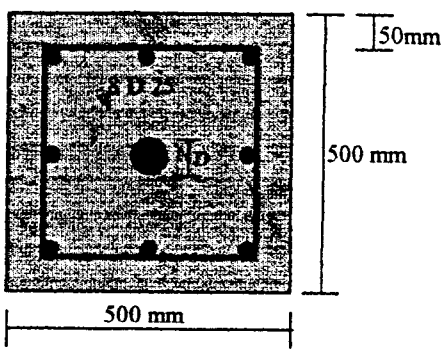
# BAB III

# ANALISA DAN PERHITUNGAN

## 3.1 Analisa dan Perhitungan

Didalam tugas akhir ini akan disajikan analisa dan contoh perhitungan penampang kolom berongga dengan beban sentris dan eksentris. Sampel yang akan dianalisa dan dihitung adalah kolom bujur sangkar dan persegi panjang dengan variasi diameter rongga yang terletak ditengah penampang kolom dan dengan variasi penempatan rongga yang berlainan. Analisa dan contoh perhitungan ditekankan pada pengaruh adanya rongga/pipa dan penempatannya terhadap kekuatan kolom.

### 3.1.1 Kolom Bujur Sangkar 500 x 500 $mm^2$ dengan Beberapa Variasi Diameter Pipa/Rongga



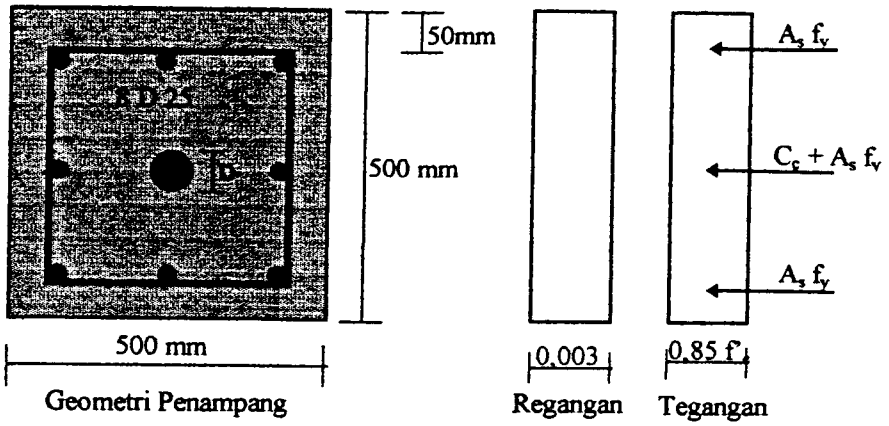

$f'_c = 24$ MPa

$f_y = 400$ MPa

D = bervariasi dari 0 mm; 50 mm; 75 mm; 100 mm; 125 mm; 150 mm.

**Gambar 3.1**
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan Variasi Diameter Rongga

## a. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{n\ maks}$ ) dengan Beban Sentris




**Gambar 3.2**
Geometri Regangan dan Tegangan Kolom dengan Beban Sentris

$P_{n\,(maks)} = 0{,}8\ (\ 0{,}85\ f'_c\ (A_g - A_{st} - A_p\ ) + A_{st}\ f_y\ )$

$f'_c = 24$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$A_p = \frac{1}{4}\ \pi\ D^2$

$A_g = 500 \times 500 = 250000\ mm^2$

$A_{st} = 3927\ mm^2$

Untuk D = 0

$P_{n\,(maks)} = [\ 0{,}8\ (\ 0{,}85\ .\ 24\ (\ 250000 - 3927 - 0\ ) + 3927\ .\ 400\ )]\ 10^{-3}$

$P_{n\,(maks)} = 5272{,}551$ kN

Untuk D = 50 mm

$P_{n\,(maks)} = [\ 0{,}8\ (\ 0{,}85\ .\ 24\ (\ 250000 - 3927 - \frac{1}{4}\ \pi\ 50^2\ ) + 3927\ .\ 400\ )]\ 10^{-3}$

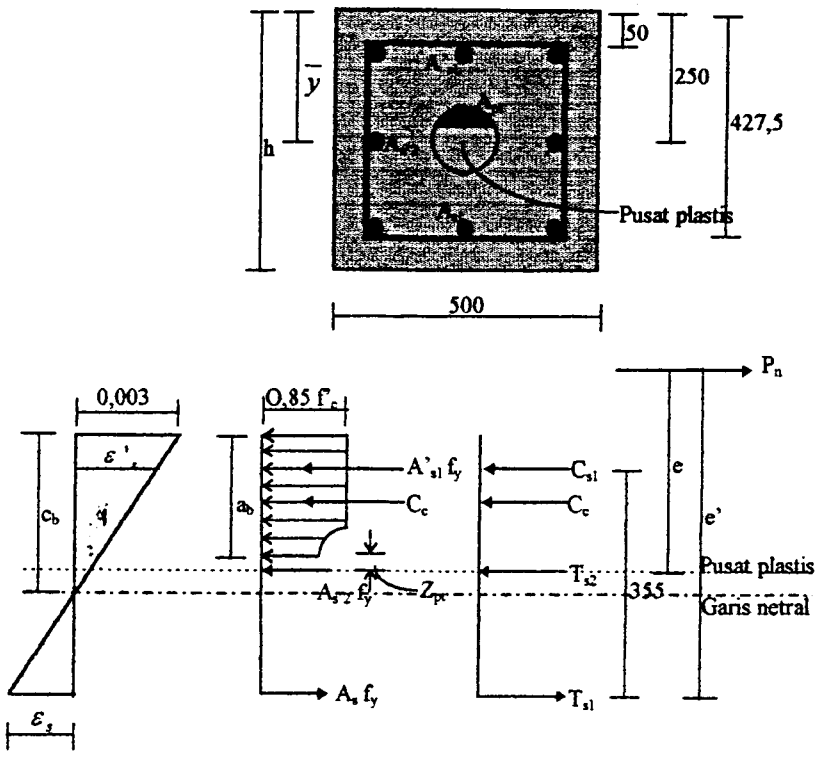
$P_{n\,(maks)} = 5240{,}515$ kN

Untuk diameter pipa selanjutnya disajikan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perhitungan $P_{n\,(maks)}$ Kolom Bujur Sangkar Beban Sentris dengan Variasi Diameter Pipa/Rongga

| No | Diameter Pipa (mm) | Luas Pipa ($mm^2$) | $P_{n\,(maks)}$ (kN) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 5272,551 |
| 2 | 50 | 1963 | 5240,515 |
| 3 | 75 | 4418 | 5200,450 |
| 4 | 100 | 7854 | 5144,374 |
| 5 | 125 | 12272 | 5072,272 |
| 6 | 150 | 17671 | 4984,161 |

**b. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{n\,b}$ ; $P_{n\,b}$ ) dengan Beban Eksentris**




**Gambar 3.3**
Geometris Kolom dan Diagram Regangan Tegangan pada Keruntuhan Balanced

$$c_b = \frac{0{,}003\, d}{0{,}003 + f_y / E_s}$$

$$= \frac{0{,}003 \,.\, 427{,}5}{0{,}003 + 400 / 2 \,.\, 10^5} = 256{,}5 \text{ mm}$$

$$a_b = 0.85\, c_b$$

$$= 0.85 \,.\, 256{,}5 = 218{,}025$$

$$f'_s = 0{,}003\, E_s \frac{c_b - d'}{c_b}$$

$$= 0{,}003\, (2\, 10^5) \frac{256{,}5 - 50}{256{,}5} = 483{,}41 \text{ MPa} > f_y$$

dengan demikian $f'_s = f_y = 400$ MPa

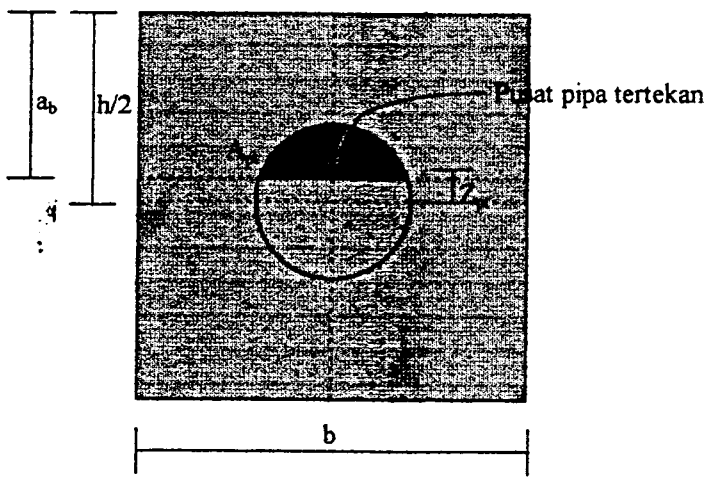
$$P_{nb} = 0{,}85\, f'_c\, b\, a_b + A'_{s1}\, f_y + A_{s'2}\, f_y - A_{s1}\, f_y - 0{,}85\, f'_c\, A_{pt}$$

karena $A'_{s1}\, f'_s = A_{s1}\, f_y$, maka

$$P_{nb} = 0{,}85\, f'_c\, (b\, a_b - A_{pt}) + A_{s2}\, f_y$$

$$M_{nb} = 0{,}85\, f'_c\, b\, a_b\, (\bar{y} - a_b/2) + A'_{s1}\, f'_s\, (\bar{y} - d') + A_{s1}\, f_y\, (d - \bar{y})$$

$$- 0{,}85\, f'_c\, A_{pt}\, (Z_{pt})$$




**Gambar 3.4**
Penampang Pipa Tertekan

$$A_{pt} = R^2 \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{180} \text{arc sin}\left( \frac{0,5h - a_b}{R} \right) - 0,5 \sin 2\left( \text{arc sin}\left( \frac{0,5h - a_b}{R} \right) \right) \right]$$

$$Z_{pt} = \frac{2/3 R^3 \cos^3 \left( \text{arc sin}\left( \frac{h/2 - a_b}{R} \right) \right)}{A_{pt}}$$

Dimana R adalah jari-jari pipa/rongga = ½ D.

$( h/2 - a_b ) = 250 - 218,025$

$= 31,975$ mm

Untuk D = 0

$A_{pt} = 0$

$Z_{pt} = 0$

$P_{nb} = [ 0,85 . 24 ( 500 . 218,025 - 0 ) + 981,75 . 400 ] 10^{-3}$

$= 2616,555$ kN

$M_{nb} = [ 0,85 . 24 . 500 . 218,025 ( 250 - 0,5 . 218,025 ) - 0,85 . 24 . 0 .0$

$+ 1472,6 . 400 ( 250 - 50 ) + 1472,6 . 400 ( 427,5 - 250 )] 10^{-6}$

$= 535,898$ kN m

$e_b = 535,898 / 2616,555$

$= 0,205$ m $= 205$ mm

Untuk D = 50 mm

$A_{pt} = 0$

$Z_{pt} = 0$

$P_{nb} = [ 0,85 . 24 ( 500 . 218,025 - 0 ) + 981,75 . 400 ] 10^{-3}$

$= 2616.555$ kN

$M_{nb}$ = [ 0,85 . 24 . 500 . 218,025 ( 250 - 0,5 . 218,025 ) - 0,85 . 24 . 0 .0

+ 1472,6 . 400 ( 250 - 50 ) + 1472,6 . 400 ( 427,5 - 250 )] $10^{-6}$

= 535,898 kN m

$e_b$ = 535,898 / 2616.555

= 0,205 m = 205 mm

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perhitungan Kekuatan Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris dengan Variasi Diameter Pipa/Rongga

| No. | Diameter Pipa (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 2616,555 | 535,898 | 205 |
| 2 | 50 | 0 | 0 | 2616,555 | 535,898 | 205 |
| 3 | 75 | 147,370 | 34,020 | 2613,549 | 535,796 | 205 |
| 4 | 100 | 962,882 | 39.324 | 2596,912 | 535,126 | 206 |
| 5 | 125 | 2323,423 | 44,437 | 2596,157 | 533,790 | 206 |
| 6 | 150 | 4191.472 | 49,665 | 2531,049 | 531,649 | 210 |

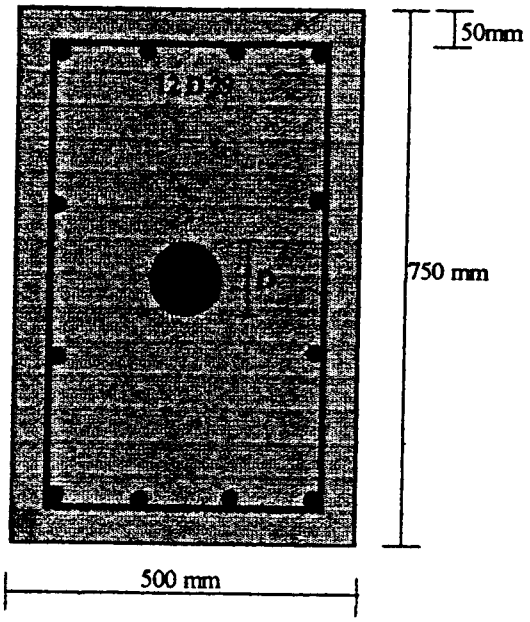
### 3.1.2 Kolom Persegi Panjang 500 x 750 $mm^2$ dengan Beberapa Variasi Diameter Rongga/Pipa

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

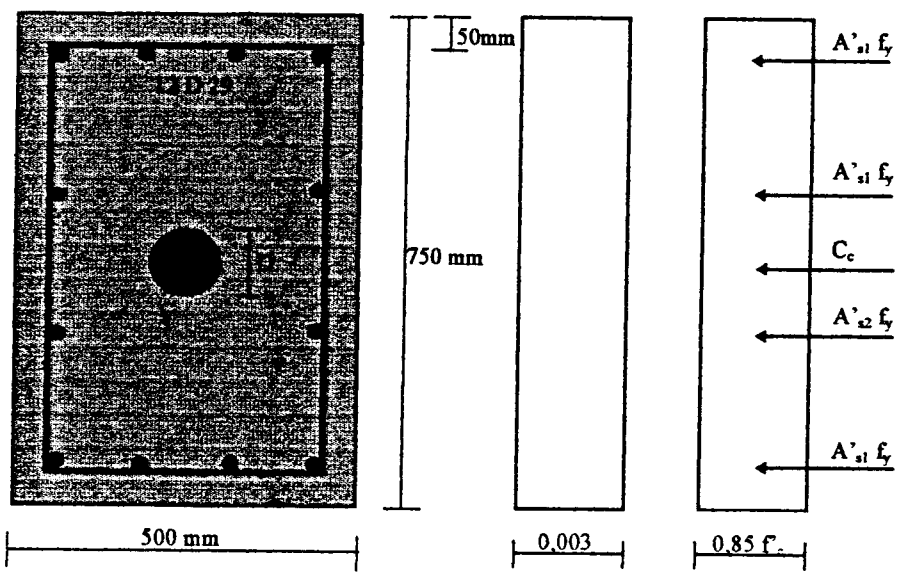
Digunakan tulangan 12 D 29

Diameter pipa (D) bervariasi 0 mm; 50 mm; 75 mm; 100 mm; 125 mm; 150 mm.




**Gambar 3.5**
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan
Variabel Diameter Rongga/Pipa

## a. Perhitungan Kekuatan Kolom ($P_{n\ maks}$) dengan Beban Sentris




**Gambar 3.6**
Geometris, Regangan, Tegangan Kolom Persegi Panjang dengan Beban Sentris

$f'_c = 24$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$A_g = 500 \times 750 = 375000$ mm$^2$

$A_{st} = 12$ D 29 $= 7927$

$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$

$P_{n\,maks} = 0{,}8 \left( 0{,}85\, f'_c \left( A_g - A_{st} - A_p \right) + A_{st} f_y \right)$

Untuk D = 0, $A_p = 0$

$P_{n\,maks} = [\, 0{,}8 \left( 0{,}85 \,.\, 24 \left( 375000 - 7927 - 0 \right) + 7927 \,.\, 400 \right)] \, 10^{-3}$

$= 8527{,}271$ kN

Untuk D = 50 mm

$A_p = 1963$ mm$^2$

$P_{n\,maks} = [\, 0{,}80 \left( 0{,}85 \,.\, 24 \left( 375000 - 7927 - 1963 \right) + 7927 \,.\, 400 \right)] \, 10^{-3}$

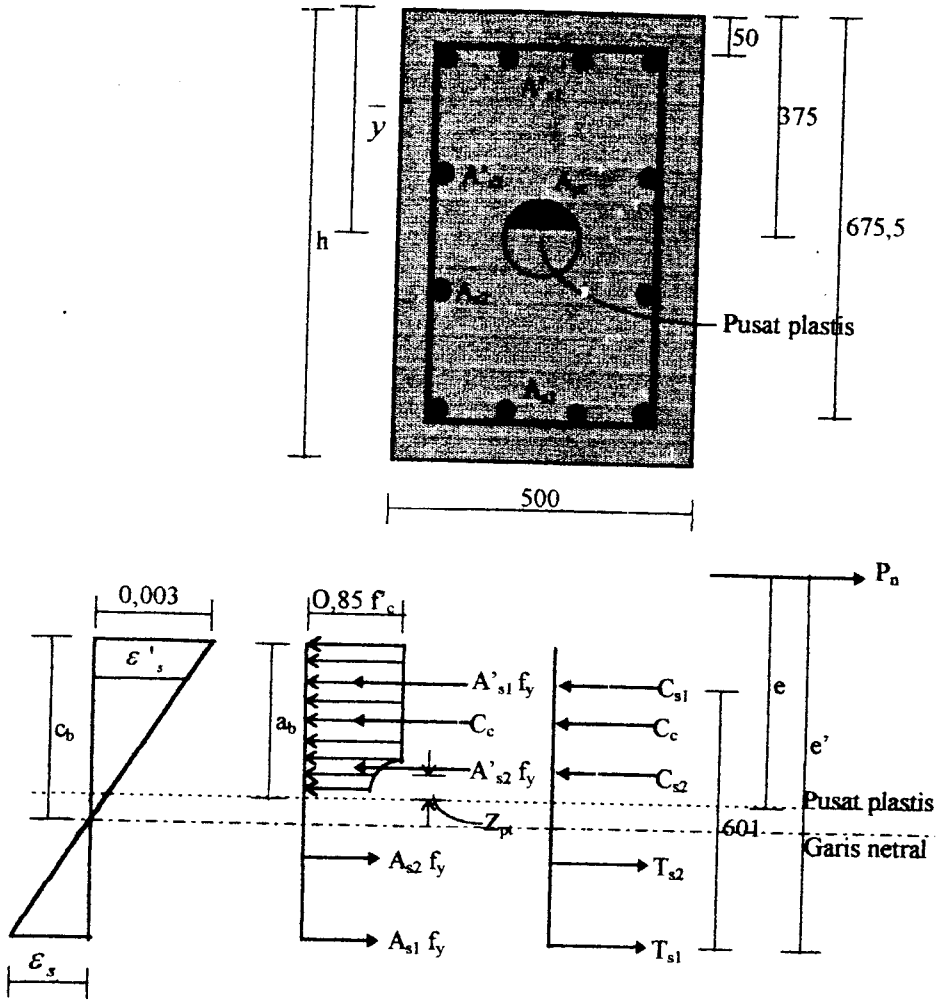
$= 8495{,}235$ kN

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan dalam tabel 3.3

Tabel 3.3 Perhitungan $P_{n\,maks}$ Kolom Persegi Panjang Beban Sentris dengan Variasi Diameter Pipa/Rongga

| No. | Diameter Pipa ( mm ) | Luas Pipa ( mm$^2$ ) | $P_{n\,maks}$ ( kN ) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 8527,271 |
| 2 | 50 | 1963 | 8495,235 |
| 3 | 75 | 4418 | 8455,170 |
| 4 | 100 | 7854 | 8399,094 |
| 5 | 125 | 12272 | 8326,992 |
| 6 | 150 | 17671 | 8238,881 |

## b. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$ ; $P_{nb}$ ) dengan Beban Eksentris




**Gambar 3.7**
Geometris Kolom dan Diagram Regangan Tegangan pada Keruntuhan Balanced

$$c_b = \frac{0{,}003\ d}{0{,}003 + f_y / E_s}$$

$$= \frac{0{,}003 \cdot 675{,}5}{0{,}003 + 400 / 2 \cdot 10^5} = 405{,}3 \text{ mm}$$

$$a_b = 0{,}85\ c_b = 0{,}85 \cdot 405{,}3 = 344{,}505 \text{ mm}$$

$$f'_s = 0{,}003\, E_s \frac{c_b - d'}{c_b}$$

$$= 0{,}003\,(2\,10^5)\,\frac{405{,}3 - 50}{405{,}3} = 526{,}370\ \text{MPa} > f_y$$

Dengan demikian $f'_s = f_y = 400$ MPa

$$P_{nb} = 0{,}85\, f'_c\, b\, a_b + A'_s\, f'_s - A_s\, f_y - 0{,}85\, f'_c\, A_{pt}$$

karena $A'_s\, f'_s = A_s\, f_y$, maka

$$P_{nb} = 0{,}85\, f'_c\,(b\, a_b - A_{pt})$$

$$M_{nb} = 0{,}85\, f'_c\, b\, a_b\,(\bar{y} - a_b/2) + A'_{s1}\, f'_s\,(\bar{y} - d') + A'_{s2}\, f'_s\,(\bar{y} - 274{,}833)$$

$$+ A_{s1}\, f_y\,(d - \bar{y}) + A_{s2}\, f_y\,(100{,}166) - 0{,}85\, f'_c\, A_{pt}\,(Z_{pt})$$

Untuk D = 0 mm

$$A_{pt} = 0$$

$$Z_{pt} = 0$$

$$P_{nb} = [\,0{,}85 \,.\, 24\,(500 \,.\, 344{,}505 - 0)]\,10^{-3}$$

$$= 3513{,}951\ \text{kN}$$

$$M_{nb} = [\,0{,}85 \,.\, 24 \,.\, 500 \,.\, 344{,}505\,(375 - 0{,}5 \,.\, 344{,}505) - 0{,}85 \,.\, 24 \,.\, 0 \,.0$$

$$+ 2642{,}1 \,.\, 400\,(375 - 50) + 1321 \,.\, 400\,(375 - 274{,}833)$$

$$+ 2642{,}1 \,.\, 400\,(675{,}5 - 375) + 1321 \,.\, 400\,(100{,}166)]\,10^{-6}$$

$$= 1479{,}355\ \text{kN m}$$

$$e_b = 1479{,}355 / 3513{,}951$$

$$= 0{,}421\text{m} = 421\ \text{mm}$$

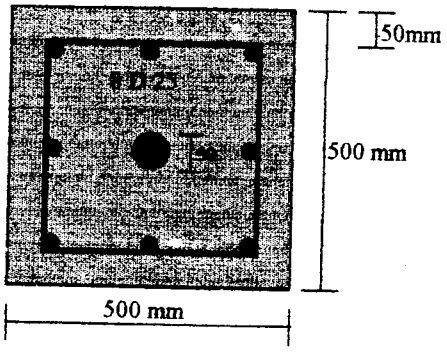
Untuk perhitungan selanjutnya disajikan dalam tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perhitungan Kekuatan Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris dengan Variasi Diameter Pipa/Rongga

| No. | Diameter Pipa (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 3513,951 | 1479,355 | 421 |
| 2 | 50 | 0 | 0 | 3513,951 | 1479,355 | 421 |
| 3 | 75 | 207,980 | 33,331 | 3509,708 | 1479,266 | 421 |
| 4 | 100 | 1078,823 | 38,444 | 3491,943 | 1478,508 | 423 |
| 5 | 125 | 2481,216 | 43,627 | 3463,334 | 1477,146 | 427 |
| 6 | 150 | 4390,844 | 48,815 | 3424,378 | 1474,979 | 431 |

### 3.1.3 Kolom Bujur Sangkar 500 x 500 $mm^2$ dengan Variasi Penempatan Pipa/Rongga

**a. Diameter Pipa/Rongga 50 mm**




**Gambar 3.8**
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan Variasi Penempatan Pipa/Rongga

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

D = 50 mm

Variasi letak pipa : -125 mm; -100 mm;-75 mm; -50 mm; - 25 mm; 0 mm; +25 mm; +50 mm; +75 mm; +100 mm; 125 mm, dari setengah tinggi kolom.

**1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{n\ maks}$ ) dengan Beban Sentris**

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\ maks} = 0{,}80\ (\ 0{,}85\ f'_c\ (\ A_g - A_{st} - A_p\ ) + A_{st}\ f_y\ )$$

$$= 0{,}80\ (\ 0{,}85\ .\ 24\ (\ 250000 - 3927 - 1963\ ) + 3927\ .\ 400\ )$$

$$= 5240{,}515\ \text{kN}$$

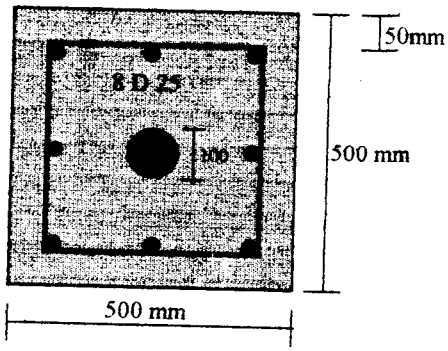
**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$;$P_{nb}$ ) dengan Beban Eksentris**

Cara perhitungan sama seperti pada sub bab 3.1.1 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perhitungan Kekuatan Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris dengan Variasi letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 50 mm)

| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -125 | 1963 | 125,989 | 2576,510 | 250,989 | 533,441 | 207 |
| 2 | -100 | 1963 | 100,791 | 2576,510 | 250,791 | 533,931 | 207 |
| 3 | -75 | 1963 | 75,594 | 2576,510 | 250,594 | 533,959 | 207 |
| 4 | -50 | 1797,279 | 52,324 | 2579,891 | 250,396 | 535,016 | 207 |
| 5 | -25 | 637,577 | 39,666 | 2603,548 | 250,198 | 535,900 | 206 |
| 6 | 0 | 0 | - | 2616,555 | 250 | 535,898 | 205 |
| 7 | 25 | 0 | - | 2616,555 | 249,802 | 535,395 | 205 |
| 8 | 50 | 0 | - | 2616,555 | 249,604 | 534,862 | 204 |
| 9 | 75 | 0 | - | 2616,555 | 249,406 | 534,344 | 204 |
| 10 | 100 | 0 | - | 2616,555 | 249,208 | 533,826 | 204 |
| 11 | 125 | 0 | - | 2616,555 | 249,011 | 533,311 | 204 |

**b. Diameter Pipa/Rongga 100 mm**




**Gambar 3.9**
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan Variasi Penempatan Pipa/Rongga

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

D = 100 mm

Variasi letak pipa : -100 mm; -75 mm; -50 mm; - 25 mm; 0 mm; +25 mm; +50 mm; +75 mm; +100 mm, dari setengah tinggi kolom.

**1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{n\ maks}$ ) dengan Beban Sentris**

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\ maks} = 0{,}80\ (\ 0{,}85\ f'_c\ (\ A_g - A_{st} - A_p\ ) + A_{st}\ f_y\ )$$

$$= 0{,}80\ (\ 0{,}85\ .\ 24\ (\ 250000 - 3927 - 7854\ ) + 3927\ .\ 400\ )$$

$$= 5144{,}374\ \text{kN}$$

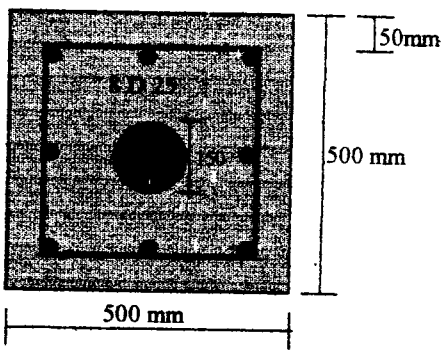
**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$;$P_{nb}$ ) dengan Beban Eksentris**

Cara perhitungan sama seperti pada sub bab 3.1.1 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.6.

Tabel 3.6 Perhitungan Kekuatan Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris dengan Variasi letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 100mm)

| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -100 | 7854 | 103,243 | 2456,333 | 253,243 | 527,842 | 215 |
| 2 | -75 | 7613,572 | 78,880 | 2461,238 | 252,433 | 530.013 | 215 |
| 3 | -50 | 5689,650 | 63,508 | 2500,486 | 251,622 | 532,771 | 213 |
| 4 | -25 | 5379,241 | 39,325 | 2506,818 | 250,811 | 533,705 | 212 |
| 5 | 0 | 962,882 | 39,310 | 2596,912 | 250 | 535,126 | 206 |
| 6 | 25 | 0 | - | 2616,555 | 249,189 | 533,776 | 204 |
| 7 | 50 | 0 | - | 2616,555 | 248,378 | 531,654 | 203 |
| 8 | 75 | 0 | - | 2616,555 | 247,567 | 529,532 | 202 |
| 9 | 100 | 0 | - | 2616,555 | 246,757 | 527,413 | 201 |

**c. Diameter Pipa/Rongga 150 mm**




**Gambar 3.10**
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan Variasi Penempatan Pipa/Rongga

$f_y = 400$ MPa

$f'_c = 24$ MPa

D = 150 mm

Variasi letak pipa : -75 mm; -50 mm; - 25 mm; 0 mm; +25 mm; +50 mm; +75, mm dari setengah tinggi kolom.

**1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{n\ maks}$ ) dengan Beban Sentris**

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\ maks} = 0{,}80\ (\ 0{,}85\ f'_c\ (\ A_g - A_{st} - A_p\ ) + A_{st}\ f_y\ )$$

$$= 0{,}80\ (\ 0{,}85\ .\ 24\ (\ 250000 - 3927 - 17671) + 3927\ .\ 400\ )$$

$$= 4984{,}161\ \text{kN}$$

**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$;$P_{nb}$ ) dengan Beban Eksentris**

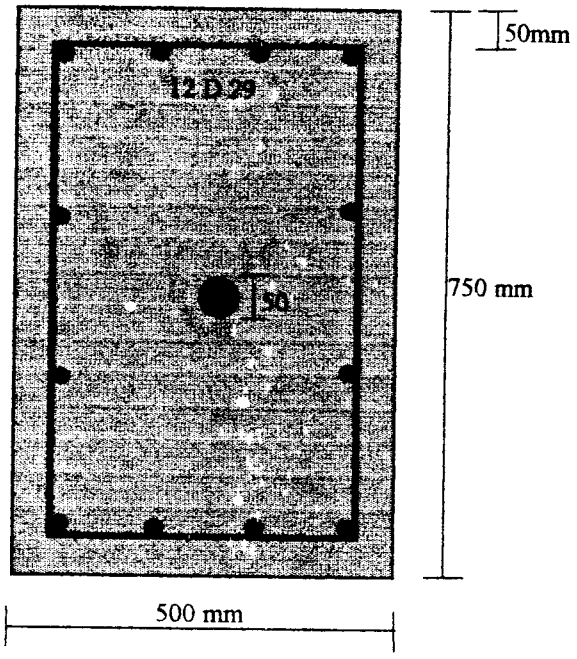
Cara perhitungan sama seperti pada sub bab 3.1.1 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.7.

Tabel 3.7 Perhitungan Kekuatan Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris dengan Variasi letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 150 mm)

| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -75 | 14915,561 | 91,102 | 2312,277 | 255,704 | 523,103 | 226 |
| 2 | -50 | 11513,220 | 76,146 | 2381,685 | 253,803 | 527,965 | 222 |
| 3 | -25 | 7790,993 | 62,533 | 2457,619 | 251,901 | 530,934 | 216 |
| 4 | 0 | 4191,472 | 49,665 | 2531,050 | 250 | 531,649 | 210 |
| 5 | 25 | 1203,609 | 37,363 | 2592,001 | 248,098 | 530,005 | 204 |
| 6 | 50 | 0 | - | 2616,555 | 246,197 | 525,948 | 201 |
| 7 | 75 | 0 | - | 2616,555 | 244,295 | 520,971 | 199 |

### 3.1.4 Kolom Persegi Panjang 500 x 750 mm$^2$ dengan Variasi Penempatan Pipa/Rongga

**a. Diameter Pipa/Rongga 50 mm**




**Gambar 3.11**
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan Variasi Letak Rongga/Pipa

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

D = 50 mm

Variasi letak pipa/rongga : -250 mm; -200 mm; -150 mm; -100 mm; - 50 mm ; 0 mm; +50mm; +100 mm; +150 mm; +200 mm; +250 mm, dari setengah tinggi penampang kolom.

**1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{nb}$ )dengan Beban Sentris**

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\,maks} = 0{,}80\,(\,0{,}85\,f'_c\,(\,A_g - A_{st} - A_p\,) + A_{st}\,f_y\,)$$

$$= 0{,}80\,(\,0{,}85\,.\,24\,(375000 - 7927 - 1963) + 7927\,.\,400\,)$$

$$= 8495{,}235\ \text{kN}$$

**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$; ) dengan Beban Eksentris**

Cara perhitungan kekuatan kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$ ) sama seperti perhitungan sub bab 3.1.2 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.8

Tabel 3.8 Perhitungan Kekuatan Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris dengan Variasi Letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 50 mm)

| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -250 | 1963 | 251,316 | 3473,906 | 376,316 | 1475,305 | 425 |
| 2 | -200 | 1963 | 201,052 | 3473,906 | 376,052 | 1476,111 | 425 |
| 3 | -150 | 1963 | 150,955 | 3473,906 | 375,789 | 1476,922 | 425 |
| 4 | -100 | 1963 | 100,692 | 3473,906 | 375,526 | 1477,733 | 425 |
| 5 | -50 | 1846,138 | 50,428 | 3476,290 | 375,263 | 1478,611 | 425 |
| 6 | 0 | 0 | - | 3513,951 | 375 | 1479,355 | 421 |
| 7 | 50 | 0 | - | 3513,951 | 374,737 | 1478,152 | 421 |
| 8 | 100 | 0 | - | 3513,951 | 374,474 | 1476,949 | 420 |
| 9 | 150 | 0 | - | 3513,951 | 374,211 | 1475,748 | 420 |
| 10 | 200 | 0 | - | 3513,951 | 373,946 | 1474,545 | 420 |
| 11 | 250 | 0 | - | 3513,951 | 373,684 | 1473,339 | 419 |

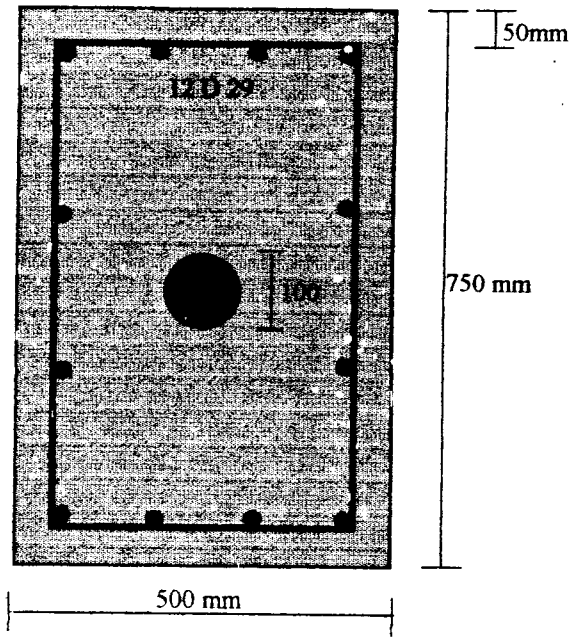
**b. Diameter Pipa/Rongga 100 mm**

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

D = 100 mm

Variasi letak pipa/rongga : -250 mm; -200 mm; -150 mm; -100 mm; - 50 mm ; 0 mm; +50mm; +100 mm; +150 mm; +200 mm; +250 mm, dari setengah tinggi penampang kolom.




**Gambar 3.12**
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan
Variasi Letak Rongga/Pipa

## 1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{nb}$ )dengan Beban Sentris

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\,maks} = 0{,}80 \left( 0{,}85\, f'_c \left( A_g - A_{st} - A_p \right) + A_{st}\, f_y \right)$$

$$= 0{,}80 \left( 0{,}85 \,.\, 24 \,(375000 - 7927 - 7854) + 7927 \,.\, 400 \right)$$

$$= 8399{,}094 \text{ kN}$$

**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$; ) dengan Beban Eksentris**

Cara perhitungan kekuatan kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$ ) sama seperti perhitungan sub bab 3.1.2 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.9

Tabel 3.9 Perhitungan Kekuatan Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris dengan Variasi Letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 100 mm)

| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -250 | 7854 | 255,348 | 3353,729 | 380,348 | 1457,496 | 435 |
| 2 | -200 | 7854 | 204,278 | 3353,729 | 379,278 | 1461,918 | 436 |
| 3 | -150 | 7854 | 153,209 | 3353,729 | 378,209 | 1466,344 | 437 |
| 4 | -100 | 7854 | 102,139 | 3353,729 | 377,139 | 1470,767 | 438 |
| 5 | -50 | 5826,825 | 62,235 | 3395,084 | 376,070 | 1475,977 | 435 |
| 6 | 0 | 1078,823 | 38,444 | 3491,943 | 375,000 | 1478,505 | 423 |
| 7 | 50 | 0 | - | 3513,951 | 373,930 | 1475,855 | 420 |
| 8 | 100 | 0 | - | 3513,951 | 372,861 | 1472,099 | 419 |
| 9 | 150 | 0 | - | 3513,951 | 371,791 | 1468,339 | 418 |
| 10 | 200 | 0 | - | 3513,951 | 370,721 | 1464,578 | 417 |
| 11 | 250 | 0 | - | 3513,951 | 369,652 | 1460,822 | 416 |

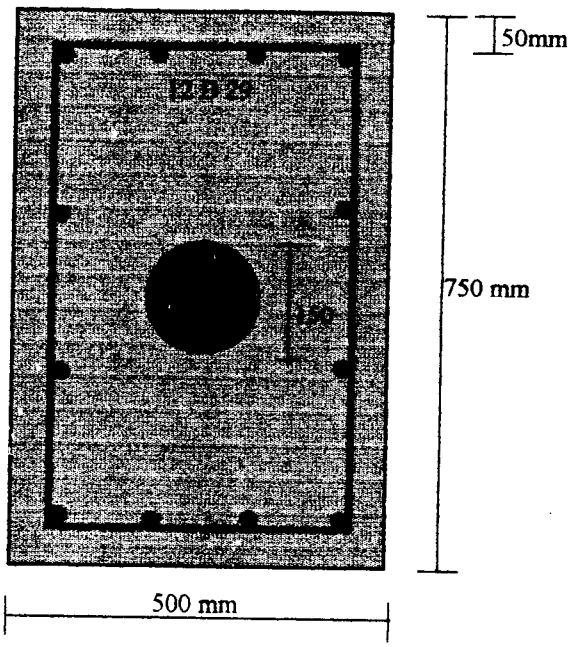
**c. Diameter Pipa/Rongga 150 mm**

$f_y$ = 400 MPa

$f'_c$ = 24 MPa

D = 150 mm

Variasi letak pipa/rongga : -250 mm; -200 mm; -150 mm; -100 mm; - 50 mm ; 0 mm; +50mm; +100 mm; +150 mm; +200 mm; +250 mm, dari setengah tinggi penampang kolom.




**Gambar 3.13**
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan
Variasi Letak Rongga/Pipa

## 1. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $P_{nb}$ )dengan Beban Sentris

Kolom yang mendapat beban sentris, seluruh penampangnya mendapat gaya tekan. Dengan demikian letak pipa/rongga yang berbeda-beda akan dapat menahan beban yang sama.

$$P_{n\,maks} = 0{,}80\,(\,0{,}85\,f'_c\,(\,A_g - A_{st} - A_p\,) + A_{st}\,f_y\,)$$

$$= 0{,}80\,(\,0{,}85\,.\,24\,(375000 - 7927 - 17671\,) + 7927\,.\,400\,)$$

$$= 8238{,}881\ \text{kN}$$

**2. Perhitungan Kekuatan Kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$; ) dengan Beban Eksentris**

Cara perhitungan kekuatan kolom ( $M_{nb}$; $P_{nb}$ ) sama seperti perhitungan sub bab 3.1.2 poin b dan hasil perhitungan disajikan dalam tabel 3.10

Tabel 3.10 Perhitungan Kekuatan Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris dengan Variasi Letak Pipa/Rongga (Diameter Pipa 150mm)

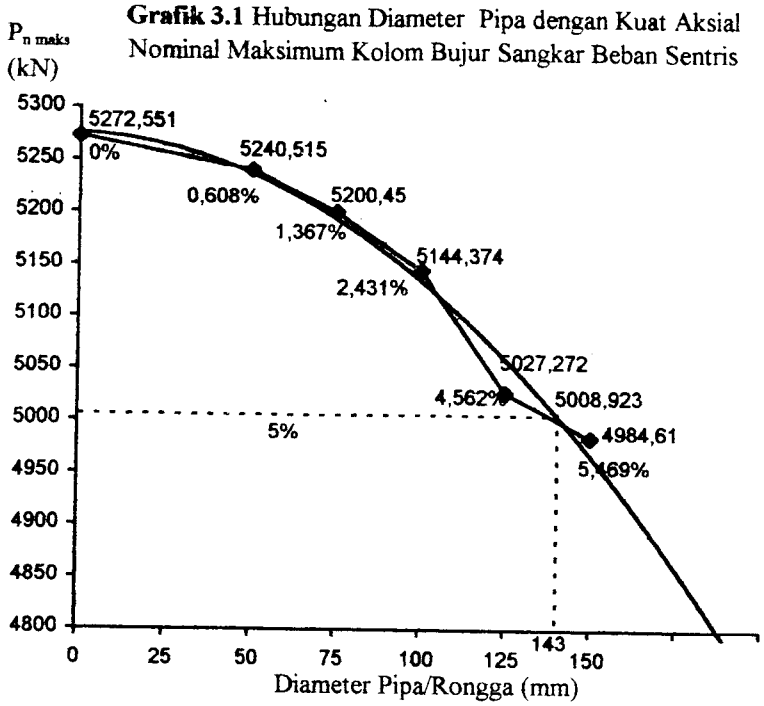
| No | S (mm) | $A_{pt}$ ($mm^2$) | $Z_{pt}$ (mm) | $P_{nb}$ (kN) | $\bar{y}$ (mm) | $M_{nb}$ (kN m) | $e_b$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -200 | 17671 | 209,891 | 3153,462 | 384,891 | 1438,447 | 456 |
| 2 | -150 | 17671 | 157,418 | 3153,462 | 382,418 | 1448,673 | 459 |
| 3 | -100 | 17463,439 | 105,799 | 3157,697 | 379,945 | 1459,039 | 462 |
| 4 | -50 | 11728,155 | 74,062 | 3274,697 | 377,473 | 1470,325 | 449 |
| 5 | 0 | 4390,844 | 48,815 | 3424,378 | 375 | 1474,979 | 431 |
| 6 | 50 | 0 | - | 3513,951 | 372,527 | 1470,664 | 418 |
| 7 | 100 | 0 | - | 3513,951 | 370,054 | 1461,974 | 416 |
| 8 | 150 | 0 | - | 3513,951 | 367,582 | 1453,288 | 413 |
| 9 | 200 | 0 | - | 3513,951 | 365,109 | 1444,598 | 411 |

## 3.2 Pengaruh Pipa/Rongga Terhadap Kekuatan Kolom

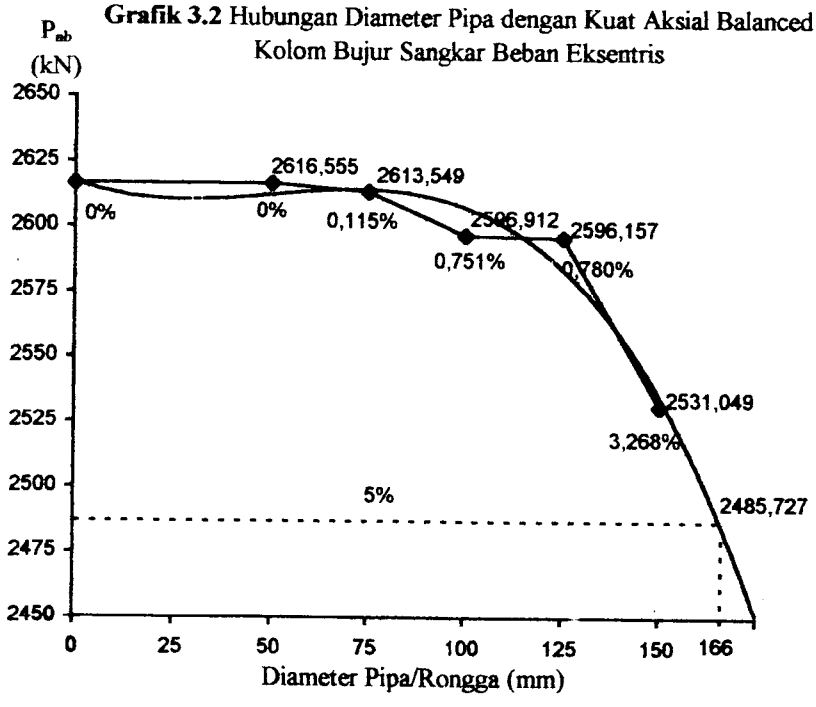
### 3.2.1 Pengaruh Diameter Pipa/Rongga pada Pusat Penampang di Dalam Kolom Bujur Sangkar 500 x 500 $mm^2$ Terhadap Kekuatan Kolom

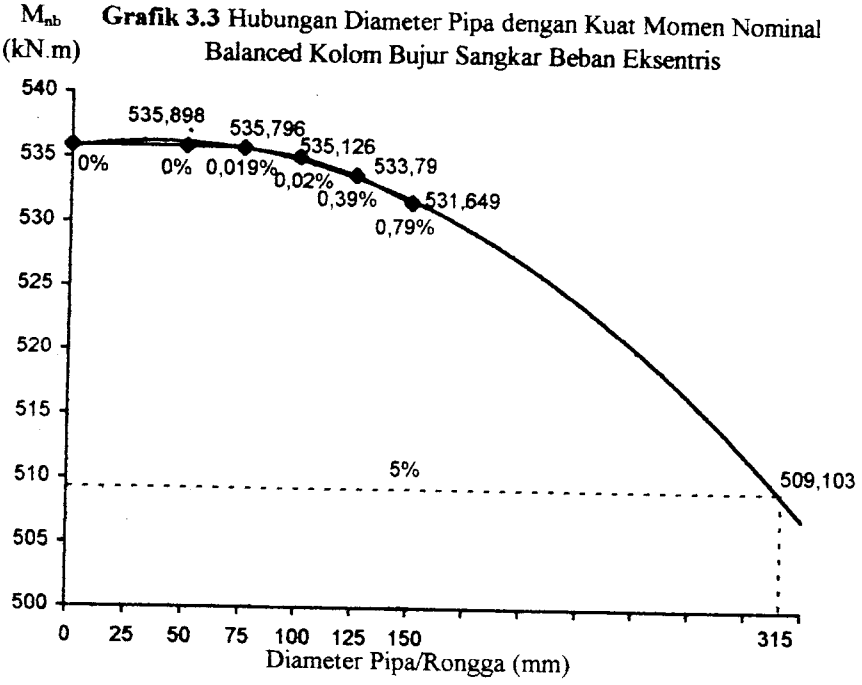
Untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh besarnya dimensi pipa/rongga yang terletak ditengah-tengah penampang kolom bujur sangkar 500 x 500 $mm^2$ terhadap kekuatan kolom maka disajikan grafik - grafik dibawah ini.

**Grafik 3.1** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Aksial Nominal Maksimum Kolom Bujur Sangkar Beban Sentris

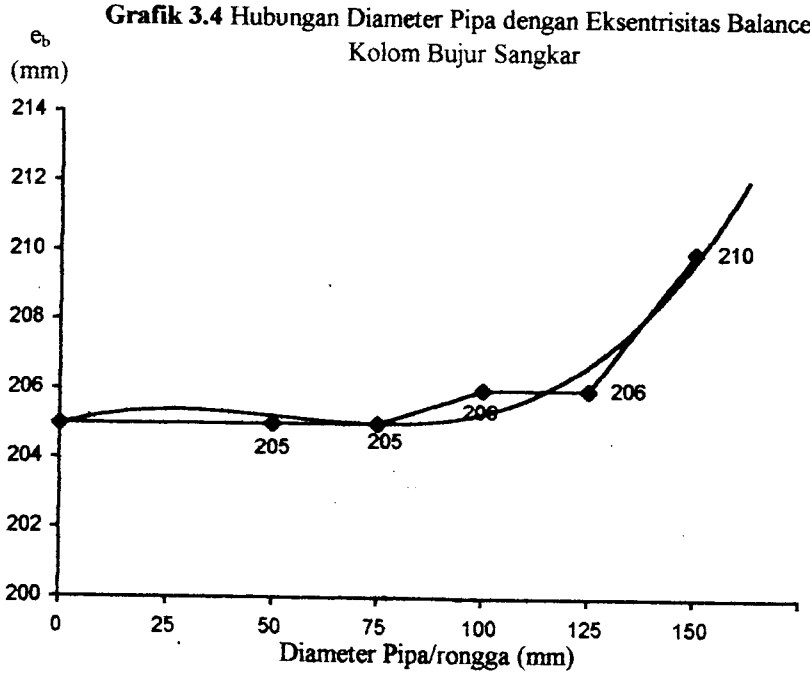



**Grafik 3.2** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Aksial Balanced Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris






**Grafik 3.3** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Momen Nominal Balanced Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris




**Grafik 3.4** Hubungan Diameter Pipa dengan Eksentrisitas Balanced Kolom Bujur Sangkar

Dari Grafik 3.1-3.4 dapat diketahui hubungan antara diameter rongga terhadap kekuatan kolom bujur sangkar 500 x 500 $mm^2$ yaitu :

a. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban sentris akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal maksimum ($P_{n\ maks}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Pipa dengan diameter 50 mm ($A_{pt}$ = 0,785 % dari luas penampang kolom), $P_{n\ maks}$ yang dapat ditahan adalah 5240,515 kN, berkurang 0,608 % dari $P_{n\ maks}$ kolom tanpa rongga. Dan untuk diameter 150 mm ($A_{pt}$ = 7,07 % dari luasan penampang kolom), $P_{n\ maks}$ yang mampu ditahan adalah 4984,161 kN, berkurang 5,47 % dari $P_{n\ maks}$ kolom tanpa rongga.

b. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal balanced ($P_{nb}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Pipa dengan diameter 75 mm ($A_{pt}$ = 0,059 % dari luas penampang kolom), $P_{nb}$ yang dapat ditahan adalah 2613,549 kN, berkurang 0,115 % dari $P_{nb}$ yang mampu ditahan kolom tanpa rongga. Untuk pipa dengan diameter 150 mm ( $A_{pt}$ = 1,676 % dari luas penampang kolom), $P_{nb}$ yang mampu ditahan adalah 1745,699 kN, berkurang 3,268 % dari $P_{nb}$ kolom tanpa rongga. Tetapi untuk pipa diameter 50 mm tidak ada pengurangan $P_{nb}$.

c. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat momen nominal balanced ($M_{nb}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Untuk pipa dengan diameter 75 mm ($A_{pt}$ = 0,059 % dari luas penampang

kolom), $M_{nb}$ yang dapat ditahan adalah 535,796 kN.m, berkurang 0,019 % dari $M_{nb}$ kolom tanpa rongga. Untuk pipa dengan diameter 150 mm ($A_{pt}$ = 1,676 % dari luas penampang kolom), $M_{nb}$ yang mampu ditahan adalah 531,649 kN.m, berkurang 0,793 % dari $M_{nb}$ kolom tanpa rongga. Tetapi untuk pipa dengan diameter 50 mm tidak terjadi pengurangan $M_{nb}$.

d. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula eksentrisitas balanced ($e_b$) kolom tersebut. Sebagai contoh : Untuk pipa dengan diameter 100 mm, eksentrisitasnya adalah 206 mm. Untuk pipa dengan diameter 150 mm eksentrisitasnya adalah 210 mm. Tetapi untuk pipa dengan diameter 50 mm dan 75 mm eksentrisitasnya sama dengan eksentrisitas kolom tak berongga.

e. Apabila diasumsikan bahwa pengurangan kekuatan ≤ 5% dari kekuatan kolom tanpa rongga dianggap pengaruhnya kecil, maka dapat ditentukan diameter rongga maksimum yang dapat dipasang pada kolom tersebut yaitu :

- Kolom dengan beban sentris :

  95 % . ($P_{n\,maks}$) = 0,95 . 5272,551

  = 5008,923 kN

  Dari grafik 3.1 diperoleh diameter pipa untuk pengurangan $P_{n\ maks}$ adalah 5% adalah : 143 mm (6,424% dari luas penampang kolom).

- Kolom dengan beban eksentris :

  95% $P_{nb}$ = 0,95 . 2616,555

  = 2485,727 kN

  Dari grafik 3.2 diperoleh diameter pipa untuk pengurangan $P_{nb}$ sebesar 5% adalah : 166 mm (8,657% dari luas penampang kolom).

- 95% $M_{nb}$ = 0,95 . 535,898

  = 509,103 kN.m

  Dari grafik 3.3 diperoleh diameter pipa untuk pengurangan $M_{nb}$ sebesar 5% adalah = 315 mm (31,172% dari luas penampang kolom).

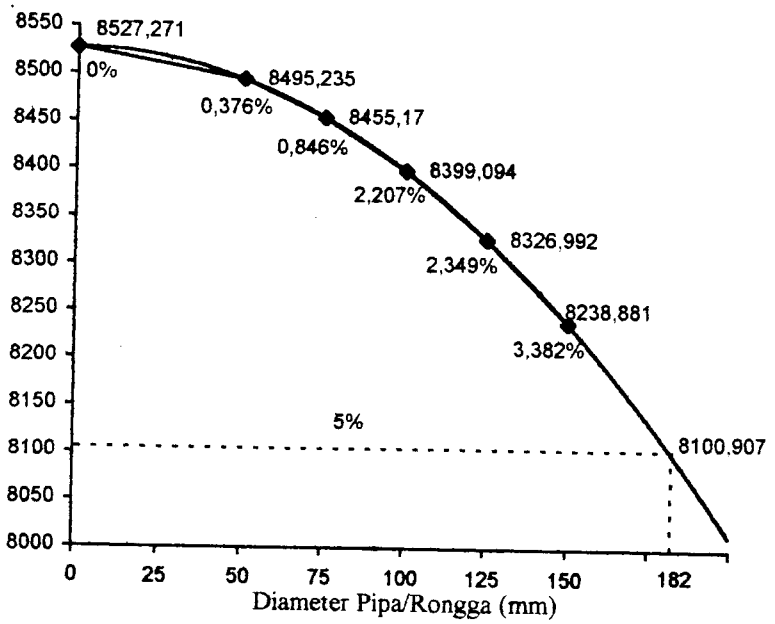
  Dari ketiga poin di atas diambil yang terkecil maka didapat diameter pipa/rongga maksimum yang dapat dipasang ditengah penampang kolom 500 x 500 $mm^2$ sehingga pengurangan kekuatannya sebesar 5% yaitu . 143 mm.

### 3.2.2 Pengaruh Diameter Pipa/Rongga pada Pusat Penampang di Dalam Kolom Persegi Panjang 500 x 750 $mm^2$ Terhadap kekuatan Kolom

Untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh besarnya dimensi pipa/rongga yang terletak ditengah-tengah penampang kolom persegi panjang 500 x 750 $mm^2$ terhadap kekuatan kolom maka disajikan grafik - grafik dibawah ini.

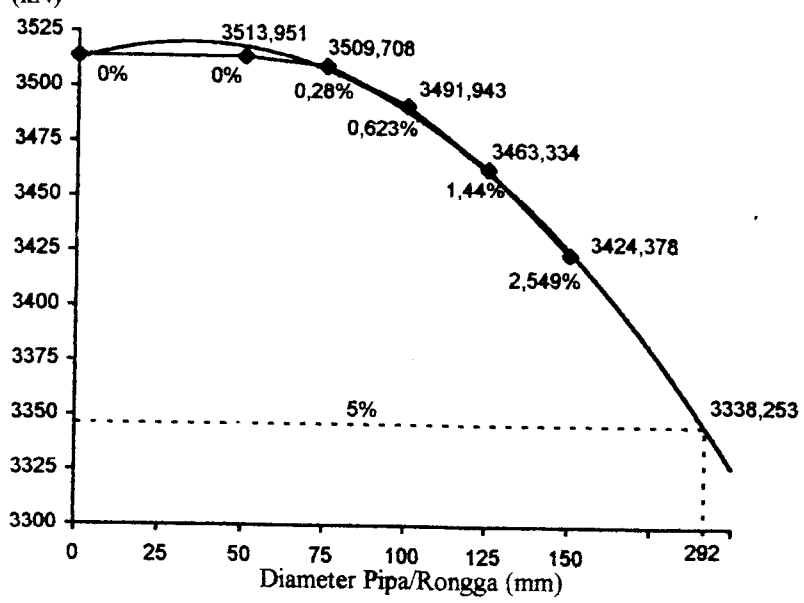
$P_{n\,maks}$ (kN)

**Grafik 3.5** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Aksial Nominal Maksimum Kolom Persegi Panjang Beban Sentris

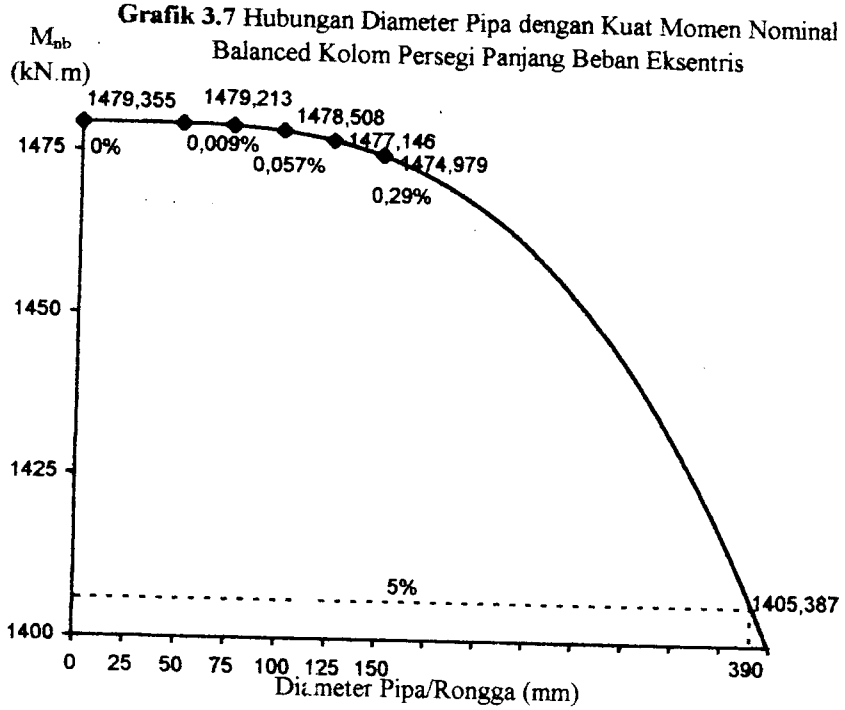



$P_{nb}$ (kN)

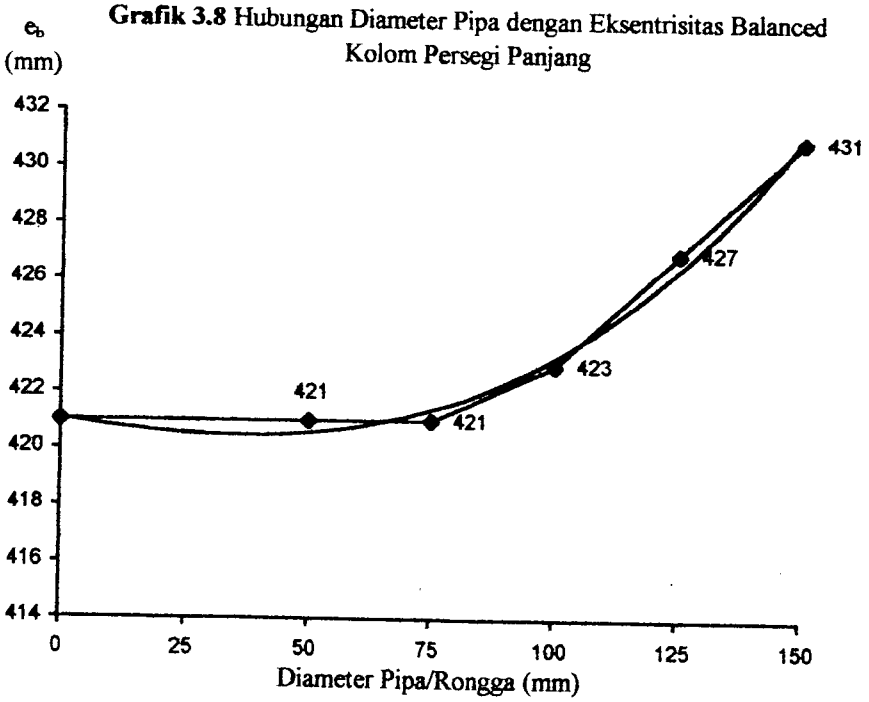
**Grafik 3.6** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Aksial Balanced Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris



**Grafik 3.7** Hubungan Diameter Pipa dengan Kuat Momen Nominal Balanced Kolom Persegi Panjang Beban Eksentris




**Grafik 3.8** Hubungan Diameter Pipa dengan Eksentrisitas Balanced Kolom Persegi Panjang



Dari Grafik 3.5-3.8 diketahui hubungan antara diameter rongga/pipa dengan kekuatan kolom persegi panjang 500 x 750 $mm^2$ yaitu :

a. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban sentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal maksimum ($P_{n\ maks}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Pipa dengan diameter 50 mm ($A_{pt}$ = 0,52 % dari luas penampang kolam), $P_{n\ maks}$ yang dapat ditahan adalah 8495,235 kN, berkurang 0.276 % dari $P_{n\ maks}$ kolom tanpa rongga. Dan untuk pipa dengan diameter 150 mm ($A_{pt}$ = 4,712 % dari luas penampang kolom), $P_{n\ maks}$ yang dapat ditahan adalah 8238, 881 kN, berkurang 3,38 % dari $P_{n\ maks}$ kolom tanpa rongga.

b. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal balanced ($P_{nb}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Pipa dengan diameter 75 mm ($A_{pt}$ = 0,055 % dari luas penampang kolom) $P_{nb}$ yang dapat ditahan adalah 3509,708 kN, berkurang 0.105 % dari $P_{nb}$ kolom tanpa rongga. Dan untuk pipa dengan diameter 150 mm ($A_{pt}$ = 1,171 % dari luas penampang kolom), $P_{nb}$ yang dapat ditahan adalah 3424,378 kN, berkurang 2,54 % dari $P_{nb}$ kolom tanpa rongga.

c. Semakin besar diameter pipa/rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat momen nominal balanced ($M_{nb}$) dari kolom tersebut. Sebagai contoh : Untuk pipa dengan diameter 75 mm ($A_{pt}$ = 0,055 % dari luas penampang kolom), $M_{nb}$ yang dapat ditahan adalah 1479,213 kN.m, berkurang

- Kolom dengan beban eksentris :

  95% $P_{nb}$ = 0,95 . 3513,951

  = 3338,283 kN

  Dari grafik 3.6 diperoleh diameter pipa untuk pengurangan $P_{nb}$ sebesar 5% adalah : 292 mm (17,858% dari luas penampang kolom).

- 95% $M_{nb}$ = 0,95 . 1479,355

  = 1405,387 kN.m

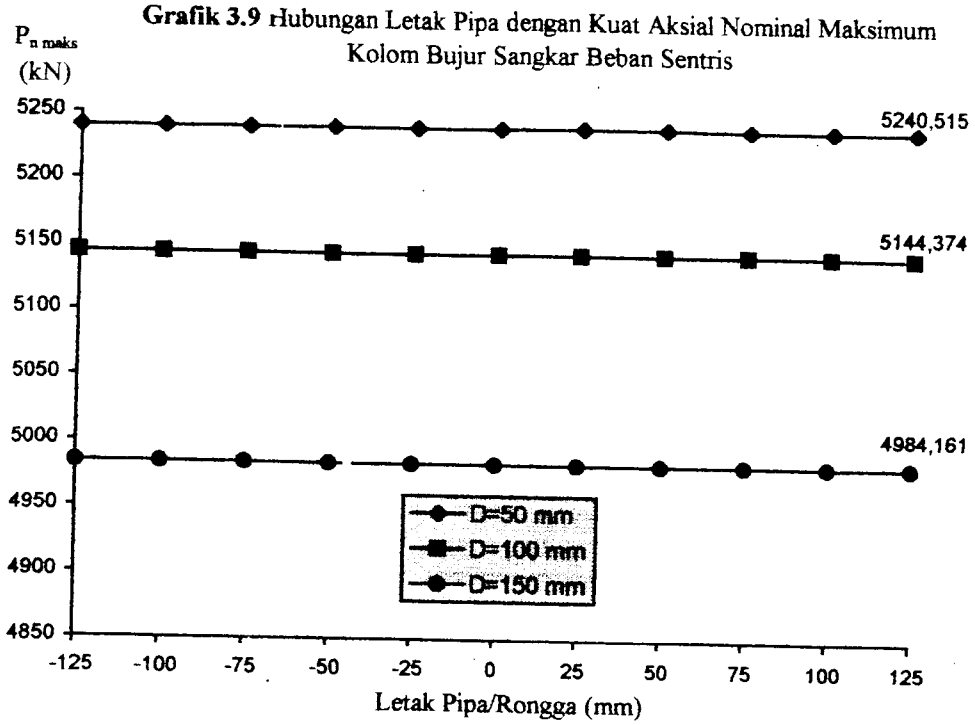
  Dari grafik 3.7 diperoleh diameter pipa untuk pengurangan $M_{nb}$ sebesar 5% adalah = 390 mm (31,856% dari luas penampang kolom).

  Dari ketiga poin di atas diambil yang terkecil maka didapat diameter pipa/rongga maksimum yang dapat dipasang ditengah penampang kolom 500 x 750 $mm^2$ sehingga pengurangan kekuatannya sebesar 5% yaitu : 182 mm.

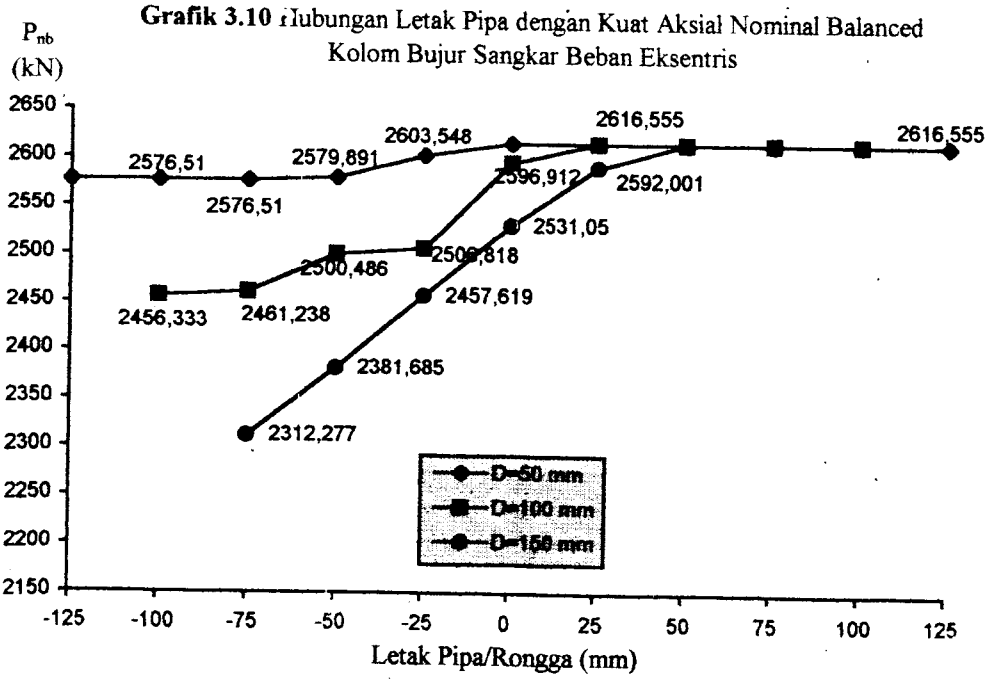
### 3.2.3 Pengaruh Letak Pipa/Rongga di Dalam Kolom Bujur Sangkar 500 x 500 $mm^2$ Terhadap Kekuatan Kolom

Untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh letak pipa/rongga dengan dimensi 50 mm, 100 mm, 150 mm di dalam penampang kolom bujur sangkar 500 x 500 $mm^2$ terhadap kekuatan kolom, maka disajikan grafik - grafik dibawah ini.

**Grafik 3.9** Hubungan Letak Pipa dengan Kuat Aksial Nominal Maksimum Kolom Bujur Sangkar Beban Sentris




**Grafik 3.10** Hubungan Letak Pipa dengan Kuat Aksial Nominal Balanced Kolom Bujur Sangkar Beban Eksentris



Dari grafik 3.9-3.12 dapat diketahui hubungan antara letak pipa/rongga dengan kekuatan kolom yaitu:

a. Pada kolom yang menerima beban sentris, letak pipa di dalam kolom tidak mempengaruhi kuat Aksial nominal maksimun ($P_{n\,maks}$) kolom tersebut.
b. Semakin kecil luas bagian penampang pipa/rongga yang terletak di daerah blok penampang tekan, semakin besar $P_{nb}$ yang dapat ditahan oleh kolom tersebut.
c. Momen nominal ($M_{nb}$) terbesar yang dapat diterima oleh kolom berongga adalah pada saat rongga/pipa tersebut terletak ditengah-tengah penampang
d. Pipa dengan diameter 50 mm pada jarak 0 - (-50) mm, pipa diameter 100 mm pada jarak (-100) - 25 mm dan pipa diameter 150 mm pada jarak (-75) - 50 mm terjadi perubahan kuat aksial nominal balance karena pipa/rongga pada jarak tersebut terletak pada peralihan daerah tekan dan tarik.
e. Berdasarkan poin b,c,d diatas dapat disimpulkan bahwa penempatan pipa yang paling aman adalah pada saat pipa terletak di tengah penampang.

### 3.2.4 Pengaruh Letak Pipa/Rongga di Dalam Kolom Persegi Panjang 500 x 750 $mm^2$ Terhadap Kekuatan Kolom

Untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh letak pipa/rongga dengan dimensi 50 mm, 100 mm, 150 mm di dalam penampang kolom persegi panjang 500 x 750 $mm^2$ terhadap kekuatan kolom, maka disajikan grafik - grafik dibawah ini.

Dari grafik 3.13-3.16 dapat diketahui hubungan antara letak pipa/rongga dengan kekuatan kolom yaitu:

a. Pada kolom yang menerima beban sentris, letak pipa/rongga yang berbeda-beda di dalam kolom tidak mempengaruhi kuat Aksial nominal maksimun ($P_{n\,maks}$) kolom tersebut.

b. Semakin kecil luas bagian penampang pipa/rongga yang terletak di daerah blok penampang tekan, semakin besar $P_{nb}$ yang dapat ditahan oleh kolom tersebut.

c. Momen nominal ($M_{nb}$) terbesar yang adalah pada saat rongga/pipa tersebut terletak ditengah-tengah penampang.

d. Eksentrisitas terbesar terjadi pada saat rongga/pipa yang terletak pada -250 sampai -50 mm untuk pipa dengan diameter 50 mm, -100 mm untuk pipa dengan diameter 100 mm dan-150 mm untuk pipa dengan diameter 150 mm.

e. Pipa dengan diameter 50 mm pada jarak 0 - (-50) mm dan pipa diameter 100 mm dan 150 mm pada jarak (-100) -50 mm terjadi perubahan kuat aksial nominal balance karena pipa/rongga pada jarak tersebut terletak pada peralihan daerah tekan dan tarik.

f. Berdasarkan poin b,c,d diatas dapat disimpulkan bahwa penempatan pipa yang paling kecil pengaruhnya terhadap pengurangan kekuatan kolom adalah pada saat pipa/rongga terletak di tengah-tengah penampang.