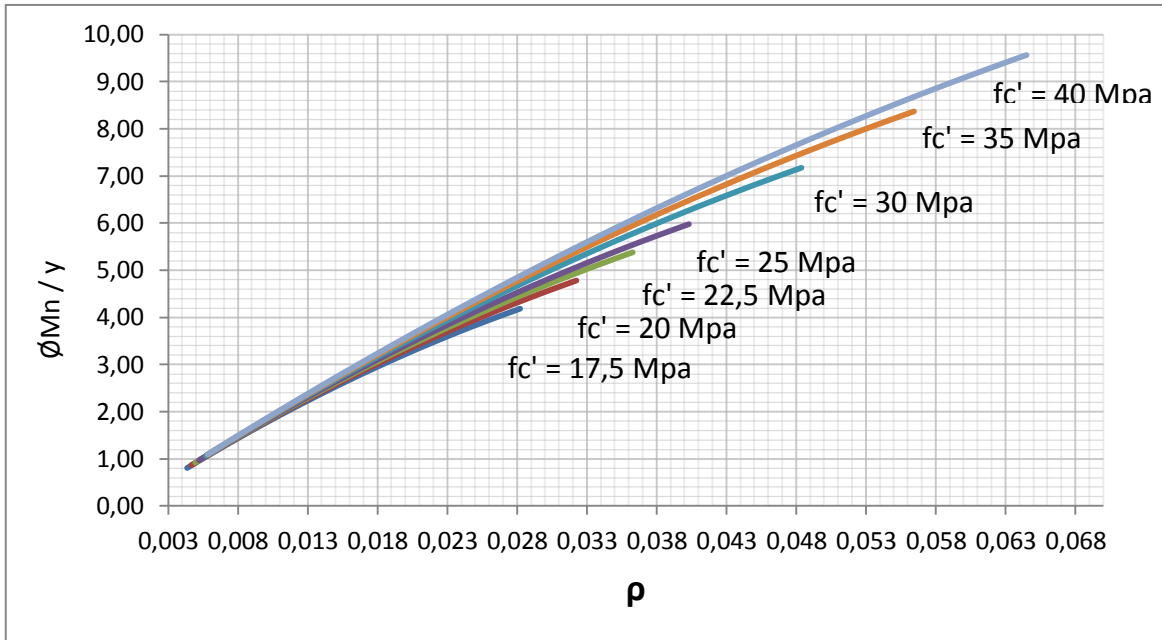
Sehingga didapat persamaan sebagai berikut

$$\frac{\phi Mn}{(bf - b)hf \cdot d + b \cdot d^2} = \phi fy \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot fy}{1,7 \cdot fc'}\right) \dots \dots \dots (19)$$

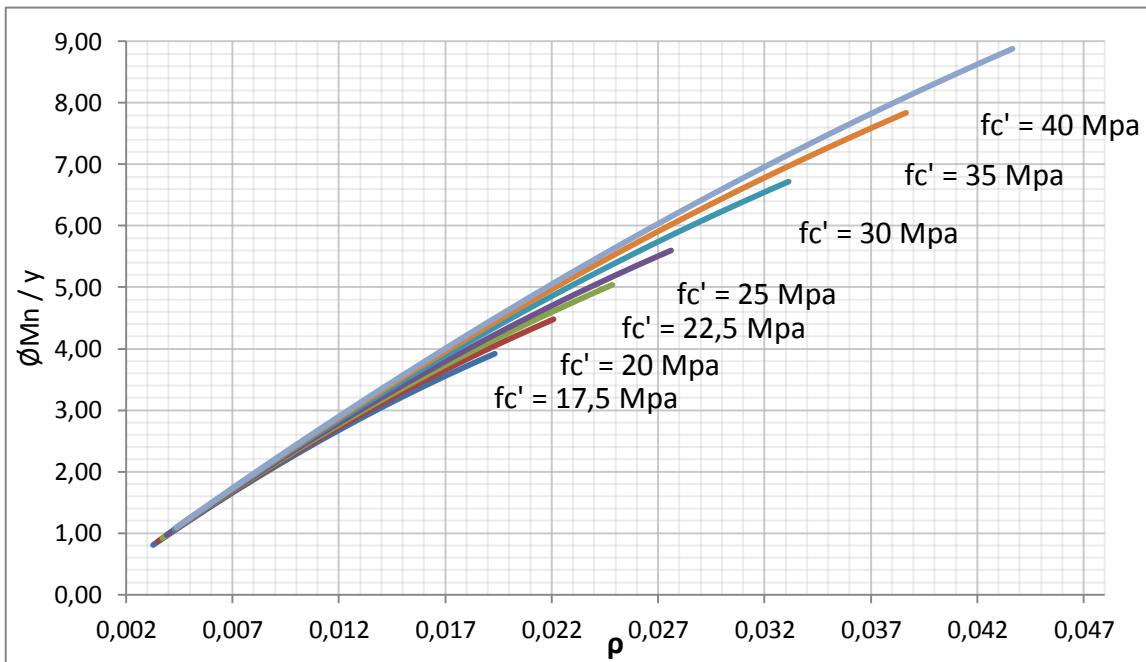
Dimisalkan  $(bf - b)hf \cdot d + b \cdot d^2 = y$ , maka persamaannya menjadi :

$$\frac{\phi Mn}{y} = \phi fy \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot fy}{1,7 \cdot fc'}\right) \dots \dots \dots (20)$$

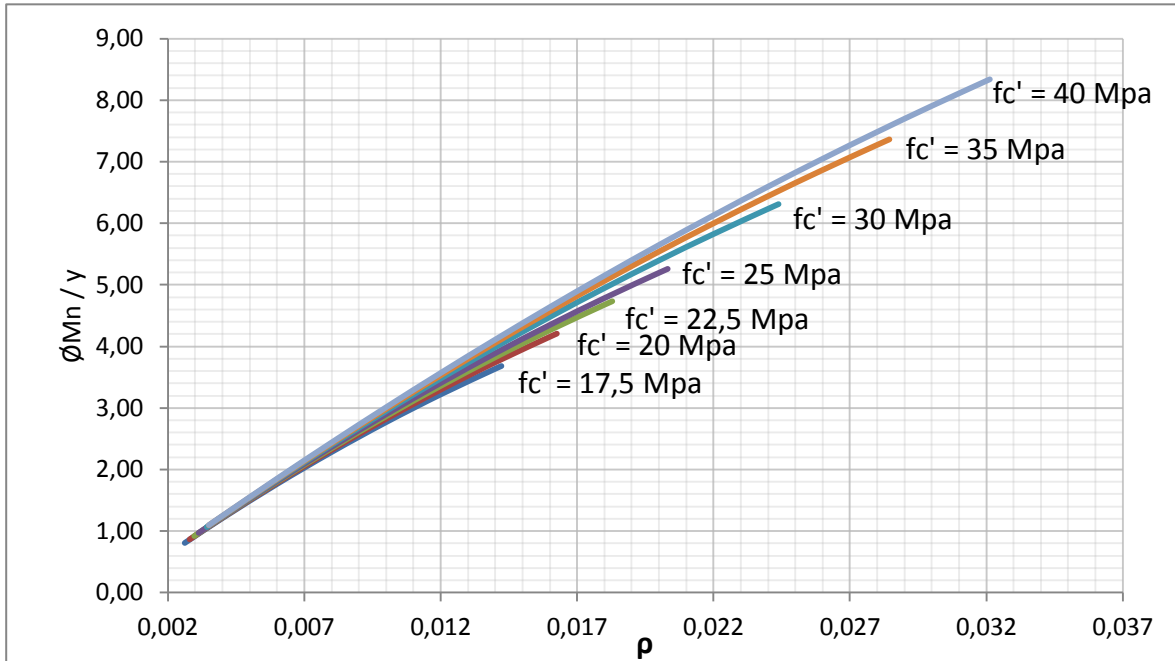
Untuk langkah selanjutnya bisa dilihat proses pada balok persegi. Hasil perhitungan berupa grafik sebagai berikut:



Gambar 4.9 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{y}$  dengan puntuk  $f_y = 240$  Mpa



Gambar 4.10 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{y}$  dengan puntuk  $f_y = 320$  Mpa



Gambar 4.11 Grafik hubungan  $\frac{\phi M_n}{y}$  dengan  $\rho$  untuk  $f_y = 400$  Mpa

#### 4.4 Cara Penggunaan Grafik Balok Persegi

Contoh kasus :

Balok sederhana penampang persegi ukuran  $b \times h$  , memiliki panjang bentang  $L = 5$  m dan beban ultimate  $q = 18$  kN/m.

Digunakan mutu baja  $f_y = 400$  Mpa dan mutu beton  $f_c' = 20$  Mpa

Berapa ukuran penampang, dan tulangan yang dibutuhkan ?

Penyelesaian :

##### i. Penyelesaian Dengan Menggunakan Grafik

1. Hitung momen ultimate akibat beban:

$$M_u = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \cdot (18) \cdot (5)^2 = 56,25 \text{ kNm}$$



Keamanan balok dalam menerima beban luar dijamin oleh persamaan  $\phi M_n \geq M_u$ .

Sehingga nilai  $M_n$  (kapasitas balok) =  $M_u / \phi$

2. Asumsikan tinggi balok

Sesuai SNI, tinggi minimum balok sederhana panjang bentang 5m adalah  $L/16 = 312,5$  mm. Kita asumsikan saja tinggi balok = 350mm.

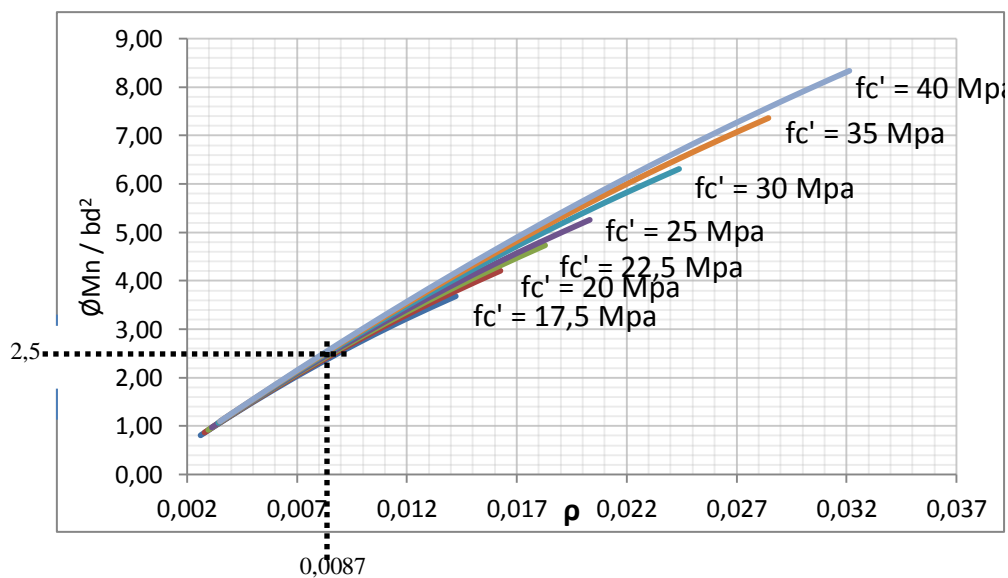
3. Asumsikan lebar balok dan tebal selimut

Lebar balok kita tentukan = 250 mm, sedangkan tebal selimut beton = 50 mm, sehingga tinggi efektif balok  $d = h - \text{selimut beton} = 350 - 50 = 300$  mm.

4. Hitung  $\phi M_n / b d^2$

$$\frac{\phi M_n}{b d^2} = \frac{M_u / \phi}{b d^2} = \frac{56,25 E6}{250 \times 300^2} = 2,5$$

5. Untuk mendapatkan jumlah tulangan, baca grafik untuk menemukan rasio tulangan  $\rho$  yang diperlukan. Karena nilai  $f_y = 400$  Mpa dan baloknya berbentuk persegi, maka kita pakai grafik untuk balok persegi dengan nilai  $f_y = 400$  Mpa, yaitu gambar 4.3.



Gambar 4.12 Contoh penggunaan grafik untuk balok persegi

Mulai dari sumbu y -> cari angka 2,5 -> tarik ke kanan hingga berpotongan grafik untuk  $f_c' = 20 \text{ Mpa}$  -> kemudian tarik ke bawah sehingga didapat nilai  $\rho = 0,0087$

6. Hitung nilai  $A_s$

$$A_s = \rho b d = 0,0087 \times 250 \times 300 = 652,5 \text{ mm}^2$$

Kita gunakan tulangan 3D19,  $A_s \text{ total} = 849 \text{ mm}^2$

Sebagai kontrol dari hasil yang didapatkan dengan menggunakan grafik, maka dicoba perhitungan secara manual.

ii. Penyelesaian Dengan Menggunakan Cara Manual

1. Asumsikan ukuran balok sama seperti diatas 250x350 mm dengan tebal selimut

beton = 50 mm ,  $d = 300 \text{ mm}$  dan momen ultimit  $M_u = 56,25 \text{ kNm}$

2. Menghitung nilai rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\text{atau } \rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{20}}{4.400} = 0,0028$$

*\*Diambil nilai yang terkecil*

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

$$\rho_b = 0,85 \frac{0,85.20}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0217$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0217 = 0,0163$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 20} = 23,53$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{56250000}{0,8 \times 250 \times 300^2} = 3,125$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xRn xm}{fy}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{23,53} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2x3,125x23,53}{400}} \right) = 0,0087$$

*\*Dipakai  $\rho_{perlu}$*

3. Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0087 \times 250 \times 300 = 652,5 \text{ mm}^2$$

Kita gunakan tulangan 3D19,  $A_s$  total = 849  $\text{mm}^2$ .

Didapatkan luasan tulangan yang sama dengan cara menggunakan cara grafik.