

BAB V

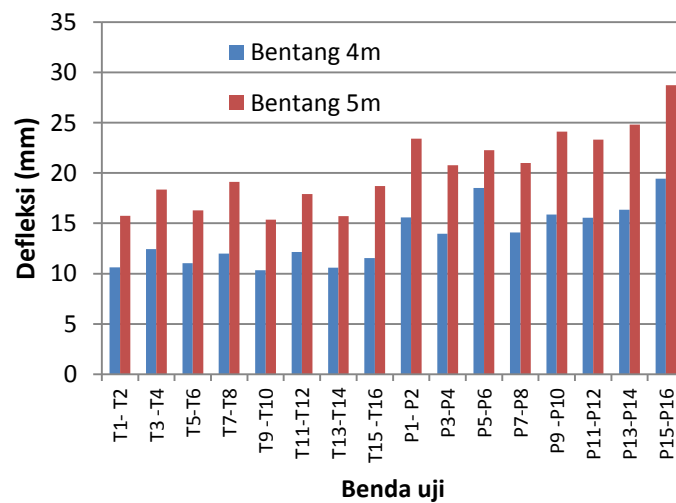
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Defleksi

Defleksi merupakan perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Dari hasil analisis *Response-2000* dapat membandingkan nilai defleksi dari benda uji balok dengan variasi bentang. Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa pada bentang 4 m benda uji T9 mempunyai nilai defleksi terkecil dengan nilai defleksi 10,345 mm, sedangkan benda uji P15 mempunyai nilai defleksi terbesar dengan nilai 19,435 mm. Benda uji T9 mempunyai defleksi terkecil karena benda uji ini mempunyai dimensi cukup besar yaitu berbentuk T berdimensi, tinggi balok (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan tulangan pokok ρ_{min} dan jarak sengkang 150 mm. Benda uji P15 mempunyai nilai defleksi terbesar karena benda uji ini mempunyai dimensi yang kecil yaitu berbentuk persegi berdimensi tinggi (h) 400 mm, lebar (b) 400 mm dengan tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm. Benda uji untuk bentang 5 m benda uji T10 mempunyai nilai defleksi terkecil dengan nilai defleksi 15,353 mm, sedangkan benda uji P16 mempunyai nilai defleksi terbesar dengan nilai 28,733 mm. Benda uji T10 mempunyai defleksi terkecil karena benda uji ini mempunyai dimensi yang cukup besar yaitu berbentuk T berdimensi tinggi balok (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan tulangan pokok ρ_{min} dan jarak sengkang 200 mm. Benda uji P16 mempunyai nilai defleksi terbesar karena benda uji ini berbentuk persegi berdimensi tinggi (h) 400 mm, lebar (b) 400 mm dengan tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm. Benda uji dengan selisih terkecil akibat bentang yang berbeda adalah benda uji P5 dan P6 dengan nilai selisih 3,754 mm dan benda uji P15 dan P16 mempunyai nilai selisih terbesar dengan nilai 9,298 mm, ada kemungkinan selisih nilai defleksi akibat bentang yang berbeda dipengaruhi oleh ketebalan balok atau lebar balok. Bisa dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5.1 Pengaruh variasi bentang balok terhadap defleksi

| Benda uji | Defleksi (mm) | | Selisish (mm) |
|-----------|---------------|-------------|---------------|
| | Bentang 4 m | Bentang 5 m | |
| T1- T2 | 10,627 | 15,752 | 5,125 |
| T3 -T4 | 12,447 | 18,344 | 5,897 |
| T5-T6 | 11,042 | 16,294 | 5,252 |
| T7-T8 | 11,998 | 19,124 | 7,126 |
| T9 -T10 | 10,345 | 15,353 | 5,008 |
| T11-T12 | 12,141 | 17,926 | 5,785 |
| T13-T14 | 10,589 | 15,725 | 5,136 |
| T15 -T16 | 11,541 | 18,723 | 7,182 |
| P1- P2 | 15,585 | 23,418 | 7,833 |
| P3-P4 | 13,968 | 20,767 | 6,799 |
| P5-P6 | 18,509 | 22,263 | 3,754 |
| T1- T2 | 10,627 | 15,752 | 5,125 |
| T3 -T4 | 12,447 | 18,344 | 5,897 |
| T5-T6 | 11,042 | 16,294 | 5,252 |
| T7-T8 | 11,998 | 19,124 | 7,126 |
| T9 -T10 | 10,345 | 15,353 | 5,008 |



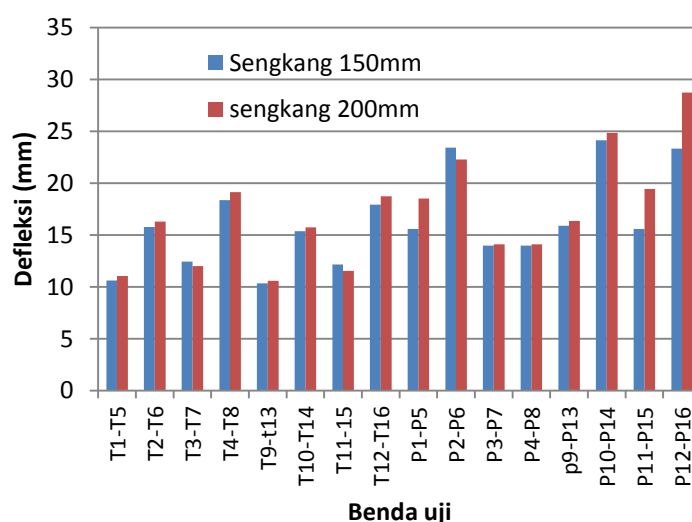
Gambar 5.1 Defleksi balok bentang 4 m dan 5 m

Tabel 5.2 menunjukkan selisih defleksi balok benda uji akibat variasi jarak tulangan sengkang, tetapi nilai selisih defleksi akibat variasi jarak tulangan sengkang tidak terlalu signifikan. Dari hasil benda uji selisih terbesar yaitu benda uji P12 - P16 dengan nilai selisih defleksi 5,41 mm. Sebagian besar data

benda uji memiliki nilai min, hal ini menunjukkan bahwa benda uji dengan jarak sengkang 150 mm mempunyai nilai defleksi lebih kecil dibandingkan benda uji dengan jarak sengkang 200 mm atau sebaliknya. Bisa dilihat pada gambar 5.2.

Tabel 5.2 Pengaruh variasi jarak sengkang terhadap defleksi

| Benda uji | Defleksi (mm) | | Selisih (mm) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| | Jarak sengkang 150 mm | Jarak sengkang 200 mm | |
| T1-T5 | 10,627 | 11,042 | -0,415 |
| T2-T6 | 15,752 | 16,294 | -0,542 |
| T3-T7 | 12,447 | 11,998 | 0,449 |
| T4-T8 | 18,344 | 19,124 | 0,78 |
| T9-t13 | 10,345 | 10,589 | -0,244 |
| T10-T14 | 15,353 | 15,725 | -0,372 |
| T11-15 | 12,141 | 11,541 | 0,6 |
| T12-T16 | 17,926 | 18,723 | -0,797 |
| P1-P5 | 15,585 | 18,509 | -2,924 |
| P2-P6 | 23,418 | 22,263 | 1,155 |
| P3-P7 | 13,968 | 14,095 | -0,127 |
| P4-P8 | 13,968 | 14,095 | -0,127 |
| P9-P13 | 15,883 | 16,341 | -0,458 |
| P10-P14 | 24,134 | 24,832 | -0,698 |
| P11-P15 | 15,565 | 19,435 | -3,87 |
| P12-P16 | 23,323 | 28,733 | -5,41 |



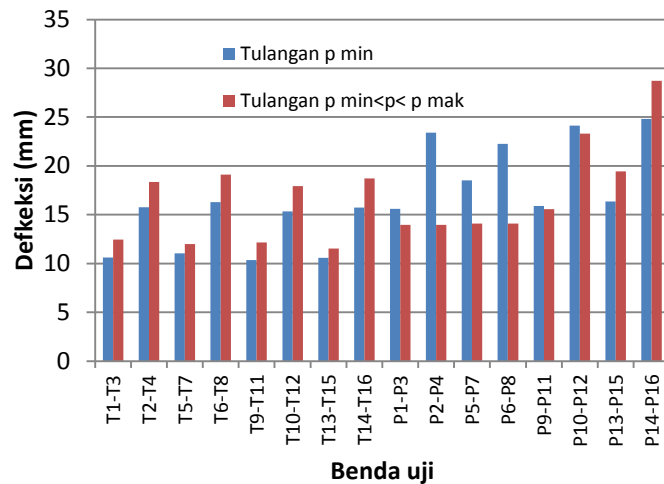
Gambar 5.2 Defleksi pengaruh variasi jarak sengkang

Tabel 5.3 menunjukkan selisih defleksi balok benda uji akibat kombinasi rasio tulangan pokok. Dari hasil analisis besarnya defleksi tidak

hanya disebabkan oleh kombinasi tulangan karena hasil analisis menunjukkan, sebagian benda uji yang menggunakan ρ_{min} mengalami defleksi lebih kecil dari benda uji dengan tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$. Dari hasil analisis nilai selisih terbesar adalah benda uji P2 - P4 yaitu dengan selisih nilai defleksi 9,45 mm. Nilai defleksi terbesar yaitu benda uji P16 dengan nilai defleksi 28,778 mm dan nilai defleksi terkecil adalah benda uji T9 dengan nilai defleksi 10,345 mm. Benda uji berbentuk T dari hasil analisis menunjukkan nilai defleksi benda uji yang menggunakan tulangan pokok ρ_{min} mengalami defleksi lebih kecil dibandingkan dengan benda uji balok T dengan menggunakan tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$, untuk benda uji bentuk persegi hampir semua menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan tulangan pokok ρ_{min} nilai defleksinya lebih besar dibandingkan benda uji yang menggunakan tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$, hanya 4 jenis benda uji yang memiliki nilai min yaitu benda uji persegi dengan tinggi (h) 400 mm dan lebar (b) 400 mm dengan jarak sengkang 200 mm. Bisa dilihat pada Gambar 5.3.

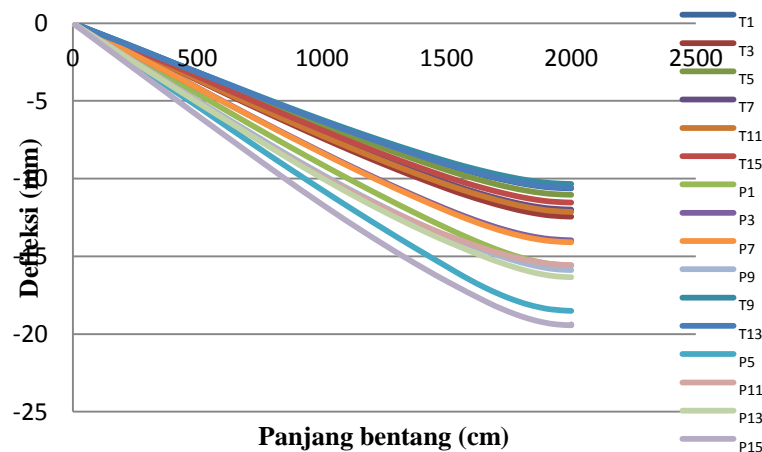
Tabel 5.3 Defleksi akibat pengaruh variasi rasio tulangan

| Benda uji | Defleksi (mm) | | Selisih (mm) |
|-----------|---------------------------------|---|--------------|
| | Tulangan pokok (ρ_{min}) | Tulangan pokok ($\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$) | |
| T1-T3 | 10,627 | 12,447 | -1,82 |
| T2-T4 | 15,752 | 18,344 | -2,592 |
| T5-T7 | 11,042 | 11,998 | -0,956 |
| T6-T8 | 16,294 | 19,124 | -2,83 |
| T9-T11 | 10,345 | 12,141 | -1,796 |
| T10-T12 | 15,353 | 17,926 | -2,573 |
| T13-T15 | 10,589 | 11,541 | -0,952 |
| T14-T16 | 15,725 | 18,723 | -2,998 |
| P1-P3 | 15,585 | 13,968 | 1,617 |
| P2-P4 | 23,418 | 13,968 | 9,45 |
| P5-P7 | 18,509 | 14,095 | 4,414 |
| P6-P8 | 22,263 | 14,095 | 8,168 |
| P9-P11 | 15,883 | 15,565 | 0,318 |
| P10-P12 | 24,134 | 23,323 | 0,811 |
| P13-P15 | 16,341 | 19,435 | -3,094 |
| P14-P16 | 24,832 | 28,733 | -3,901 |

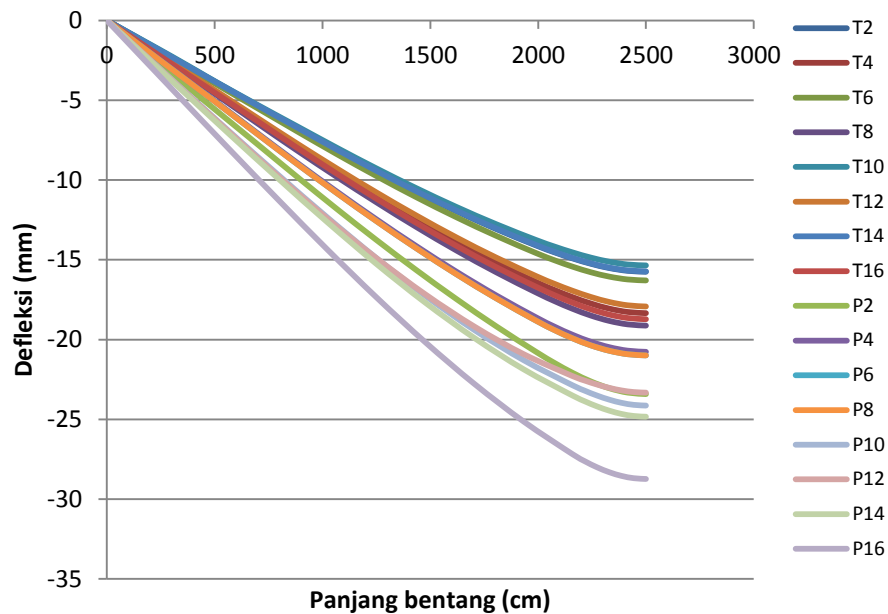


Gambar 5.3 Defleksi akibat kombinasi rasio tulangan (ρ_{min} dan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$)

Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 menunjukkan bahwa benda uji balok T9 mempunyai nilai defleksi terkecil dengan nilai defleksi 10,345 mm dan benda uji balok yang mempunyai nilai defleksi terbesar adalah P16 dengan nilai defleksi 28,773 mm. Benda uji T9 mempunyai defleksi terkecil karena benda uji ini berbentuk T berdimensi tinggi balok (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan tulangan pokok ρ_{min} dan jarak sengkang 150 mm. sedangkan benda uji P16 mempunyai nilai defleksi terbesar dengan nilai 28,733 mm. Benda uji T10 mempunyai defleksi terkecil karena benda uji ini berbentuk T berdimensi tinggi balok (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan tulangan pokok ρ_{min} dan jarak sengkang 200 mm. Hasil analisis benda uji dengan tebal beton yang kecil mempunyai defleksi terbesar.



Gambar 5.4 Nilai defleksi benda uji bentang 4 m



Gambar 5.5 Nilai defleksi benda uji bentang 5 m

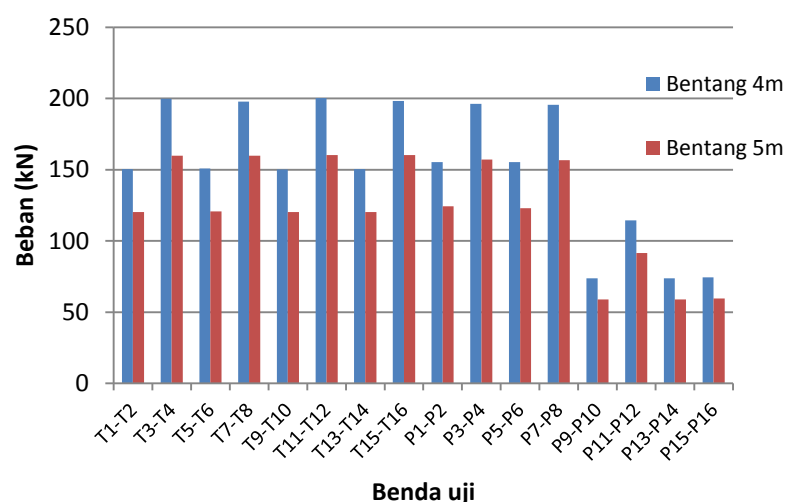
B. Beban Maksimal

Akibat adanya pembebanan vertikal dari arah y pada benda uji balok maka akan menyebabkan terjadinya defleksi. Hasil analisis program *Response-2000*, beban ditampilkan dalam bentuk data dan grafik. Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa pada bentang 4 m benda uji yang memiliki nilai beban maksimum terbesar adalah benda uji T11 dengan nilai beban maksimal 200,343 kN, sedangkan benda uji yang memiliki beban maksimal terkecil adalah benda uji P13 dengan nilai 73,754 kN. Benda uji T11 mempunyai nilai beban maksimal terbesar dikarenakan benda uji ini memiliki dimensi yang cukup besar yaitu berbentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 150 mm, sedangkan benda uji P13 mempunyai nilai beban maksimal yang kecil karena benda uji ini berbentuk persegi dengan dimensi tinggi balok (h) 400 mm dan lebar balok (b) 400 mm, dengan rasio tulangan ρ_{min} dengan jarak sengkang 200 mm. Benda uji balok bentang 5 m benda uji yang memiliki nilai beban maksimal terbesar adalah benda uji T12 dengan nilai beban maksimal 160,274 kN, sedangkan benda uji yang memiliki beban maksimal terkecil adalah benda uji P14 dengan nilai

59,003 kN. Benda uji T12 mempunyai nilai beban maksimal terbesar dikarenakan benda uji ini memiliki dimensi yang cukup besar yaitu yaitu berbentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 150 mm, sedangkan benda uji P14 mempunyai nilai beban maksimal terkecil karena benda uji ini berbentuk persegi dengan dimensi tinggi balok (h) 400 mm dan lebar balok (b) 400 mm dengan rasio tulangan ρ_{min} dengan jarak sengkang 200 mm. benda uji T11 - T12 mempunyai selisih beban maksimal terbesar dibanding dari beberapa benda uji lainnya yaitu sebesar 40,09 kN, dan selisih nilai beban maksimal terkecil adalah benda uji P9-P10 dan P13 - P14 dengan nilai selisih 14,741 kN, hal ini menunjukkan semakin panjang bentang maka kekuatan balok semakin berkurang. Bisa dilihat pada Gambar 5.6.

Tabel 5.4 Nilai beban maksimal kombinasi betang balok

| Benda uji | Beban maksimal (kN) | | Selisih (mm) |
|-----------|---------------------|-------------|--------------|
| | Bentang 4 m | Bentang 5 m | |
| T1-T2 | 150,364 | 120,291 | 30,073 |
| T3-T4 | 199,827 | 159,861 | 39,966 |
| T5-T6 | 150,964 | 120,771 | 30,193 |
| T7-T8 | 197,912 | 159,909 | 38,003 |
| T9-T10 | 150,299 | 120,239 | 30,06 |
| T11-T12 | 200,343 | 160,274 | 40,069 |
| T13-T14 | 150,417 | 120,333 | 30,084 |
| T15-T16 | 198,226 | 160,274 | 37,952 |
| P1-P2 | 155,47 | 124,376 | 31,094 |
| P3-P4 | 196,376 | 157,101 | 39,275 |
| P5-P6 | 155,47 | 123,034 | 32,436 |
| P7-P8 | 195,689 | 156,645 | 39,044 |
| P9-P10 | 73,754 | 59,003 | 14,751 |
| P11-P12 | 114,507 | 91,605 | 22,902 |
| P13-P14 | 73,754 | 59,003 | 14,751 |
| P15-P16 | 74,573 | 59,658 | 14,915 |



Gambar 5.6 Nilai beban maksimum variasi bentang

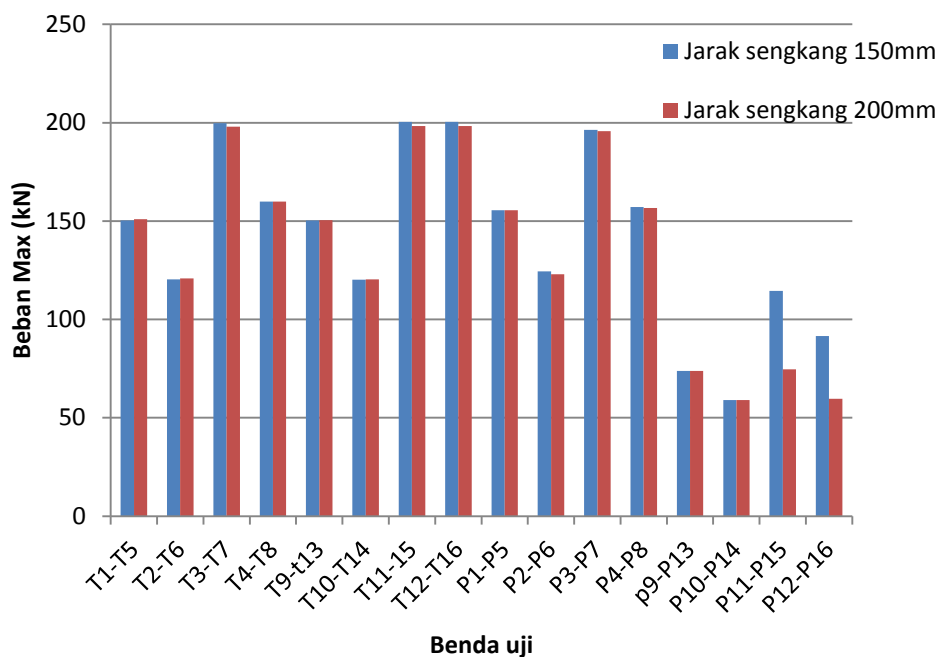
Tabel 5.5 menunjukkan variasi jarak sengkang tidak pengaruh signifikan terhadap beban maksimal, dari sebagian banyak benda uji balok, hanya benda uji P11 - P15 dan P12 - P16 yang terlihat mempunyai nilai selisih beban maksimal yang cukup besar untuk benda uji P11 - P15 sebesar 39,934 kN dan untuk benda uji P12 - P16 sebesar 31,947 kN. Benda uji yang memiliki selisih nilai terbesar adalah benda uji berbentuk persegi dengan dimensi tinggi (h) 400 mm dan lebar (b) 400 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$. Nilai min menunjukkan nilai beban maksimum dengan jarak sengkang 150 mm memiliki nilai beban maksimal lebih kecil dibanding benda uji dengan jarak sengkang 200 mm. Seperti terlihat pada Gambar 4.7.

Tabel 5.5 Nilai beban maksimal variasi jarak sengkang

| Benda uji | Beban maksimal (kN) | | Selisih (mm) |
|-----------|---------------------|-----------------|--------------|
| | Sengkang 150 mm | Sengkang 200 mm | |
| T1-T5 | 150,364 | 150,964 | -0,6 |
| T2-T6 | 120,291 | 120,771 | -0,48 |
| T3-T7 | 199,827 | 197,912 | 1,915 |
| T4-T8 | 159,861 | 159,909 | -0,048 |
| T9-t13 | 150,299 | 150,417 | -0,118 |
| T10-T14 | 120,239 | 120,333 | -0,094 |
| T11-15 | 200,343 | 198,226 | 2,117 |
| T12-T16 | 200,343 | 198,226 | 2,117 |
| P1-P5 | 155,47 | 155,47 | 0 |
| P2-P6 | 124,376 | 123,034 | 1,342 |
| P3-P7 | 196,376 | 195,689 | 0,687 |

Tabel 5.6 Nilai beban maksimal variasi jarak sengkang (Lanjutan)

| Benda uji | Beban maksimal (kN) | | Selisih (mm) |
|-----------|---------------------|-----------------|--------------|
| | Sengkang 150 mm | Sengkang 200 mm | |
| P4-P8 | 157,101 | 156,645 | 0,456 |
| P9-P13 | 73,754 | 73,754 | 0 |
| P10-P14 | 59,003 | 59,003 | 0 |
| P11-P15 | 114,507 | 74,573 | 39,934 |
| P12-P16 | 91,605 | 59,658 | 31,947 |

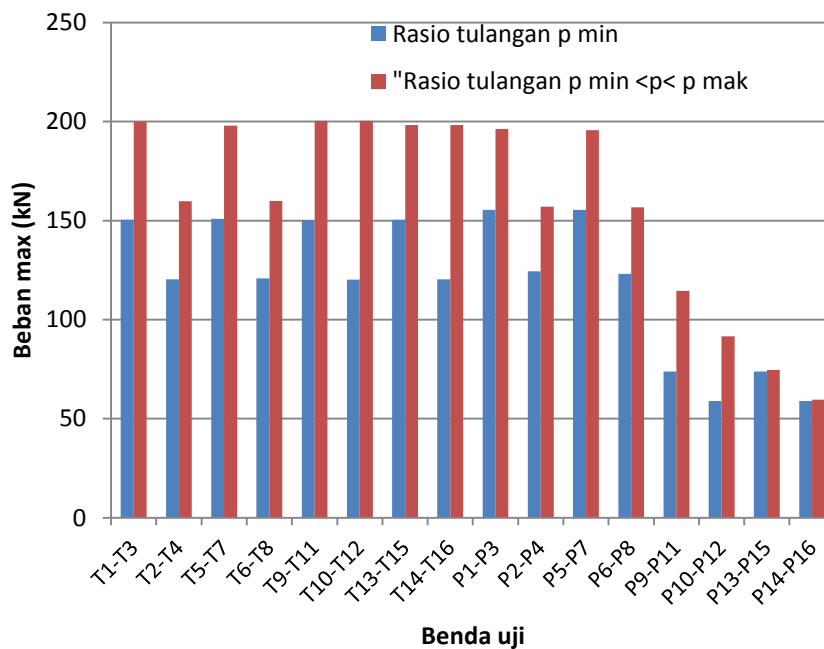


Gambar 5.7 Beban maksimal variasi jarak sengkang

Tabel 5.7 menunjukkan variasi rasio tulangan pokok sangat berpengaruh terhadap beban maksimal suatu penampang balok, dari semua benda uji, hanya 2 benda uji yang selisih nilainya kecil, yaitu benda uji P13 - P15 dengan nilai 0,819 kN dan benda uji P14 - P16 dengan nilai 0,655 kN. benda uji yang mempunyai selisih nilai beban maksimal tertinggi adalah benda uji T10 - T12 yaitu sebesar 80,104 kN. Dua benda uji yang mempunyai selisih terkecil yaitu benda uji berbentuk persegi dengan dimensi tinggi (h) 400 mm dan lebar (b) 400 mm, dengan jarak sengkang 200 mm. Perbedaan nilai benda uji T10 dan T12 menunjukkan semakin besar rasio tulangan maka semakin kuat balok menerima beban. Seperti terlihat pada Gambar 5.8.

Tabel 5.7 Nilai beban maksimal pengaruh variasi rasio tulangan

| Benda uji | Beban maksimal (kN) | | Selisih (mm) |
|-----------|---------------------------------|---|--------------|
| | Tulangan pokok (ρ_{min}) | Tulangan pokok ($\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$) | |
| T1-T3 | 150,364 | 199,827 | 49,463 |
| T2-T4 | 120,291 | 159,861 | 39,57 |
| T5-T7 | 150,964 | 197,912 | 46,948 |
| T6-T8 | 120,771 | 159,909 | 39,138 |
| T9-T11 | 150,299 | 200,343 | 50,044 |
| T10-T12 | 120,239 | 200,343 | 80,104 |
| T13-T15 | 150,417 | 198,226 | 47,809 |
| T14-T16 | 120,333 | 198,226 | 77,893 |
| P1-P3 | 155,47 | 196,376 | 40,906 |
| P2-P4 | 124,376 | 157,101 | 32,725 |
| P5-P7 | 155,47 | 195,689 | 40,219 |
| P6-P8 | 123,034 | 156,645 | 33,611 |
| P9-P11 | 73,754 | 114,507 | 40,753 |
| P10-P12 | 59,003 | 91,605 | 32,602 |
| P13-P15 | 73,754 | 74,573 | 0,819 |
| P14-P16 | 59,003 | 59,658 | 0,655 |

Gambar 5.8 Beban maksimal variasi rasio tulangan (ρ_{min} dan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$)

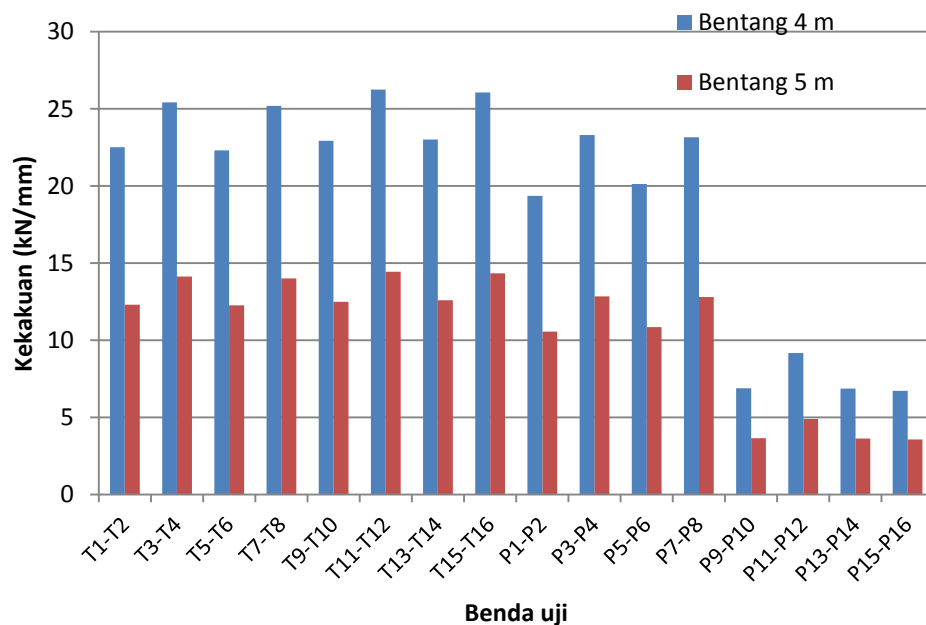
Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa pada bentang 4 m benda uji T11 memiliki nilai kekakuan terbesar dengan nilai kekakuan 26,247 kN/mm, sedangkan benda uji P15 memiliki kekakuan terkecil dengan nilai 6,271 kN/mm. Benda uji T15 mempunyai kekakuan yang besar dikarenakan dimensi balok yang cukup besar yaitu balok berbentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm, sedangkan P11 mempunyai kekakuan yang kecil karena benda uji ini dimensinya cukup kecil dibanding dengan benda uji lainya yaitu balok persegi dengan dimensi tinggi (h) 400 mm dan lebar (b) 400 mm, dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm. Pada bentang 5 m benda uji T11 memiliki nilai kekakuan terbesar dengan nilai kekakuan 14,456 kN/mm, sedangkan benda uji P16 memiliki kekakuan yang cukup kecil dengan nilai 3,566 kN/mm. Benda uji T11 mempunyai kekakuan yang besar dikarenakan dimensi balok yang cukup besar yaitu balok berbentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 150 mm, sedangkan P16 mempunyai kekakuan yang kecil karena benda uji ini dimensinya cukup kecil dibanding dengan benda uji lainya yaitu balok persegi dengan dimensi tinggi (h) 400 mm dan lebar (b) 400 mm, dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm. Nilai selisih kekakuan terbesar adalah benda uji T15 – T16 dengan selisih nilai kekakuan 6,928 kN/m dan terkecil adalah benda uji P5 - P6 dengan selisih nilai 1,8098 kN/mm. Bisa dilihat pada Gambar 5.9

Tabel 5.8 Nilai kekakuan balok akibat variasi bentang balok

| Benda uji | Kekakuan (kN/mm) | | Selisih (kN/mm) |
|-----------|------------------|-------------|-----------------|
| | Bentang 4 m | Bentang 5 m | |
| T1-T2 | 22,518 | 12,318 | 10,199 |
| T3-T4 | 25,431 | 14,146 | 11,285 |
| T5-T6 | 22,311 | 12,259 | 10,052 |
| T7-T8 | 25,203 | 14,018 | 11,186 |
| T9-T10 | 22,936 | 12,505 | 10,431 |
| T11-T12 | 26,247 | 14,456 | 11,791 |

Tabel 5.9 Nilai kekakuan balok akibat variasi bentang balok (Lanjutan)

| Benda uji | Kekakuan (kN/mm) | | Selisih (kN/mm) |
|-----------|------------------|-------------|-----------------|
| | Bentang 4 m | Bentang 5 m | |
| T13-T14 | 23,009 | 12,600 | 10,408 |
| T15-T16 | 26,057 | 14,333 | 11,723 |
| P1-P2 | 19,372 | 10,566 | 8,805 |
| P3-P4 | 23,298 | 12,844 | 10,454 |
| P5-P6 | 20,129 | 10,858 | 9,270 |
| P7-P8 | 23,159 | 12,813 | 10,346 |
| P9-P10 | 6,894 | 3,655 | 3,238 |
| P11-P12 | 9,180 | 4,907 | 4,273 |
| P13-P14 | 6,869 | 3,646 | 3,222 |
| P15-P16 | 6,721 | 3,566 | 3,155 |

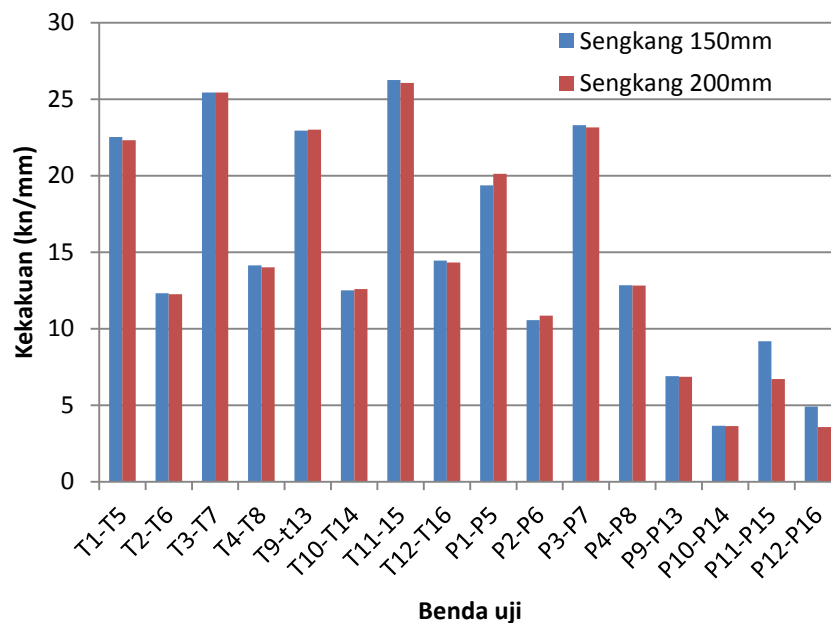


Gambar 5.9 Kekakuan benda uji balok dengan variasi bentang

Dalam Tabel 5.10 menunjukkan variasi jarak sengkang tidak berpengaruh besar terhadap nilai kekakuan benda uji balok, bahkan ada beberapa benda uji yang jarak sengkangnya 150 mm nilai kekakuannya lebih kecil dibandingkan dengan jarak sengkang 200 mm. Selisih nilai terbesar adalah benda uji balok P11 - P15 dengan selisih nilai 2,458 kN/mm. Bisa dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5.10 Nilai kekakuan balok akibat variasi jarak sengkang

| Benda uji | Kekakuan (kN/mm) | | Selisih (kN/mm) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| | Jarak sengkang 150 mm | Jarak sengkang 200 mm | |
| T1-T5 | 22,518 | 22,311 | 0,206 |
| T2-T6 | 12,318 | 12,259 | 0,059 |
| T3-T7 | 25,431 | 25,431 | 0 |
| T4-T8 | 14,146 | 14,018 | 0,128 |
| T9-t13 | 22,936 | 23,009 | -0,073 |
| T10-T14 | 12,505 | 12,600 | -0,095 |
| T11-15 | 26,247 | 26,057 | 0,190 |
| T12-T16 | 14,456 | 14,333 | 0,122 |
| P1-P5 | 19,372 | 20,129 | -0,751 |
| P2-P6 | 10,566 | 10,858 | -0,292 |
| P3-P7 | 23,298 | 23,159 | 0,139 |
| P4-P8 | 12,844 | 12,813 | 0,031 |
| P9-P13 | 6,894 | 6,869 | 0,025 |
| P10-P14 | 3,655 | 3,646 | 0,008 |
| P11-P15 | 9,180 | 6,721 | 2,458 |
| P12-P16 | 4,907 | 3,566 | 1,341 |



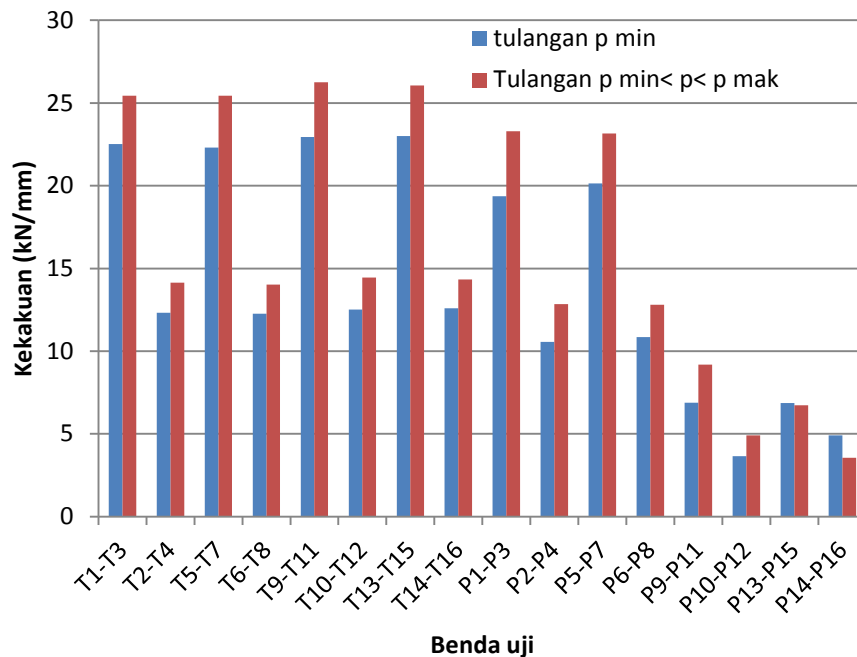
Gambar 5.10 Kekakuan benda uji balok dengan variasi jarak sengkang

Tabel 5.11 menunjukkan variasi rasio tulangan sangat berpengaruh terhadap nilai kekakuan. Hasil analisis menunjukkan banyak dari benda uji yang memakai rasio tulangan minimum ρ_{\min} nilai kekakuanya lebih kecil

dibandingkan dengan benda uji dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$, tetapi ada juga jenis benda uji yang menggunakan tulangan ρ_{min} mempunyai kekakuan lebih besar dibanding benda dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ yaitu benda uji P13 - P15 dan P14 - P16. Selisih nilai kekakuan terbesar adalah benda uji P1 dan P3 dengan nilai selisih 3,926 kN/mm. Variasi rasio tulangan hanya berpengaruh kecil terhadap nilai kekakuan benda uji bentuk T dengan nilai selisih rata-rata 2.457 kN/mm, variasi rasio tulangan berpengaruh terhadap benda uji balok persegi dengan nilai selisih rata-rata 1,654 kN/mm. Benda uji bentuk persegi dimensi 400 mm x 400 mm dengan jarak sengkang 200 mm menunjukkan nilai kekakuan benda uji dengan menggunakan tulangan ρ_{min} mempunyai nilai kekakuannya yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji dengan menggunakan tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$. Nilai kekakuan tertinggi yaitu benda uji T11 dengan nilai kekakuan 26,247 kN/mm dan nilai kekakuan terkecil adalah benda uji P16 dengan nilai kekakuan 3,566 kN/mm. Bisa dilihat pada Gambar 5.11.

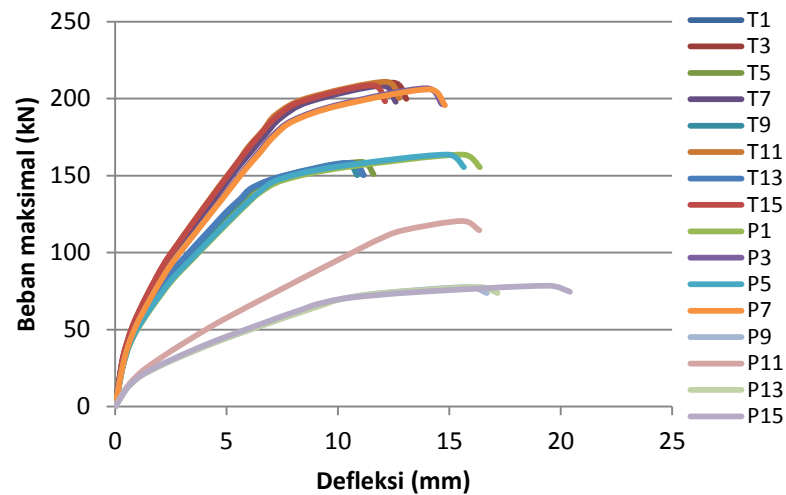
Tabel 5.11 Nilai kekakuan variasi rasio tulangan pokok

| Benda uji | Kekakuan (kN/mm) | | Selisih (kN/mm) |
|-----------|---------------------------------|---|-----------------|
| | Tulangan pokok (ρ_{min}) | Tulangan pokok ($\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$) | |
| T1-T3 | 22,518 | 25,431 | 2,912 |
| T2-T4 | 12,318 | 14,146 | 1,827 |
| T5-T7 | 22,311 | 25,431 | 3,119 |
| T6-T8 | 12,259 | 14,018 | 1,758 |
| T9-T11 | 22,936 | 26,247 | 3,311 |
| T10-T12 | 12,505 | 14,456 | 1,951 |
| T13-T15 | 23,009 | 26,057 | 3,047 |
| T14-T16 | 12,601 | 14,333 | 1,733 |
| P1-P3 | 19,372 | 23,298 | 3,926 |
| P2-P4 | 10,566 | 12,844 | 2,277 |
| P5-P7 | 20,129 | 23,159 | 3,029 |
| P6-P8 | 10,858 | 12,813 | 1,954 |
| P9-P11 | 6,894 | 9,180 | 2,286 |
| P10-P12 | 3,655 | 4,907 | 1,251 |
| P13-P15 | 6,869 | 6,721 | -0,147 |
| P14-P16 | 4,907 | 3,566 | -1,341 |

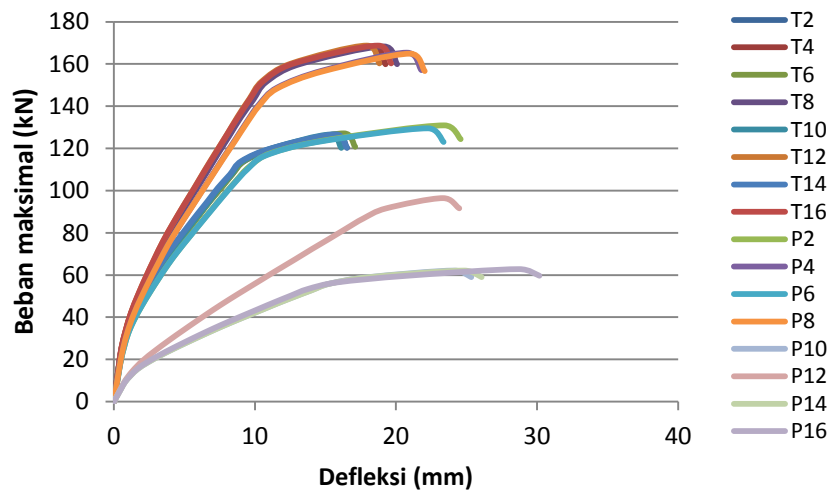


Gambar 5.11 Nilai kekakuan akibat variasi rasio tulangan (ρ_{min} dan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$)

Dari Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 hubungan beban dan defleksi memperlihatkan dari semua benda uji balok mempunyai nilai beban maksimal yang berbeda-beda. Benda uji T11 mempunyai nilai beban maksimal tertinggi dengan nilai 200,343 kN dan mengalami defleksi sebesar 12,74 mm, dan nilai beban maksimal terendah yaitu benda uji P16 dengan nilai beban maksimal 59,658 kN dan mengalami defleksi 30,17 mm. Benda uji T11 mempunyai nilai beban maksimal terbesar dikarenakan benda uji ini memiliki dimensi yang cukup besar yaitu berbentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_c) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 150 mm dengan panjang bentang 4 m, sedangkan benda uji balok P16 mempunyai dimensi 400 mm x 400 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ dan jarak sengkang 200 mm dengan bentang 5 m. Bisa dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13.



Gambar 5.12 Hubungan beban dan defleksi balok bentang 4 m



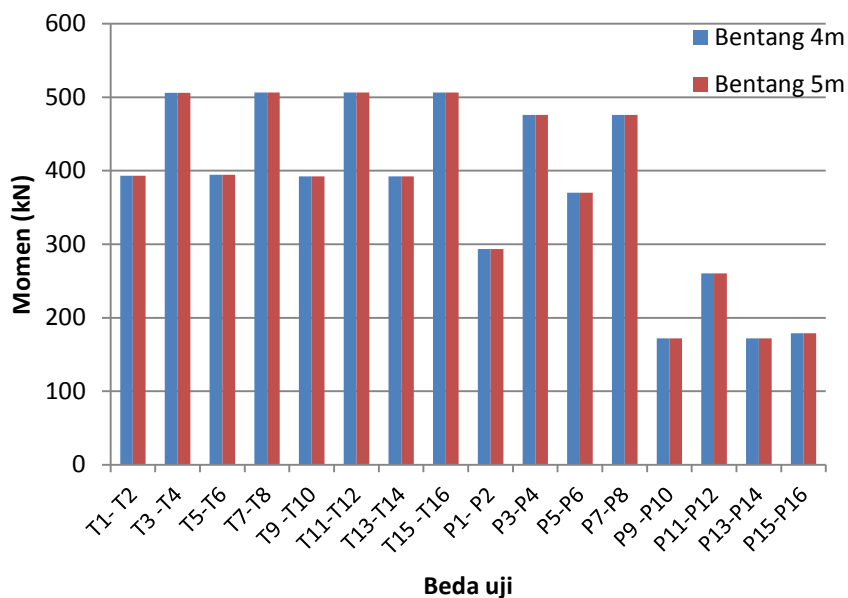
Gambar 5.13 Hubungan beban dan defleksi balok bentang 5 m

C. Momen Kurvatur

Nilai kelengkungan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya regangan pada saat terjadi lendutan akibat momen nominal. Hasil analisis program *Response-2000*, momen nominal ditampilkan dalam bentuk data dan grafik. Dari hasil analisis dapat membandingkan perbedaan nilai momen nominal dari benda uji balok dengan variasi bentang, jarak sengkang dan variasi rasio tulangan, kemudian dari hasil analisis berupa nilai akan dijadikan grafik hubungan momen dan kurvatur. Pada Tabel 5.12 menunjukkan bahwa hasil analisis program *Response-2000* dengan variasi bentang tidak berpengaruh pada nilai momen nominal, hal ini bisa dilihat pada Gambar 5.14

Tabel 5.12 Nilai momen nominal benda uji variasi bentang 4 m dan 5 m

| Benda uji | Momen nominal (kN) | | Selisih (kN) |
|-----------|--------------------|-------------|--------------|
| | Bentang 4 m | Bentang 5 m | |
| T1- T2 | 393,35 | 393,35 | 0 |
| T3 -T4 | 506,22 | 506,22 | 0 |
| T5-T6 | 394,724 | 394,724 | 0 |
| T7-T8 | 506,351 | 506,351 | 0 |
| T9 -T10 | 392,185 | 392,185 | 0 |
| T11-T12 | 506,581 | 506,581 | 0 |
| T13-T14 | 392,489 | 392,489 | 0 |
| T15 -T16 | 506,581 | 506,581 | 0 |
| P1- P2 | 293,555 | 293,555 | 0 |
| P3-P4 | 476,161 | 476,161 | 0 |
| P5-P6 | 370,287 | 370,287 | 0 |
| P7-P8 | 475,916 | 475,916 | 0 |
| P9 -P10 | 172,074 | 172,074 | 0 |
| P11-P12 | 260,38 | 260,38 | 0 |
| P13-P14 | 172,074 | 172,074 | 0 |



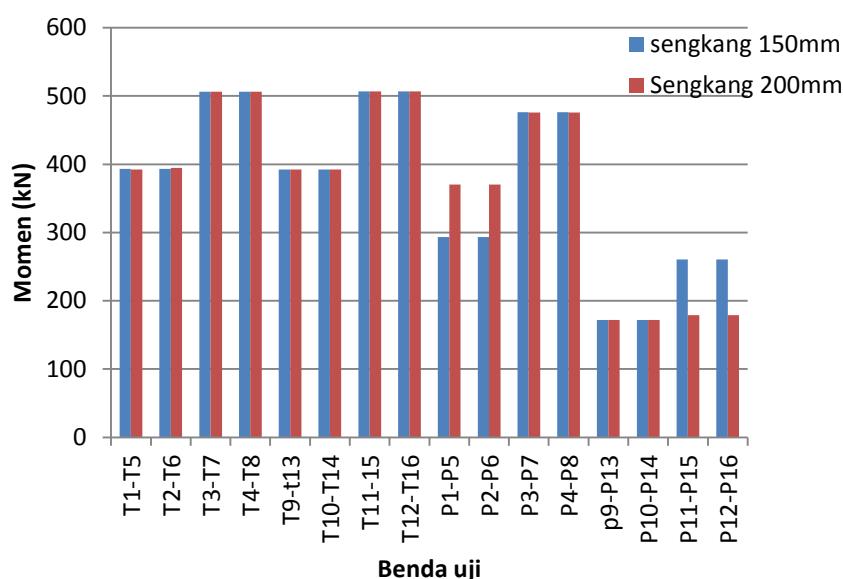
Gambar 5.14 Momen nominal benda uji bentang 4 m dan 5 m

Tabel 5.13 menunjukkan bahwa variasi jarak sengkang hanya mempengaruhi nilai momen nominal sebagian benda uji saja. Benda uji P1-P5 dan P2-P6 menunjukkan jarak sengkang 150 mm mempunyai nilai momen

nominal lebih kecil dibandingkan jarak sengkang 200 mm, yaitu dengan selisih nilai momen nominal -76,732 kN. Benda uji P1 - P5 dan P2 - P6 merupakan benda uji dengan dimensi tinggi (h) 600 mm dan lebar (b) 400 mm dan rasio tulangan ρ_{min} . Benda uji P11 - P15 dan P12 - P16 menunjukkan jarak sengkang 150mm mempunyai nilai momen nominal lebih besar dibandingkan jarak sengkang 200 mm dengan nilai selisih 81,591 kN. Benda uji P11 - P15 dan P12 - P16 merupakan benda uji dengan dimensi tinggi (h) 600 mm dan lebar (b) 400 mm dan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$. Benda uji T11 - T15, T12 - T16 dan benda uji P9 - P13, P10 - P14 tidak ada pengaruh nilai momen nominal akibat variasi jarak sengkang. Benda uji T11 - T15, T12 - T16 merupakan benda uji bentuk T dengan dimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$, sedangkan benda uji P9 - P13, P10 - P14 merupakan benda uji berbentuk persegi dengan dimensi 400 mm x 400 mm dengan rasio tulangan ρ_{min} . Hasil analisis dimensi dan rasio tulangan sangat berpengaruh terhadap nilai momen nominal akibat variasi sengkang. Bisa lihat pada gambar 5.15

Tabel 5.13 Nilai momen nominal variasi jarak sengkang

| Benda uji | Momen nominal (kN) | | Selisih (kN) |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------|
| | sengkang 150 (mm) | sengkang 200 (mm) | |
| T1-T5 | 393,35 | 392,185 | 1,165 |
| T2-T6 | 393,35 | 394,724 | -1,374 |
| T3-T7 | 506,22 | 506,351 | -0,131 |
| T4-T8 | 506,22 | 506,351 | -0,131 |
| T9-t13 | 392,185 | 392,489 | -0,304 |
| T10-T14 | 392,185 | 392,489 | -0,304 |
| T11-15 | 506,581 | 506,581 | 0 |
| T12-T16 | 506,581 | 506,581 | 0 |
| P1-P5 | 293,555 | 370,287 | -76,732 |
| P2-P6 | 293,555 | 370,287 | -76,732 |
| P3-P7 | 476,161 | 475,916 | 0,245 |
| P4-P8 | 476,161 | 475,916 | 0,245 |
| P9-P13 | 172,074 | 172,074 | 0 |
| P10-P14 | 172,074 | 172,074 | 0 |
| P11-P15 | 260,38 | 178,789 | 81,591 |



Gambar 5.15 Momen nominal pengaruh variasi sengkang

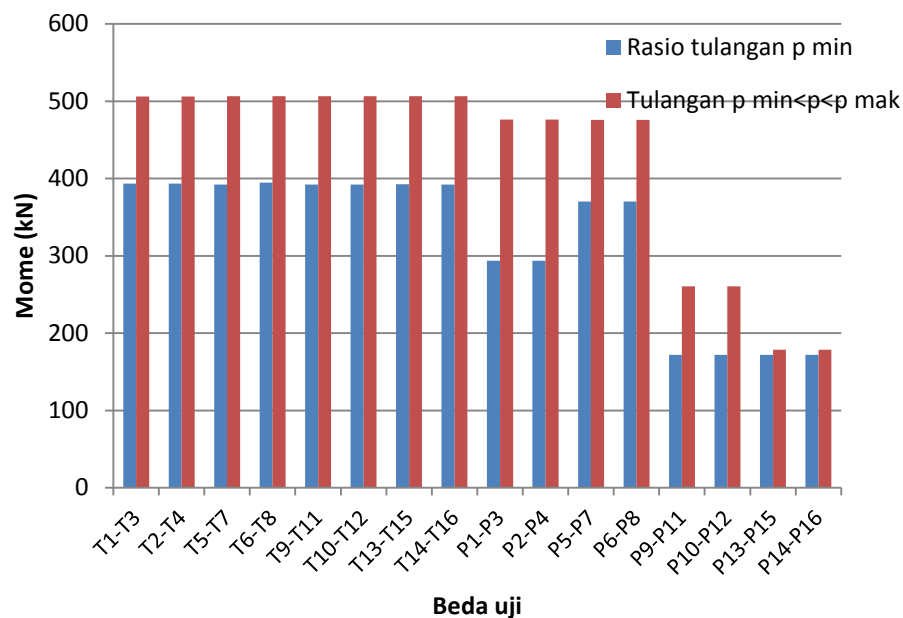
Tabel 5.14 menunjukkan hasil analisis benda uji balok dengan variasi rasio tulangan sangat berpengaruh pada momen nominal. Selisih nilai momen nominal terbesar ditunjukkan pada benda uji P1 - P3 dan P2 - P4 dengan nilai selisih 182,606 kN. Benda uji yang nilai momen nominal terbesar adalah benda uji T11, T12, T15 dan T16 dengan nilai momen nominal 506,581kN. Benda uji yang nilai momen nominal paling kecil adalah benda uji P9, P10, P13 dan P14 dengan nilai momen nominal 172.074 kN. Hasil analisis dari semua benda uji memiliki nilai selisih yang hampir seragam hal ini menunjukkan bahwa variasi rasio tulangan sangat berpengaruh terhadap semua benda uji.

Tabel 5.14 Nilai momen nominal variasi rasio tulangan pokok

| Benda uji | Momen nominal (kN) | | Selisih (kN) |
|-----------|-----------------------------|---|--------------|
| | Tulangan pokok ρ_{min} | Tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ | |
| T1-T3 | 393,35 | 506,22 | 112,87 |
| T2-T4 | 393,35 | 506,22 | 112,87 |
| T5-T7 | 392,185 | 506,351 | 114,166 |
| T6-T8 | 394,724 | 506,351 | 111,627 |
| T9-T11 | 392,185 | 506,581 | 114,396 |
| T10-T12 | 392,185 | 506,581 | 114,396 |
| T13-T15 | 392,489 | 506,581 | 114,092 |
| T14-T16 | 392,185 | 506.581 | 114.396 |

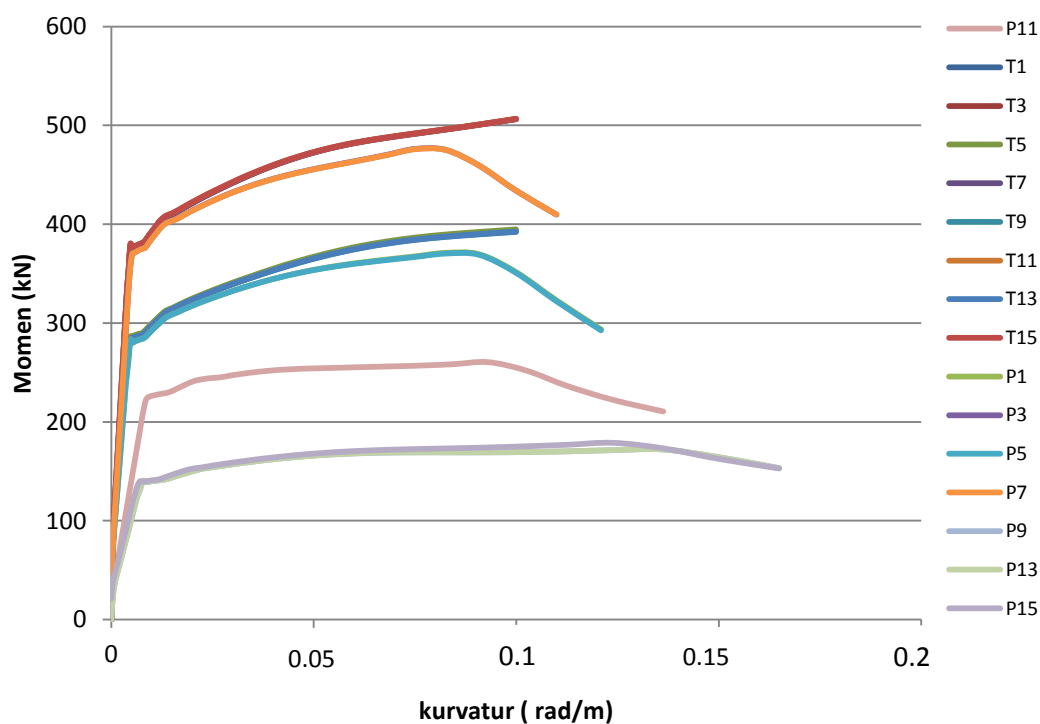
Tabel 5.15 Nilai momen nominal variasi rasio tulangan pokok (Lanjutan)

| Beda uji | Momen nominal (kN) | | Selisih (kN) |
|----------|--------------------------------|--|--------------|
| | Tulangan pokok ρ_{min} | Tulangan pokok $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$ | |
| P1-P5 | 293,555 | 476,161 | 182,606 |
| P2-P6 | 293,555 | 476,161 | 182,606 |
| P3-P7 | 370,287 | 475,916 | 105,629 |
| P4-P8 | 370,287 | 475,916 | 105,629 |
| P9-P13 | 172,074 | 260,38 | 88,306 |
| P10-P14 | 172,074 | 260,38 | 88,306 |
| P11-P15 | 172,074 | 178,789 | 6,715 |

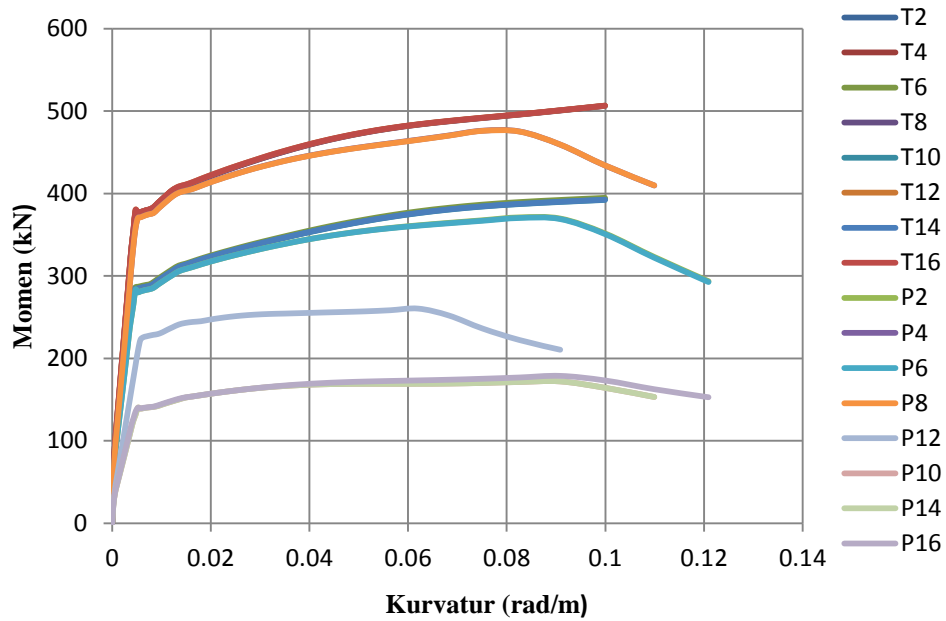
Gambar 5.16 Momen nominal dengan variasi rasio tulangan pokok (ρ_{min} dan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$)

Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 menunjukkan hubungan momen dan kurvatur hasil analisis program *Response-2000*. Gambar 5.17 hubungan momen dan kurvatur balok benda uji bentang 4 m, menunjukkan nilai benda uji T11 dan T15 mempunyai nilai momen nominal yang tinggi dan nilai kurvatur yang cukup rendah yaitu dengan nilai kurvatur 99,93 rad/m dan nilai momen nominal 506,581 kN, bisa dibayangkan benda uji T11 dan T15 kualitas benda uji yang cukup baik dan benda uji P13 dan P15 mempunyai nilai momen nominal yang rendah

dan nilai kurvatur tinggi dengan nilai kurvatur 181,378 rad/m dan nilai momen nominal 152,848 kN, hal ini menunjukkan bahwa benda uji P13 dan P15 kualitasnya paling rendah. Gambar 4.15 memperlihatkan hubungan momen kurvatur balok benda uji bentang 5m, Menunjukkan nilai benda uji T12 dan T16 mempunyai nilai kurvatur 10,145 rad/m dan nilai momen nominal sebesar 393,335 kN, nilai ini menunjukkan momen nominal yang tinggi dan nilai kurvatur yang cukup rendah, bisa dibilang benda uji T12 dan T16 kuat tekan benda ujinya cukup baik dan benda uji P16 mempunyai nilai momen nominal yang rendah dan nilai kurvatur tinggi hal ini menunjukkan bahwa benda uji P16 kuat tekan paling rendah, yaitu dengan nilai kurvatur 120,916 rad/m dan nilai momen nominal sebesar 152,848 kN. Dari semua sampel benda uji dengan bentuk T berdimensi tinggi (h) 600 mm, lebar balok (b_e) 400 mm, lebar sayap (b) 600 mm dan tinggi sayap (h_f) 300 mm dengan rasio tulangan $\rho_{min} < \rho < \rho_{mak}$, memiliki nilai momen nominal terbesar dan benda uji dengan bentuk persegi berdimensi 400 mm x 400 mm dengan jarak sengkang 200 mm memiliki nilai momen nominal yang rendah.

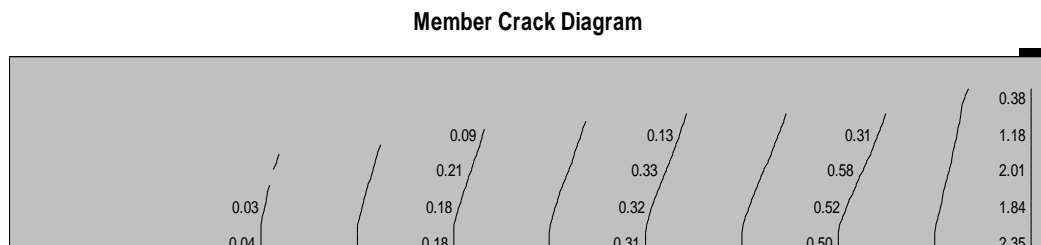


Gambar 5.17 Hubungan momen dan kurvatur balok benda uji bentang 4 m



Gambar 5.18 Hubungan momen dan kurvatur balok benda uji bentang 5 m

Dari analisis program *Response-2000* diambil satu gambar jenis pola retak. Jenis pola retak diambil dari benda uji beton dengan nilai defleksi tinggi, nilai kurvatur tinggi dan mempunyai momen nominal terkecil, yaitu benda uji P16, jenis pola retak yang dialami adalah jenis retak lentur. Bisa dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Pola retak benda uji P16