

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Beberapa hal dapat diperoleh dari perhitungan analisa tampang balok beton prategang *post tensioned*, terutama mengenai kapasitas tampang elemen struktur terhadap kekuatan lentur. Kapasitas tampang elemen struktur dapat diketahui dengan pasti, sehingga meyakinkan akan ketepatan hasil rancangan. Hal tersebut bisa dijadikan referensi dalam desain struktur terhadap kekuatan lentur yang serupa, dengan demikian dalam perencanaan selanjutnya bisa mendapatkan hasil yang diharapkan dengan penampang yang lebih ekonomis.

Dalam analisis kapasitas penampang yang mampu menahan lentur ini dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap-tahap tertentu, yaitu : pada tahap penarikan (transfer) dan pada tahap beban layan telah bekerja. Kapasitas penampang pada tahap transfer berupa penampang netto sedangkan pada tahap beban layan telah bekerja berupa penampang transformasi yang selanjutnya digunakan untuk pemeriksaan tegangan pada saat transfer dan beban layan telah bekerja.

Kekuatan lentur suatu penampang balok beton prategang tergantung dari beberapa parameter yaitu jumlah tulangan prategang, dimensi penampang,

Tabel 4.1. Hasil analisa balok tampang persegi panjang

| Lama Pembebanan | Tegangan Efektif Tendon (Mpa) | Kehilangan Tegangan (%) | Tegangan Beton (Mpa) |             | Faktor Koreksi Rangkak Beton | Besarnya Lendutan (mm) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------|------------------------------|------------------------|
|                 |                               |                         | Serat Atas           | Serat Bawah |                              |                        |
| 0 Tahun         | 1252.2573                     | 0.0000                  | 0.8258               | -18.3102    | 0.0000                       | 21.4847                |
| 1 Hari          | 1130.6022                     | 9.7149                  | -18.1470             | 1.3291      | 0.1558                       | -24.3590               |
| 1 Minggu        | 1118.7091                     | 10.6646                 | -18.2125             | 1.5645      | 0.4169                       | -26.3188               |
| 1 Bulan         | 1109.8145                     | 11.3749                 | -18.2615             | 1.7406      | 0.7454                       | -28.6735               |
| 0.5 Tahun       | 1098.7792                     | 12.2561                 | -18.3223             | 1.9591      | 1.1904                       | -31.9496               |
| 1 Tahun         | 1094.5427                     | 12.5944                 | -18.3456             | 2.0430      | 1.3285                       | -33.0328               |
| 2 Tahun         | 1090.3063                     | 12.9327                 | -18.3689             | 2.1268      | 1.4385                       | -33.9503               |
| 3 Tahun         | 1087.8281                     | 13.1306                 | -18.3826             | 2.1759      | 1.4902                       | -34.4101               |
| 4 Tahun         | 1086.0698                     | 13.2710                 | -18.3923             | 2.2107      | 1.5217                       | -34.7043               |
| 5 Tahun         | 1084.7060                     | 13.3799                 | -18.3998             | 2.2377      | 1.5434                       | -34.9155               |
| 6 Tahun         | 1083.5916                     | 13.4690                 | -18.4059             | 2.2598      | 1.5595                       | -35.0779               |
| 8 Tahun         | 1081.8334                     | 13.6093                 | -18.4156             | 2.2946      | 1.5821                       | -35.3168               |
| 10 Tahun        | 1080.4696                     | 13.7182                 | -18.4231             | 2.3216      | 1.5975                       | -35.4886               |

Tabel 4.2 Hasil analisa balok tampang T tunggal

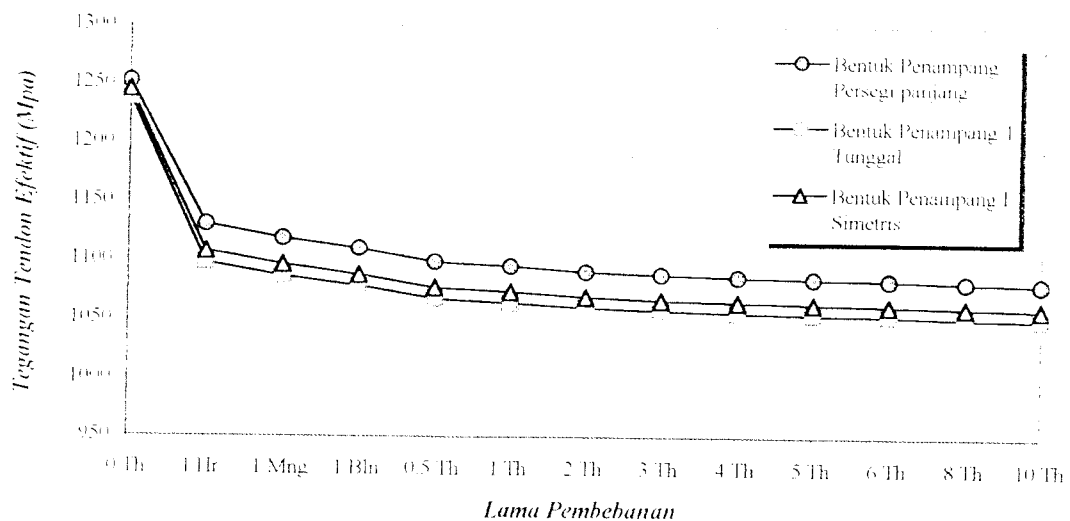
| Lama Pembebanan | Tegangan Efektif Tendon (Mpa) | Kehilangan Tegangan (%) | Tegangan Beton (Mpa) |             | Faktor Koreksi Rangkak Beton | Besarnya Lendutan (mm) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------|------------------------------|------------------------|
|                 |                               |                         | Serat Atas           | Serat Bawah |                              |                        |
| 0 Tahun         | 1238.7627                     | 0.0000                  | 0.7199               | -21.5699    | 0.0000                       | 25.0256                |
| 1 Hari          | 1097.5916                     | 11.3961                 | -15.8677             | -0.4380     | 0.1698                       | -19.5781               |
| 1 Minggu        | 1086.5118                     | 12.2906                 | -15.9180             | -0.1879     | 0.4544                       | -20.5205               |
| 1 Bulan         | 1078.2255                     | 12.7955                 | -15.9556             | -0.0009     | 0.8124                       | -21.6007               |
| 0.5 Tahun       | 1067.9449                     | 12.9595                 | -16.0022             | 0.2312      | 1.2975                       | -23.1605               |
| 1 Tahun         | 1063.9982                     | 14.1080                 | -16.0201             | 0.3203      | 1.4480                       | -23.7151               |
| 2 Tahun         | 1060.0515                     | 14.4266                 | -16.0380             | 0.4094      | 1.5679                       | -24.2136               |
| 3 Tahun         | 1057.7428                     | 14.6130                 | -16.0485             | 0.4615      | 1.6243                       | -24.4778               |
| 4 tahun         | 1056.1048                     | 14.7452                 | -16.0559             | 0.4985      | 1.6586                       | -24.6535               |
| 5 Tahun         | 1054.8342                     | 14.8478                 | -16.0616             | 0.5271      | 1.6822                       | -24.7836               |
| 6 Tahun         | 1053.7961                     | 14.9316                 | -16.0664             | 0.5506      | 1.6998                       | -24.8860               |
| 8 Tahun         | 1052.1581                     | 15.0638                 | -16.0738             | 0.5875      | 1.7244                       | -25.0410               |
| 10 Tahun        | 1050.8875                     | 15.1664                 | -16.0795             | 0.6162      | 1.7412                       | -25.1561               |

Tabel 4.3 Hasil analisa balok tampang I simetris

| Lama Pembebanan | Tegangan Efektif Tendon (Mpa) | Kehilangan Tegangan (%) | Tegangan Beton ( Mpa) |             | Faktor Koreksi Rangkak Beton | Besarnya Lendutan ( mm ) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|------------------------------|--------------------------|
|                 |                               |                         | Serat Atas            | Serat Bawah |                              |                          |
| 0 Tahun         | 1245.7670                     | 0                       | 0.8510                | -19.6848    | 0                            | 23.0563                  |
| 1 Hari          | 1109.6109                     | 10.9295                 | -17.6541              | -0.2029     | 0.1681                       | -21.9233                 |
| 1 Minggu        | 1098.1107                     | 11.8526                 | -17.7125              | 0.0329      | 0.4496                       | -23.4340                 |
| 1 Bulan         | 1089.5101                     | 12.5430                 | -17.7561              | 0.2093      | 0.8040                       | -25.2306                 |
| 0.5 Tahun       | 1078.8395                     | 13.3996                 | -17.8103              | 0.4281      | 1.2840                       | -27.7578                 |
| 1 Tahun         | 1074.7431                     | 13.7284                 | -17.8311              | 0.5121      | 1.4329                       | -28.6105                 |
| 2 Tahun         | 1070.6466                     | 14.0572                 | -17.8519              | 0.5961      | 1.5516                       | -29.3453                 |
| 3 Tahun         | 1068.2504                     | 14.2496                 | -17.8640              | 0.6453      | 1.6074                       | -29.7197                 |
| 4 tahun         | 1066.5502                     | 14.3861                 | -17.8726              | 0.6801      | 1.6413                       | -29.9622                 |
| 5 Tahun         | 1065.2315                     | 14.4919                 | -17.8793              | 0.7072      | 1.6647                       | -30.1379                 |
| 6 Tahun         | 1064.1540                     | 14.5784                 | -17.8848              | 0.7293      | 1.6821                       | -30.2741                 |
| 8 Tahun         | 1062.4538                     | 14.7149                 | -17.8934              | 0.7641      | 1.7064                       | -30.4762                 |
| 10 Tahun        | 1061.1350                     | 14.8208                 | -17.9001              | 0.7912      | 1.7230                       | -30.6232                 |

#### 4.2 Tegangan tendon efektif

Tegangan tendon efektif merupakan tegangan tendon yang terjadi setelah beban layan telah bekerja dan telah mengalami reduksi tegangan akibat kehilangan tegangan-tegangan berupa kehilangan tegangan akibat rangkakan beton, susut beton, dan relaksasi dari baja tendon prategang. Nilai tegangan tendon efektif yang terjadi terhadap pengaruh lamanya pembebanan pada balok beton prategang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu. Pada 1 tahun setelah beban kerja bekerja, nilai tegangan tendon efektif menunjukkan penurunan sebesar 3.18 % untuk balok persegi panjang, 3.06 % untuk balok tampang T tunggal, dan 3.13 % untuk balok tampang I simetris. Sedangkan pada tahun-tahun berikutnya penurunan tegangan tendon efektif semakin berkurang seperti terlihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



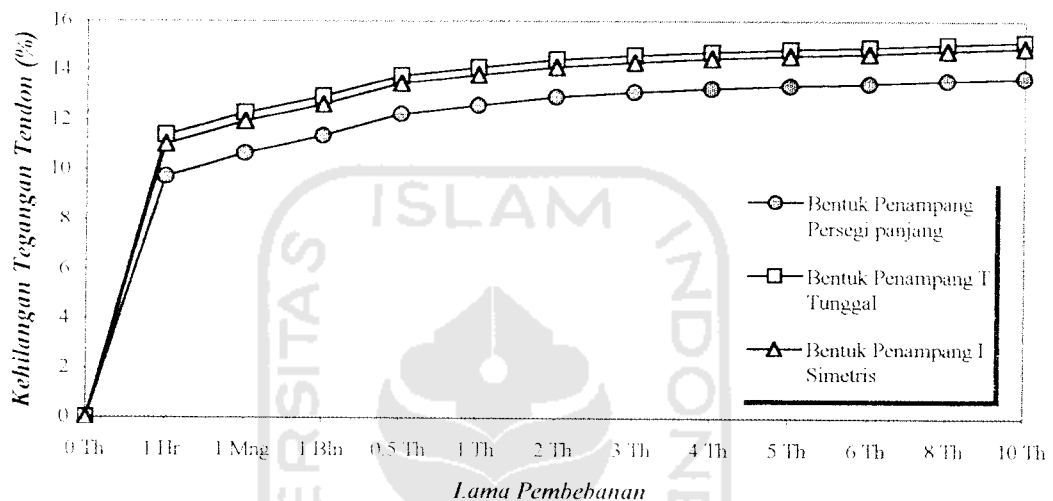
Gambar 4.1 Tegangan tendon efektif terhadap lama pembebanan

Balok tampang persegi panjang menghasilkan nilai tegangan tendon efektif yang paling besar di antara bentuk penampang lainnya. Hal ini disebabkan karena tampang balok persegi panjang mempunyai kehilangan tegangan tendon yang paling kecil di antara bentuk tampang T tunggal maupun I simetris. Pada balok tampang T tunggal, tegangan tendon efektif lebih kecil dari balok tampang I simetris karena balok tampang T tunggal memiliki kehilangan tegangan tendon yang lebih besar dari balok tampang I simetris.

#### 4.3 Prosentase Kehilangan Tegangan Tendon

Kehilangan tegangan tendon yang terjadi pada penampang balok persegi panjang, T tunggal, dan I simetris disebabkan karena beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah pengangkutan tendon, gesekan tendon dan balok beton, deformasi elastik beton, rangkai beton, susut beton, dan relaksasi baja tendon prategang. Prosentase kehilangan tegangan tendon yang diakibatkan oleh faktor-faktor tersebut menunjukkan peningkatan terhadap penambahan waktu

pembebanan. Peningkatan tersebut dapat terlihat secara jelas pada 1 tahun setelah beban layan bekerja, yaitu sebesar 22.66 % untuk balok tampang persegi panjang, 19.22 % untuk balok tampang T tunggal, dan 20.20 % untuk balok tampang I simetris. Pada tahun-tahun berikutnya peningkatan prosentase kehilangan tegangan tendon mulai berkurang, seperti terlihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2. Prosentase kehilangan tegangan tendon terhadap lama pembebanan

Pada Gambar 4.2 di atas memperlihatkan bahwa balok tampang persegi panjang mempunyai prosentase kehilangan tegangan tendon yang paling kecil di antara kedua bentuk penampang balok yang lain. Hal ini disebabkan karena balok tampang persegi panjang mempunyai luas penampang yang lebih besar, jarak eksentrisitas tendon yang lebih kecil dan rasio luas-keliling yang lebih besar sehingga menghasilkan kehilangan tegangan tendon akibat deformasi elastik beton, rangkai beton, dan susut beton yang kecil. Sedangkan pada balok tampang T tunggal dimana prosentase kehilangan tegangan tendon lebih kecil dari balok tampang I simetris, mempunyai jarak eksentrisitas tendon lebih besar, dan rasio luas-keliling balok yang lebih kecil daripada balok tampang I simetris.

#### 4.4 Tegangan Beton

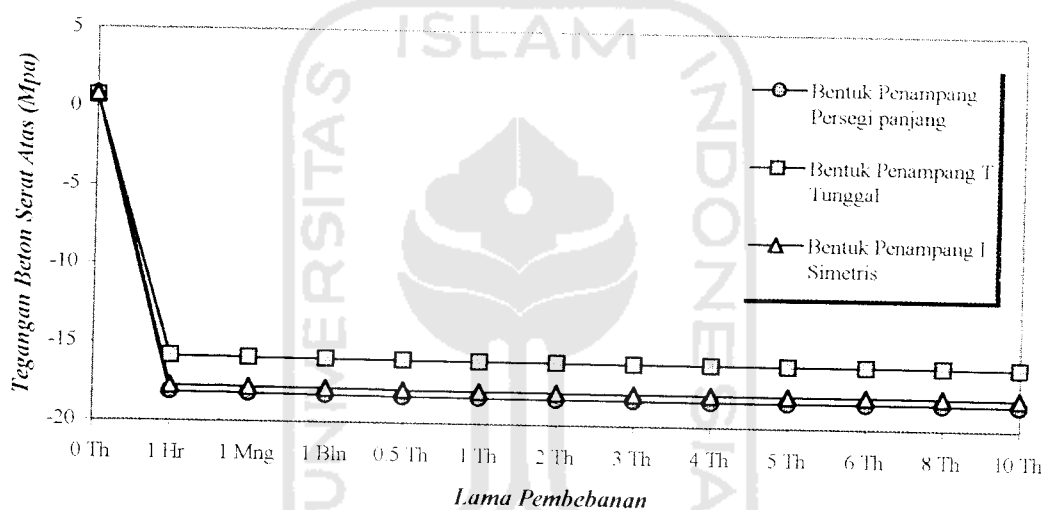
Tegangan yang terjadi pada penampang balok beton prategang menghasilkan tegangan di serat atas dan serat bawah balok. Tegangan-tegangan beton tersebut dianalisis pada saat transfer dan saat beban layan bekerja.

##### 1. Serat Atas

Tegangan beton serat atas penampang balok persegi panjang, T tunggal, dan I simetris pada saat transfer merupakan tegangan tarik. Sesaat setelah beban layan bekerja, maka tegangan serat atas beton berubah menjadi tegangan desak. Nilai tegangan desak beton tersebut semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur layan balok beton. Pada 1 tahun setelah pembebanan peningkatan tegangan desak beton yang terjadi menunjukkan kenaikan sebesar 1.08 % untuk balok tampang persegi panjang, 0.95 % untuk balok tampang T tunggal, dan 0.98 % untuk balok tampang I simetris. Sedangkan pada tahun-tahun berikutnya kenaikan tersebut semakin berkurang, seperti terlihat pada Gambar 4.3.

Dari Gambar 4.3 tersebut memperlihatkan bahwa tegangan beton pada saat transfer, balok T tunggal mempunyai nilai tegangan desak beton yang paling kecil di antara balok tampang persegi panjang maupun I simetris. Sedangkan balok tampang I simetris terjadi tegangan tarik beton pada serat atas lebih besar dari balok tampang persegi panjang. Hal ini disebabkan karena balok tampang T tunggal mempunyai momen inersi netto yang lebih besar dan jarak titik berat penampang balok yang lebih kecil, sedangkan pada balok tampang I simetris mempunyai luas penampang balok lebih kecil dibanding dengan balok tampang persegi panjang.

Demikian juga pada akhir umur layan, balok tampang T tunggal mempunyai tegangan desak beton yang paling kecil di antara bentuk penampang lainnya. Sedangkan balok tampang persegi panjang nilai tegangan desak beton lebih besar dari balok tampang I simetris. Hal ini disebabkan karena balok T tunggal mempunyai momen inersia netto yang paling besar di antara bentuk penampang lainnya, sedangkan balok persegi panjang mempunyai momen inersia netto dan transformasi yang lebih kecil dibanding dengan balok tampang I simetris.

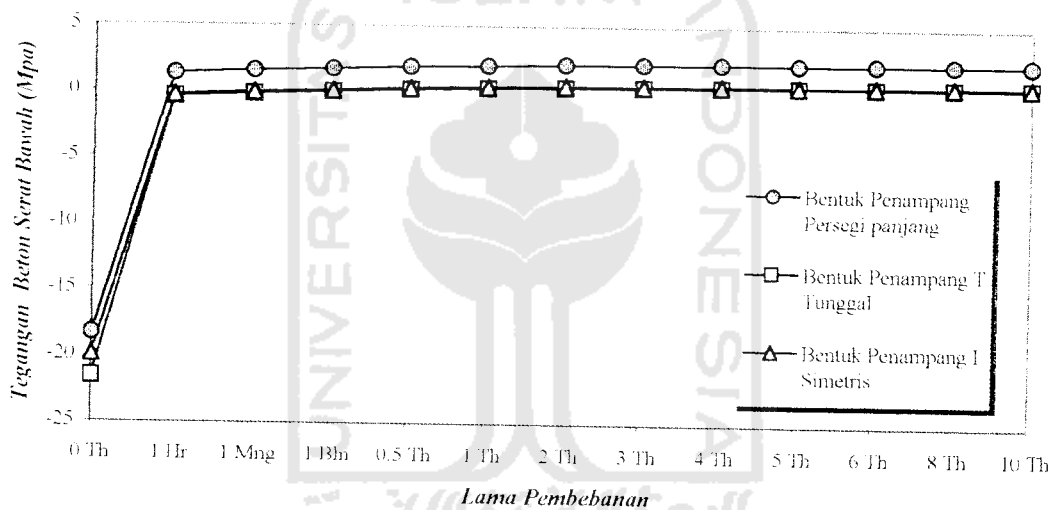


Gambar 4.3. Tegangan beton serat atas terhadap lama pembebanan

## 2. Tegangan Serat Bawah

Tegangan beton awal atau saat transfer yang terjadi pada serat bawah penampang balok persegi panjang, T tunggal, dan I simetris menghasilkan tegangan berupa tegangan desak. Setelah pemberian beban kerja, pada balok tampang persegi panjang menunjukkan terjadinya tegangan tarik tetapi balok tampang T tunggal maupun I simetris tegangan beton yang terjadi masih berupa tegangan desak. Hal ini disebabkan karena pada balok tampang T tunggal dan I

simetris setelah beban layan bekerja, tegangan desak beton yang terjadi masih bisa ditahan oleh sayap penampang balok. Nilai tegangan desak beton pada penampang balok persegi panjang, T tunggal, dan I simetris menunjukkan peningkatan terhadap lama pembebanan. Pada 1 tahun setelah beban layan bekerja peningkatan yang terjadi pada balok tampang persegi panjang sebesar 34.94 %, sedangkan balok tampang T tunggal dan I simetris lebih dari 100 %. Pada tahun-tahun berikutnya peningkatan tegangan beton tersebut semakin berkurang, seperti terlihat pada Gambar 4.4. berikut ini.



Gambar 4.4. Tegangan beton serat bawah terhadap lama pembebanan

Dari Gambar 4.4 terdapat nilai tegangan desak beton pada serat bawah balok tampang persegi panjang saat transfer paling kecil di antara bentuk penampang lainnya, sedangkan balok tampang T tunggal lebih besar dibanding balok tampang I simetris. Tetapi pada akhir layan umur 1 tahun nilai tegangan tarik beton balok tampang T tunggal paling kecil di antara bentuk penampang yang lain, sedangkan balok tampang persegi panjang mempunyai nilai tegangan



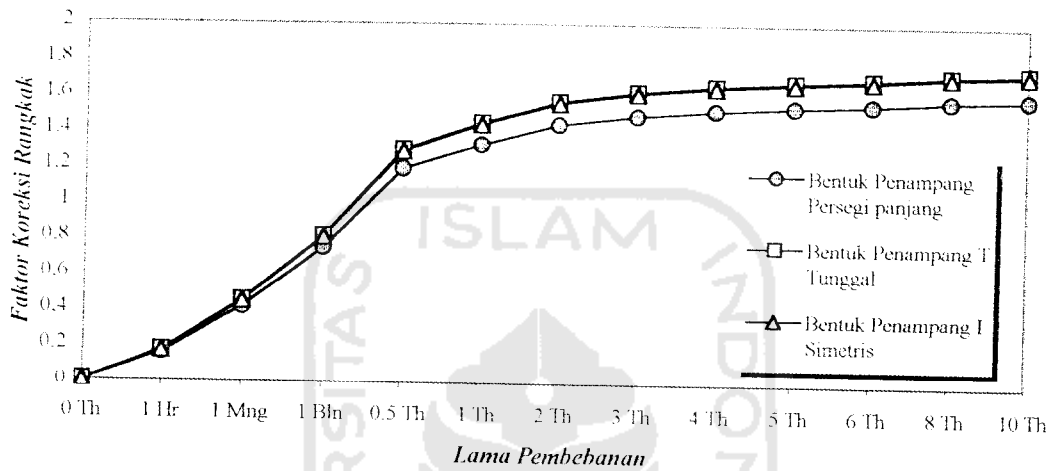
tarik beton yang lebih besar dibanding dengan balok tampang I simetris. Hal ini disebabkan karena pada saat transfer balok persegi panjang mempunyai luas penampang yang paling besar, jarak pusat berat terhadap sisi bawah penampang dan jarak eksentrisitas tendon serta momen inersia yang paling kecil di antara bentuk penampang lainnya. Sedangkan balok tampang T tunggal mempunyai momen inersia, jarak pusat berat penampang terhadap sisi bawah penampang dan jarak eksentrisitas tendon yang lebih besar dari balok tampang I simetris. Pada akhir umur layan balok tampang T tunggal mempunyai gaya prategang efektif tendon yang paling kecil dan momen inersia netto maupun transformasi paling besar di antara bentuk penampang lainnya yang mempengaruhi terjadinya tegangan beton pada serat bawah penampang balok.

#### **4.5 Faktor Koefisien Rangkak**

Nilai faktor koreksi rangkak beton dipengaruhi oleh kelembaban relatif rata-rata, umur pembebanan balok beton, dan rasio antara luas-keliling penampang balok beton prategang. Nilai faktor koreksi rangkak terhadap lama pembebanan menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu. Peningkatan yang besar terjadi pada umur 1 tahun setelah beban layan bekerja, yaitu sebesar 88.27 % untuk balok tampang persegi panjang, T tunggal, maupun I simetris. Pada tahun-tahun berikutnya peningkatan tersebut semakin berkurang seperti terlihat pada Gambar 4.5.

Nilai faktor koreksi rangkak beton dari Gambar 4.5 terlihat bahwa balok tampang T tunggal lebih besar dari balok tampang persegi panjang, dan I simetris. Sedangkan nilai faktor koreksi rangkak beton pada balok tampang persegi panjang

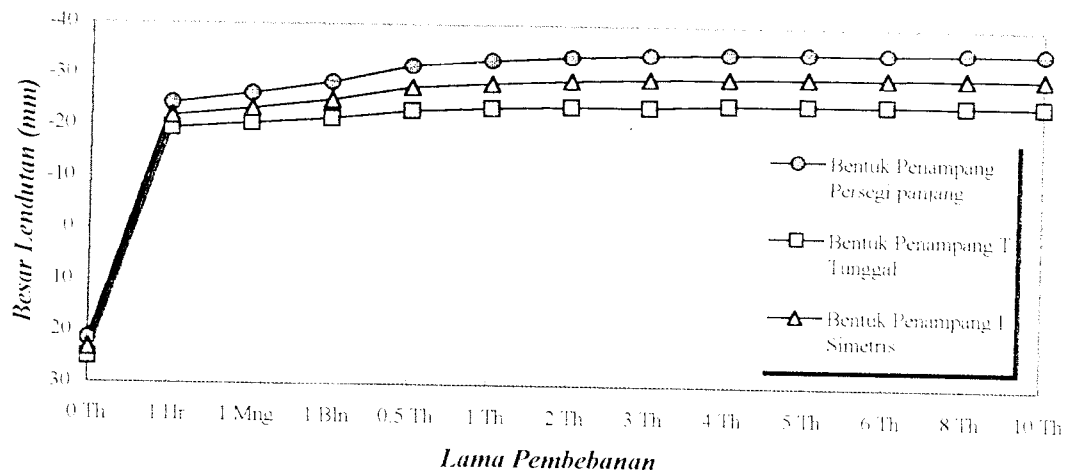
lebih kecil dari balok tampang I simetris. Hal ini disebabkan karena balok tampang T tunggal mempunyai rasio antara luas dan keliling yang paling besar di antara balok tampang persegi panjang maupun I simetris. Sedangkan pada balok tampang persegi panjang mempunyai rasio antara luas dan keliling yang lebih kecil dari balok tampang I simetris.



Gambar 4.5. Faktor koreksi rangkak terhadap lama pembebanan

#### 4.6 Lendutan

Lendutan yang terjadi pada penampang balok beton prategang terdiri dari lendutan sesaat, yaitu sebelum beban layan bekerja dan lendutan akhir yang terjadi setelah beban layan bekerja. Besarnya lendutan yang terjadi pada balok tampang persegi panjang, T tunggal, dan I simetris terhadap waktu lama pembebanan menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu. Peningkatan yang besar terjadi pada umur 1 tahun setelah beban layan bekerja. Besarnya peningkatan tersebut pada balok persegi panjang 26.25 %, balok tampang T tunggal 17.44 %, dan balok tampang I simetris 23 %. Kemudian pada tahun-tahun berikutnya peningkatannya terus semakin berkurang seperti terlihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6. Besar lendutan terhadap lama pembebanan

Pada Gambar 4.6 di atas memperlihatkan bahwa bahwa tampang T tunggal mempunyai besar lendutan yang paling kecil di antara bentuk penampang yang lain. Sedangkan balok tampang persegi panjang mempunyai lendutan yang lebih besar dari balok tampang I simetris. Hal ini disebabkan balok tampang T tunggal mempunyai jarak eksentrisitas tendon, dan momen inersia netto serta momen inersia transformasi yang paling besar di antara bentuk penampang balok yang lain. Pada balok tampang persegi panjang, jarak eksentrisitas tendon, momen inersia netto, dan momen inersia transformasi yang ada lebih kecil dibanding dengan balok tampang I simetris. Jarak eksentrisitas tendon, momen inersia netto dan momen inersia transformasi tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap terjadinya camber dan lendutan akibat berat sendiri balok pada saat lendutan sesaat ditambah lendutan akibat beban kerja pada akhir umur layan.