

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis

Dari hasil perhitungan analisis balok beton prategang komposit dengan perancah dan tanpa perancah pasca tarik dengan tendon terekat dapat diperoleh kapasitas penampang beton. Hal ini dapat digunakan untuk menghitung kekuatan lentur, geser, dan lendutan, sehingga dapat membantu dalam perancangan. Dengan demikian dalam perencanaan selanjutnya dapat menghasilkan suatu penampang balok prategang yang ekonomis.

Dalam analisis kapasitas penampang dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap-tahap tertentu, seperti tahap penarikan (transfer) dan tahap akhir (layan) sebelum balok menjadi komposit serta pada saat balok telah menjadi komposit (layan). Kekuatan lentur suatu penampang balok prategang komposit tergantung pada beberapa parameter, seperti perbandingan propertis penampang, jumlah tulangan prategang, kehilangan gaya prategang, karakteristik bahan, kekuatan bahan, dan faktor modifikasi dari balok prategang komposit.

Kehilangan prategang total dalam analisis ini diasumsikan sebesar 20% (Lin & Burn, 1982) yang bekerja sesaat setelah transfer. Kehilangan gaya prategang

| | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fti (Mpa) | -5,2537146 | -5,5519901 | -5,1414144 | -4,9201087 | -6,3077382 | -7,3225058 |
| fbi (Mpa) | -12,731772 | -13,300564 | -13,461808 | -13,217986 | -12,086221 | -10,853303 |
| TEGANGAN IJIN BETON SAAT LAYAN | | | | | | |
| FTS (Mpa) | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 |
| FCS (Mpa) | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 |
| TEGANGAN BETON SEBELUM MENJADI KOMPOSIT | | | | | | |
| ft2 (Mpa) | -4,9067196 | -5,521913 | -5,4591777 | -5,5251418 | -6,8383952 | -7,9602055 |
| fb2 (Mpa) | -9,4816559 | -9,5825999 | -9,4234028 | -8,9853479 | -7,8767865 | -6,5804973 |
| TEGANGAN BETON SETELAH MENJADI KOMPOSIT | | | | | | |
| ftc (Mpa) | -8,3705709 | -10,017991 | -10,640619 | 10,988315 | -12,528833 | -13,899078 |
| fcc (Mpa) | 2,02461418 | 2,4141739 | 3,1059908 | 2,6207586 | 2,5196744 | 3,155902 |
| MOMEN | | | | | | |
| Wu (N/m) | 32919,9004 | 35433,07 | 37396,32 | 40487,432 | 45004,133 | 49951,662 |
| Mu (N.m) | 955761,168 | 1796541 | 2915142 | 4564796 | 6914988 | 10033512 |
| Mn1 (N.m) | 1061956,85 | 1988624 | 3242813 | 5073251 | 7683320 | 11140814 |
| Mn2 (N.m) | 1254189 | 2372790 | 3683474 | 5977171 | 9219984 | 13219830 |
| GAYA GESER HORIZONTAL | | | | | | |
| Vu1 (N) | 252856,448 | 359250,74 | 471071,36 | 612621,36 | 795029,1 | 1009034 |
| Vn1 (N) | 297478,158 | 422647,89 | 554201,52 | 720730,88 | 935328,09 | 1187098,6 |
| Vnh (N) | 1721817,6 | 2272799,2 | 3634187,9 | 4720663,4 | 6187782 | 6695937,9 |
| GAYA GESER BADAN | | | | | | |
| Vc (N) | 438697,602 | 519192,57 | 890978,73 | 1213461,7 | 943300,46 | 1230399,2 |
| Vc min (N) | 93839,0592 | 111057,24 | 190583,69 | 259564 | 201775,5 | 263186,99 |
| Vc max (N) | 234597,693 | 277643,13 | 476459,21 | 648910,01 | 504438,75 | 657967,49 |
| Vc2 (N) | 117298,824 | 138821,54 | 238229,65 | 324455 | 252219,38 | 328983,74 |
| LENDUTAN | | | | | | |
| at (mm) | 7,112 | 14,732 | 23,114 | 29,464 | 41,656 | 56,896 |
| A ijin (mm) | 42,418 | 55,88 | 69,342 | 83,312 | 97,282 | 111,252 |

Tabel 5.2 Hasil perhitungan untuk konstruksi komposit beton prategang metode tanpa perancah $f'_{cp} = 6400$ Psi, $f'_{cs} = 3800$ Psi

| NOTASI | PANJANG BENTANG (m) | | | | | |
|--------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 15,24 | 20,1168 | 24,9936 | 30,0228 | 35,052 | 40,0812 |
| H(mm) | 812,8 | 965,2 | 1143 | 1397 | 1549,4 | 1752,6 |
| B (mm) | 406,4 | 406,4 | 558,8 | 609,6 | 635 | 812,8 |
| Wd (N/m) | 4047,3324 | 5916,0056 | 7826,7108 | 10434,447 | 13446,655 | 17454,843 |
| Wd tak (N/m) | 4378,345 | 6129,683 | 7881,021 | 10508,028 | 14010,704 | 17513,38 |
| Mt (N.m) | 644794,84 | 1220292 | 2033820 | 3220215 | 4854502,4 | 7152387,9 |

| TEGANGAN BETON SAAT TRANSFER | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| FTI (Mpa) | 1,4075968 | 1,4075968 | 1,4075968 | 1,4075968 | 1,4075968 | 1,4075968 |
| FCI (Mpa) | -18,84288 | -18,84288 | -18,84288 | -18,84288 | -18,84288 | -18,84288 |
| Fti (Mpa) | -4,9536165 | -4,8194451 | -5,4843422 | -5,3215714 | -6,1297543 | -7,1939144 |
| fbi (Mpa) | -13,308625 | -13,923332 | -13,405013 | -12,387231 | -12,193755 | -10,450753 |
| TEGANGAN IJIN BETON SAAT LAYAN | | | | | | |
| FTS (Mpa) | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 | 3,3648 |
| FCS (Mpa) | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 | -20,1888 |
| TEGANGAN BETON SEBELUM MENJADI KOMPOSIT | | | | | | |
| ft2 (Mpa) | -11,429896 | -11,548484 | -11,169236 | -10,626599 | -11,943316 | -11,997867 |
| fb2 (Mpa) | -3,1798762 | -3,4458356 | -3,9423217 | -3,5404706 | -2,7154735 | -2,1178654 |
| TEGANGAN BETON SESUDAH MENJADI KOMPOSIT | | | | | | |
| ftc (Mpa) | -13,51556 | -14,202274 | -14,070535 | -13,656181 | -15,442511 | -15,402575 |
| fcc (Mpa) | 3,0679265 | 3,1586359 | 2,4132093 | 2,3291426 | 3,3396621 | 3,2019234 |
| MOMEN | | | | | | |
| Wu (N/m) | 33792,067 | 36406,814 | 39082,561 | 42734,399 | 46951,13 | 52562,767 |
| Mu (N.m) | 981070,93 | 1841737 | 3051780,8 | 4790776 | 7210812,8 | 10555338 |
| Mn1 (N.m) | 1090078,8 | 2045119 | 3390863,8 | 5344427 | 8012013,6 | 11728159 |
| Mn2 (N.m) | 1500473,3 | 2734358 | 4405569,4 | 6869792 | 10215067 | 14546174 |
| GAYA GESER HORIZONTAL | | | | | | |
| Vu1 (N) | 259552,43 | 369125,19 | 492304,87 | 646629,5 | 829432,27 | 1061796 |
| Vn1 (N) | 305355,79 | 434264,86 | 579182,22 | 760740,27 | 975802,91 | 1249171,9 |
| Vnh (N) | 1721817,6 | 2272799,2 | 3882698,7 | 5087971 | 6187782 | 6695937,9 |
| GAYA GESER BADAN | | | | | | |
| Vc (N) | 584930,14 | 713722,09 | 593985,82 | 808974,48 | 1414950,7 | 1379147,2 |
| Vc min (N) | 125118,75 | 152667,83 | 127055,79 | 173042,67 | 302663,29 | 295004,75 |
| Vc max (N) | 312796,86 | 381669,57 | 317639,48 | 432606,72 | 756658,13 | 737511,87 |
| Vc2 (N) | 156398,43 | 190834,78 | 158819,74 | 216303,38 | 378329,11 | 368755,94 |
| LENDUTAN | | | | | | |
| at (mm) | 13,716 | 22,8346 | 29,612615 | 35,814 | 53,452065 | 62,420094 |
| A ijin (mm) | 42,418 | 55,88 | 69,42582 | 83,312 | 97,3582 | 111,33582 |

5.2 Pembahasan

Beberapa analisis perencanaan balok prategang komposit dengan panjang yang berbeda tetapi menggunakan material beton, baja prategang dan penutup beton yang sama akan menghasilkan suatu tampang bervariasi. Pada pembahasan ini meliputi analisis dimensi penampang & tendon, tegangan beton, gaya geser, momen, dan lendutan.

5.2.1 Dimensi

1. Penampang balok

Dimensi penampang yang digunakan pada metode dengan perancah dan tanpa perancah masing-masing berbeda. Hal ini disebabkan karena dimensi penampang pada metode dengan perancah tegangan betonnya aman tetapi pada metode tanpa perancah tegangan betonnya tidak aman sehingga penampangnya harus diperbesar.

Tabel 5.3 Perbandingan Dimensi yang digunakan pada kedua metode

| NO | PANJANG BENTANG (L) m | NOTASI | DIMENSI PENAMPANG | | PERSENTASI SELISIH (%) |
|----|--------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | | DENGAN PERANCAH (mm) | TANPA PERANCAH (mm) | |
| 1 | 15 | H | 812,8 | 812,8 | |
| | | B | 406,4 | 406,4 | |
| | | B' | 121,92 | 162,56 | |
| | | T | 81,28 | 81,28 | |
| | | A _c | 145,34.10 ³ | 171,77.10 ³ | 15,38 |
| 2 | 20 | H | 939,8 | 965,2 | |
| | | B | 406,4 | 406,4 | |
| | | B' | 121,9 | 162,56 | |
| | | T | 187,96 | 193,04 | |
| | | A _c | 221,52.10 ³ | 251,045.10 ³ | 11,76 |

| | | | | | |
|---|----|----------------|------------------------|------------------------|-------|
| 3 | 25 | H | 1143 | 1143 | |
| | | B | 558,8 | 558,8 | |
| | | B' | 167,64 | 111,76 | |
| | | T | 114,3 | 228,6 | |
| | | A _C | 281,03.10 ³ | 332,13.10 ³ | 15,38 |
| 4 | 30 | H | 1397 | 1397 | |
| | | B | 609,6 | 609,6 | |
| | | B' | 182,88 | 121,92 | |
| | | T | 139,7 | 279,4 | |
| | | A _C | 374,71.10 ³ | 442,84.10 ³ | 15,38 |
| 5 | 35 | H | 1549,4 | 1549,4 | |
| | | B | 609,6 | 609,6 | |
| | | B' | 127 | 190,5 | |
| | | T | 309,88 | 309,88 | |
| | | A _C | 511,61.10 ³ | 570,64.10 ³ | 10,34 |
| 6 | 40 | H | 1752,6 | 1752,6 | |
| | | B | 736,6 | 812,8 | |
| | | B' | 147,32 | 162,56 | |
| | | T | 350,52 | 350,52 | |
| | | A _C | 671,30.10 ³ | 740,75.10 ³ | 9,375 |

Perbedaan penampang antara kedua metode terdapat pada tebal badan dan tebal sayap, sehingga luas penampang, modulus penampang, dan momen inersia berubah. Ketiganya sangat berpengaruh terhadap perhitungan tegangan beton, sehingga perbedaan dimensi penampang menyebabkan tegangan beton yang terjadi berbeda. Selisih rata-rata luas penampang dari kedua metode sebesar 12,94 % dan selisih untuk tiap-tiap bentang terdapat pada tabel 5.3.

2. Jumlah tendon

Tendon yang dipakai adalah untaian 7 kawat diameter 0,5 in dengan kuat tarik (F_{pu}) sebesar 270 ksi (1898,37 Mpa), kuat luluh (F_y) sebesar 60 ksi, dan gaya (P_i) sebesar 28900 lb (129584,71 N). Jumlah tendon yang dipakai pada kedua metode

berbeda, pada metode tanpa perancah jumlah tendonnya lebih banyak. Perbandingan antara kedua metode seperti terlihat pada tabel 5.4.

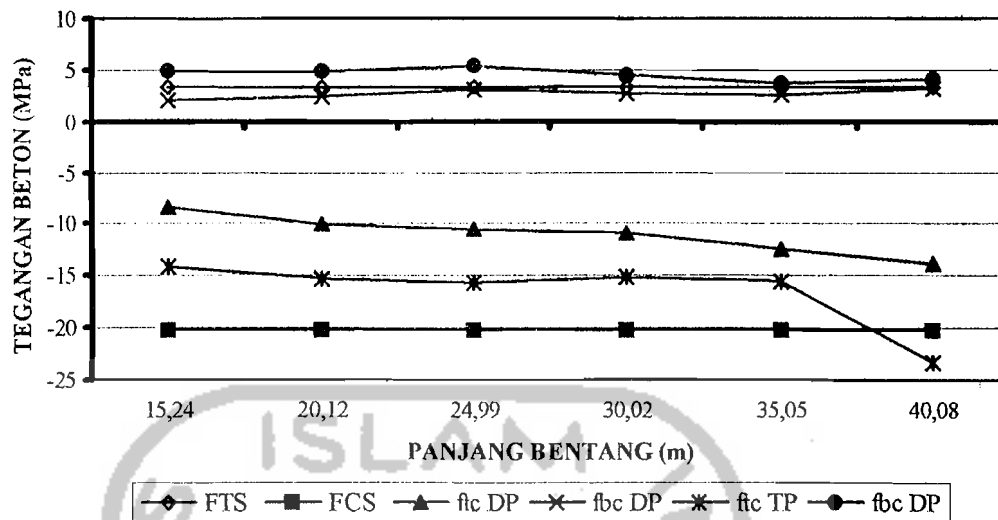
Tabel 5.4 Perbandingan jumlah tendon antara kedua metode

| NO | PANJANG BENTANG (L) m | JUMLAH TENDON | | PERSENTASI SELISIH (%) |
|----|--------------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| | | DENGAN PERANCAH | TANPA PERANCAH | |
| 1 | 15 | 10 | 12 | 16.6 |
| 2 | 20 | 16 | 18 | 11.1 |
| 3 | 25 | 20 | 24 | 16.6 |
| 4 | 30 | 26 | 30 | 13.3 |
| 5 | 35 | 36 | 40 | 10 |
| 6 | 40 | 46 | 50 | 8 |

Pada tabel 5.4 perbedaan rata-rata sebesar 12,6 % hal ini disebabkan karena perbedaan momen yang bekerja, momen makin besar memerlukan jumlah tendon dan luas tampang yang lebih besar.

5.2.2 Tegangan Beton

Tegangan beton yang terjadi pada dua keadaan yaitu saat transfer dan saat layan. Pada penampang yang sama dengan perancah yaitu penampang untuk metode dengan perancah, pada saat transfer kedua metode tegangan betonnya sama. Tetapi pada saat layan setelah menjadi komposit tegangan beton pada saat layan metode tanpa perancah tidak aman, secara jelas dapat dilihat pada grafik 5.1.



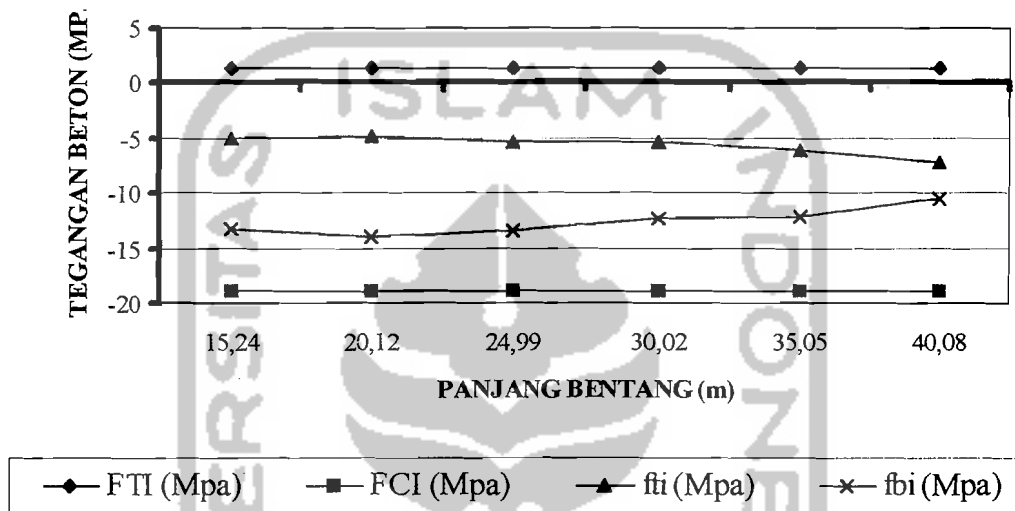
Grafik 5.1 Perbandingan tegangan saat layan sesudah komposit dengan dimensi yang sama antara metode dengan perancah dan tanpa perancah

Dari grafik 5.1 untuk metode dengan perancah pada tiap bentangnya tidak melampaui tegangan ijin, namun pada metode tanpa perancah tegangan yang terjadi melampaui tegangan ijin. Pada serat bawah metode tanpa perancah dari bentang 15 m-40 m tegangan tariknya sudah melampaui tegangan ijinnya. Untuk serat atas masih dibawah tegangan ijin sampai bentang 35 m, pada bentang 40 m kedua serat melampaui tegangan ijinnya. Sehingga penampangnya harus diperbesar dan memenuhi syarat. Perbedaan tegangan antara kedua metode tersebut adalah sebesar 32,73 % untuk serat atas dan 41,2 % untuk serat bawah.

1. Saat transfer

Saat transfer balok hanya menahan gaya prategang awal dan momen akibat berat sendiri balok.

a. Saat transfer pada metode tanpa perancah

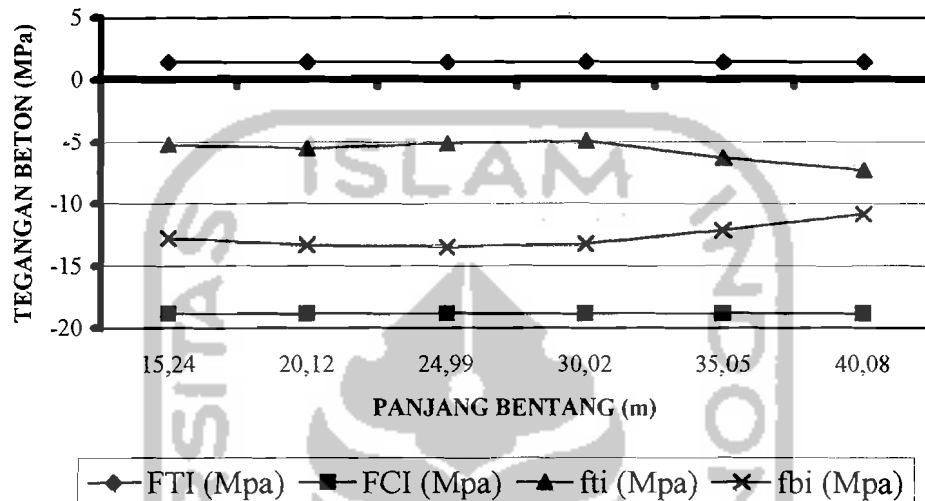


Grafik 5.2 Grafik hubungan antara tegangan beton saat transfer dengan panjang bentang pada metode tanpa perancah

Dari grafik 5.2 dapat dilihat tegangan yang terjadi untuk serat atas cenderung turun (desak) dan serat bawah cenderung naik (tarik), hal ini diakibatkan pengaruh panjang bentang. Semakin besar panjang bentang akan menimbulkan momen yang lebih besar dan berakibat pada hitungan tegangan, baik serat bawah maupun atas dan cenderung menjauh dari tegangan ijin pada masing – masing serat. Semakin besar panjang bentang serat atas tegangan desaknya naik dan serat bawah tegangan

desaknya turun. Semakin besar panjang bentang balok akan berperilaku seperti balok biasa.

b. Saat transfer pada metode dengan perancah



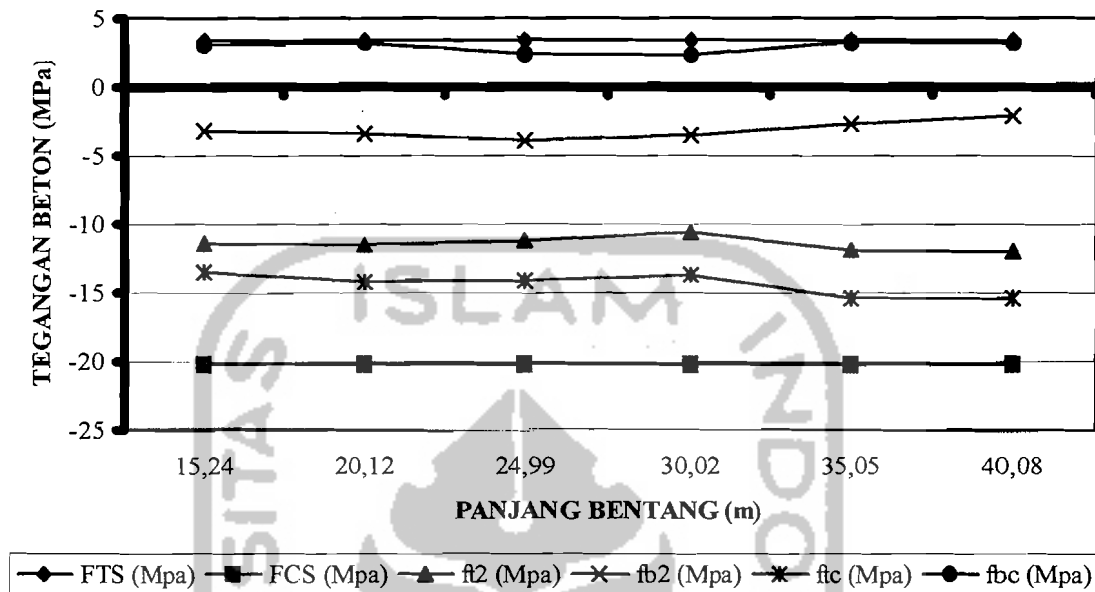
Grafik 5.3 Grafik hubungan antara tegangan saat transfer dengan panjang bentang pada metode dengan perancah

Bentuk grafik identik dengan grafik tegangan saat transfer dengan metode tanpa perancah. Perbedaan harga tegangan dengan kondisi tanpa perancah hanya diakibatkan perbedaan pemilihan penampang balok.

2. Saat layan

Gaya yang bekerja adalah gaya prategang efektif, momen akibat berat sendiri, momen akibat berat pelat lantai, momen akibat beban tambahan, dan momen akibat beban hidup.

a. Saat layan pada metode tanpa perancah



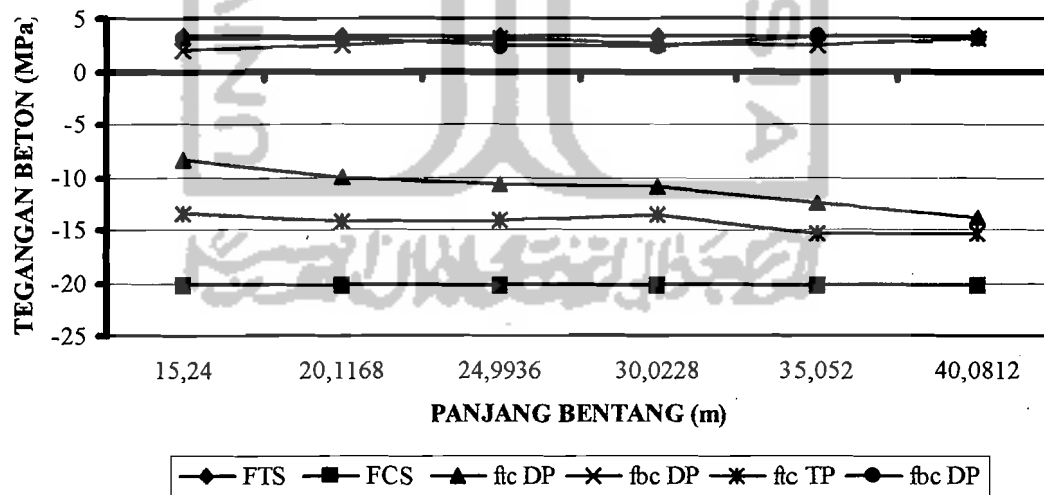
Grafik 5.4 Grafik hubungan antara tegangan saat layan dengan panjang bentang pada metode tanpa perancah

Grafik 5.4 menunjukkan kenaikan tegangan baik serat atas maupun serat bawah. Serat bawah cenderung naik ke arah tarik dan serat atas cenderung naik ke arah desak. Semua sama-sama mendekati tegangan ijinnya, dan pada suatu panjang bentang tertentu balok prategang tidak mampu melayani tegangan yang terjadi. Untuk bentang 24,99 m dan 30,02 m tegangan mengalami penurunan yang diakibatkan pemilihan propertis penampang yang berbeda.

Tabel 5.5 Perbandingan tegangan antara kedua metode saat layan sebelum menjadi komposit

| NO | PANJANG (L) m | NOTASI | TEGANGAN BETON | | PERSENTASI SELISIH (%) |
|----|---------------|--------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| | | | DENGAN PERANCAH (MPa) | TANPA PERANCAH (MPa) | |
| 1 | 15 | f_t | -4,91 | -11,43 | 56,6 |
| | | f_b | -9,48 | -3,18 | 66,46 |
| 2 | 20 | f_t | -5,52 | -11,54 | 52,18 |
| | | f_b | -9,38 | -3,45 | 63,27 |
| 3 | 25 | f_t | -5,46 | -11,17 | 51,12 |
| | | f_b | -9,42 | -3,94 | 58,17 |
| 4 | 30 | f_t | -5,33 | -10,63 | 48 |
| | | f_b | -8,09 | -3,54 | 60,6 |
| 5 | 35 | f_t | -6,84 | -11,94 | 42,74 |
| | | f_b | -7,88 | -2,72 | 65,53 |
| 6 | 40 | f_t | -7,96 | -11,998 | 33,65 |
| | | f_b | -6,58 | -2,11 | 67,82 |

b. sesudah menjadi komposit



Grafik 5.7 Perbandingan tegangan saat layan sesudah komposit antara kedua metode

Perbedaan tegangan saat layan sesudah komposit lebih kecil dibanding dengan sebelum komposit. Hal ini terjadi karena beban yang ada yaitu berat sendiri, berat pelat, berat tambahan (*finishing*) dan beban hidup sudah mulai bekerja semua. Untuk metode tanpa perancah beban akhir yang mempengaruhi adalah beban hidup dan beban tambahan (*finishing*). Sedangkan untuk metode dengan perancah dipengaruhi oleh beban pelat cor ditempat, beban hidup dan beban tambahan (*finishing*). Selisih tegangan yang terjadi pada kedua metode dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perbandingan tegangan antara kedua metode saat layan sesudah menjadi komposit

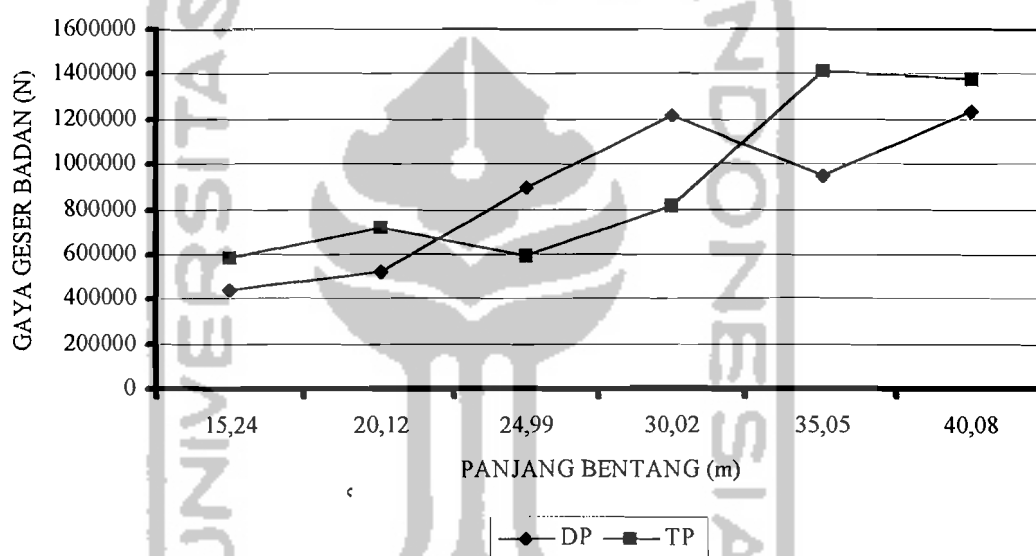
| NO | PANJANG (L) m | NOTASI | TEGANGAN BETON | | PERSENTASI SELISIH (%) |
|----|---------------------|----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | | | DENGAN PERANCAH (MPa) | TANPA PERANCAH (MPa) | |
| 1 | 15 | f_{tc} | 8,37 | -13,52 | 38,07 |
| | | f_{bc} | 2,02 | 3,07 | 34 |
| 2 | 20 | f_{tc} | -10,02 | -14,2 | 29,46 |
| | | f_{bc} | 2,41 | 3,16 | 23,57 |
| 3 | 25 | f_{tc} | -10,64 | -14,07 | 24,38 |
| | | f_{bc} | 3,11 | 2,41 | 22,3 |
| 4 | 30 | f_{tc} | -10,99 | -13,66 | 19,54 |
| | | f_{bc} | 2,62 | 2,33 | 11,45 |
| 5 | 35 | f_{tc} | -12,53 | -15,44 | 18,85 |
| | | f_{bc} | 2,52 | 3,34 | 24,55 |
| 6 | 40 | f_{tc} | -13,9 | -15,4 | 9,76 |
| | | f_{bc} | 3,16 | 3,2 | 1,44 |

5.2.3 Gaya Geser

Gaya geser yang terjadi ada dua macam yaitu gaya geser badan dan gaya geser horisontal.

1. Gaya geser badan

pada gaya geser badan, lebar badan pada tampang sangat berpengaruh sehingga pada grafik 5.8 tidak teratur.

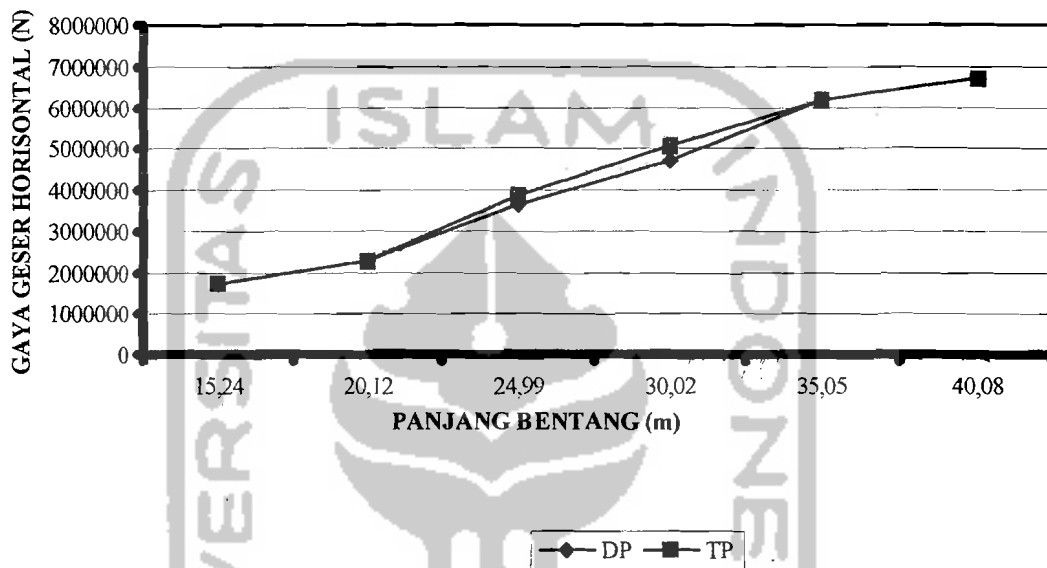


Grafik 5.8 Perbandingan gaya geser badan antara kedua metode

Ketidak teraturan grafik diakibatkan pemilihan lebar badan yang berbeda antara kondisi dengan perancah dan tanpa perancah di setiap bentangnya. Hal ini dapat dilihat nilai geser pada panjang 24,99 m dan 30,22 m pada kondisi dengan perancah melebihi kondisi tanpa perancah.

2. Gaya geser horisontal

Gaya geser horisontal bekerja berdasarkan gaya tarik dan desak tampang, gaya geser horisontal nominal, dan gaya yang disyaratkan pada ACI code ($80.b_v.l_{vh}$).



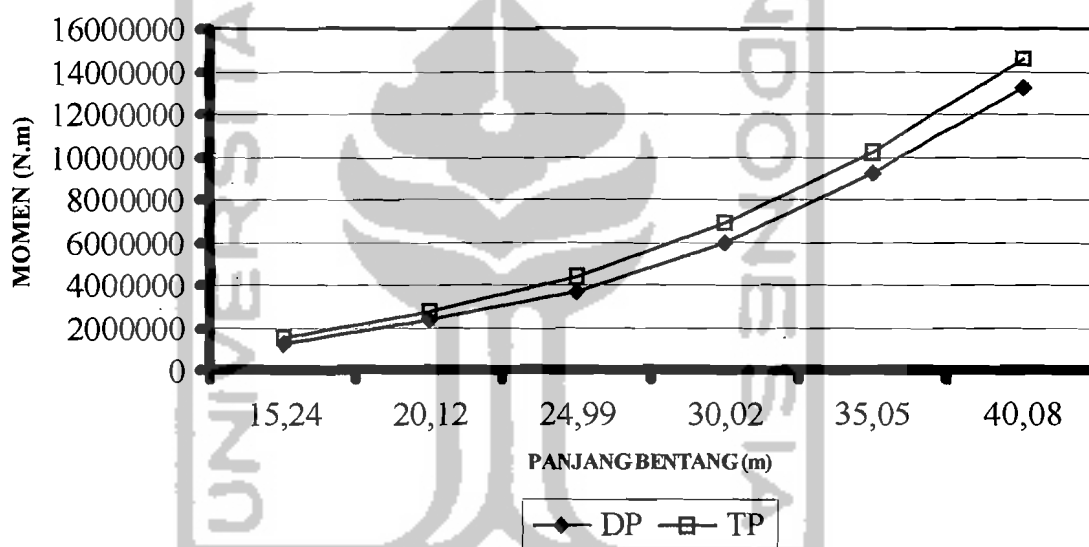
Grafik 5.9 Grafik perbandingan gaya geser horisontal pada kedua metode

Pada grafik 5.9 untuk bentang 15,24 m, 20,12 m, 35,05 m bernilai sama untuk kedua metode karena gaya yang memenuhi syarat $80 b_v l_{vh}$ dimana panjang bentang mempengaruhi besarnya gaya yang terjadi dan tidak terpengaruh oleh perbedaan tampang. Pada bentang 24,99 m dan 30,02 m terjadi perbedaan dimana gaya yang memenuhi adalah gaya tarik pada tampang, yang dipengaruhi oleh jumlah kabel prategang. Pada kedua macam metode digunakan jumlah kabel yang berbeda, sehingga luasan kabel prategang akan berbeda. Pada bentang 40,08 m kedua metode

gaya gesernya sama karena gaya yang memenuhi adalah gaya desak tampang, dimana penampang dan panjang bentang tidak berpengaruh.

5.2.4 Momen

Perbedaan penampang dan panjang bentang pada metode menggunakan perancah dengan metode tanpa perancah menyebabkan perbedaan momen yang terjadi.

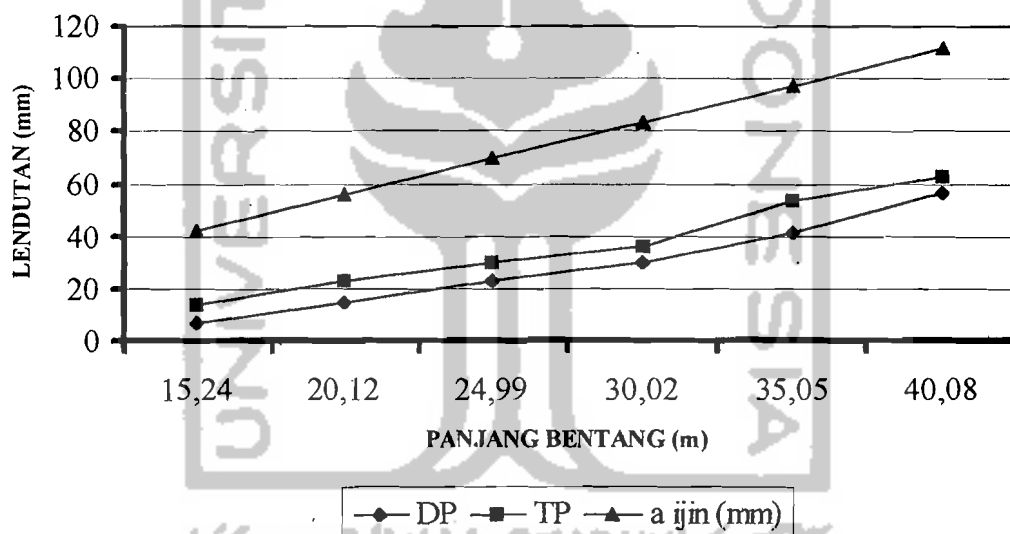


Grafik 5.10 Perbandingan Momen antara kedua metode

Dari grafik 5.10 dapat dilihat semakin besar panjang bentang semakin besar pula momen yang terjadi, sehingga grafik cenderung linier. Perbedaan momen pada metode menggunakan perancah dan metode tanpa perancah tiap bentang adalah 116,41%, 13,22%, 16,39%, 12,99%, 9,74%, 9,12% dengan rata-rata 13,08%.

5.2.5 Lendutan

Perhitungan lendutan pada kedua metode meliputi lendutan akibat gaya prategang, lendutan akibat berat sendiri balok pracetak, lendutan balok pracetak akibat berat pelat cor ditempat, lendutan balok komposit akibat beban hidup, dan lendutan balok komposit akibat berat sendiri pelat cor ditempat. Perbedaan antara dua metode terletak pada lendutan akibat berat sendiri pelat cor ditempat. Pada metode dengan menggunakan perancah pelat ditahan oleh balok komposit, sedangkan pada metode tanpa perancah pelat ditahan oleh balok pracetak.



Grafik 5.11 Perbandingan lendutan antara kedua metode

Seperti pada momen, panjang bentang mempengaruhi besarnya nilai lendutan, semakin besar panjang bentang maka lendutannya semakin besar dan peningkatan tersebut cenderung linier. Perbedaan tiap bentang antara keduanya adalah 48,15%, 35,48%, 21,95%, 17,73%, 22,07%, 8,85% dengan rata-rata 25,70%.