

BAB II

RISET TERDAHULU

2.1. STUDI LITERATUR

Dimulai dari tahap perencanaan hingga analisa, penelitian ini dilaksanakan berdasarkan sumber – sumber yang berkaitan dengan tema yang dipilih, yaitu “Program Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas, dan Kehilangan Tegangan Pada Post-tensioned Prestress Beam”. Sumber – sumber yang digunakan berupa peraturan – peraturan, referensi – referensi, juga penelitian – penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya.

Pada bab berikut ini akan diuraikan mengenai teori – teori yang mendasari penelitian lanjutan yang akan dilakukan. Dan materi yang akan dibahas berdasarkan peraturan – peraturan ataupun referensi – referensi, diantaranya :

- A. Prinsip Dasar Beton Prategang
- B. Sistem Pemberian Prategang
- C. Kehilangan Sebagian Gaya Prategang

2.1.1. BETON PRATEGANG

2.1.1.a. Perbedaan Antara Beton Prategang dengan Beton Konvensional

Beton bertulang atau beton konvensional adalah beton yang di dalamnya terkandung batang tulangan yang direncanakan berdasarkan anggapan bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul beban (PBI 1971).

Pada beton bertulang seluruh pembebanan dipikul bersama - sama oleh penampang beton tertekan dan tulangan tarik. Akan tetapi apabila pada daerah tertarik beton konvensional mengalami retak, daerah ini tidak akan dapat lagi berfungsi untuk memikul beban. Sehingga seluruh beban akan dipikul oleh penampang beton tertekan yang masih utuh bersama tulangan tarik yang berfungsi mengambil alih tegangan tarik yang sudah tidak dapat lagi dipikul oleh beton. Dan

transfer tegangan tarik dari beton ke tulangan pada beton konvensional tercipta karena adanya ikatan antara tulangan dan beton.

Sedangkan definisi yang diberikan oleh Komisi ACI (*American Concrete Institute*) mengenai beton prategang yaitu “*Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal*”.

2.1.1.b. Riwayat Perkembangan Beton Prategang

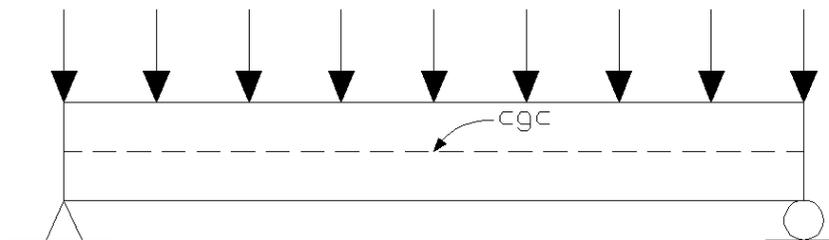
Prinsip dasar beton prategang pertama kali dipatenkan oleh P.H Jackson, seorang insinyur dari California pada tahun 1872 yang menggunakan *tie rod* atau batang baja-pengikat untuk mempersatukan blok – blok beton yang berbentuk lengkungan. Kemudian pada tahun 1888 paten untuk pemberian prategang pada slab dengan kawat – kawat metal diperoleh C. W. Doehring dari Jerman. Inovasi ini kurang sukses karena gaya prategang menghilang seiring berjalannya waktu yang disebabkan mutu beton dan baja yang dipakai masih rendah. Dalam jangka waktu yang cukup lama, hanya ada sedikit kemajuan yang dicapai untuk perkembangan beton prategang dikarenakan sulitnya mendapatkan baja berkekuatan tinggi untuk mengatasi kehilangan gaya prategang. Hingga pada tahun 1926 sampai 1928 Eugene Freyssinet mengusulkan untuk menggunakan baja berkekuatan dan berdaktilitas tinggi untuk mengatasi masalah kehilangan gaya prategang dan pada tahun 1940 menciptakan sistem Freyssinet yang menggunakan jangkar konus untuk tendon 12 kawat. Juga kemudian di antara tahun 1930-an dan 1960-an P. W. Abeles dari Inggris memperkenalkan dan mengembangkan konsep pemberian prategang parsial dan T. Y. Lin dari Amerika Serikat mengembangkan metode keseimbangan beban.

A. PRINSIP DASAR

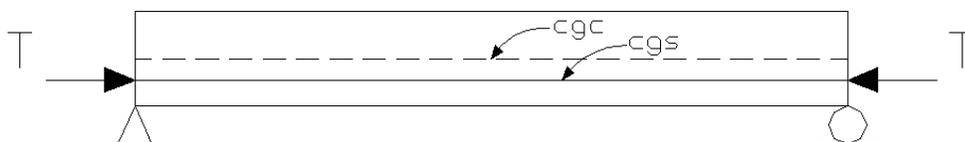
Teknologi beton prategang yang dikembangkan dari beton konvensional juga berdasarkan bahwa beton sangat kuat menahan gaya tekan dan memiliki tegangan tekan hancur sangat tinggi namun sangat lemah dalam menahan gaya

tarik. Pada beton prategang rendahnya kapasitas kuat tarik tersebut diatasi dengan mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu-tinggi secara “aktif” dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Penarikan baja tersebut dilakukan sebelum beban mati dan beban hidup bekerja pada beton sehingga pada awalnya (pra) beton dalam keadaan tertekan yang bertujuan untuk mengimbangi tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban – beban tersebut supaya dapat dieliminir atau bahkan dihilangkan sama sekali, oleh karena itu disebut prategang (*Prestressed*).

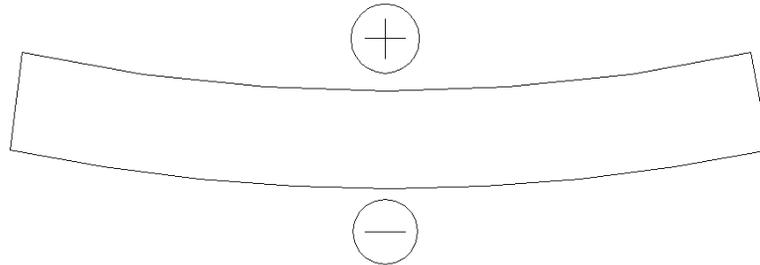
Jadi pada beton konvensional maupun beton prategang memiliki prinsip utama yang sama yaitu bahwa tulangan ditempatkan pada daerah yang nantinya akan mengalami tegangan tarik akibat beban. Hanya saja pada beton konvensional tulangan berfungsi mengambil alih tegangan tarik yang sudah tidak dapat lagi dipikul oleh beton, sedangkan pada beton prategang tulangan (tendon) berfungsi menciptakan tegangan awal yang nantinya harus mengimbangi tegangan tarik akibat beban.



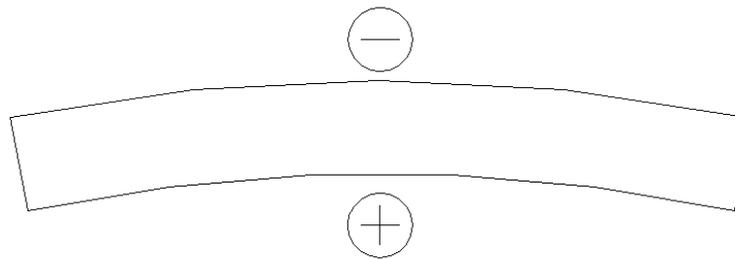
Gambar 2.1 Balok persegi panjang dengan beban



Gambar 2.2 Balok diberi gaya prategang awal sebesar T



Gambar 2.3 Tegangan yang terjadi pada balok akibat beban hidup + beban mati



Gambar 2.4 Tegangan akibat gaya prategang awal

B. SISTEM PEMBERIAN PRATEGANG

Pada *prestressed concrete*, sistem pemberian gaya prategang atau transfer gaya prategang dari tendon kepada beton ada dua macam, yaitu *Pretensioned Prestressed Concrete* (pra tarik) dan *Post-tensioned Prestress Concrete* (pasca tarik).

1. *Pretensioned Prestressed Concrete* (pra tarik)

Adalah sistem pemberian gaya prategang pada beton pratekan dengan menarik baja prategang (tendon) terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengecoran. Cara ini sering digunakan di laboratorium atau pabrik beton pracetak (*PreCast Prestressed Concrete*) dimana terdapat lantai penahan tarikan yang tetap atau di lapangan dimana dinding penahan dapat dibuat secara ekonomis. Langkah – langkah sistem pemberian gaya prategang secara pratarik yaitu :

- a). Tendon diregangkan diatas landasan (*stressing bed*) pracetak berupa slab beton dengan lay out yang disesuaikan menurut perencanaan dan dipasang atau diangker ke dinding penahan (*bulkhead*) yang didesain untuk menahan gaya prategang yang besar. Tegangan ijin maksimum terhadap gaya prategang yang diberikan pada tendon menurut peraturan ACI dan AASHTO adalah sebesar 94 % dari kuat leleh tendon tetapi tidak lebih besar daripada yang terkecil antara 80 % kuat tariknya dengan nilai maksimum yang disarankan oleh pembuat jangkar atau tendon prategang.
- b). Kemudian beton dicor dengan menuangkan adukan beton yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan mutu yang direncanakan ke dalam bekisting yang mengelilingi tendon.
- c). Setelah beton mengeras dan mencapai tingkat kekuatan tertentu, pada umumnya sekitar 1@2 hari, baru tendon dipotong pada kedua ujungnya. Pada kondisi awal ini beton harus mampu memikul tegangan yang diakibatkan oleh gaya prategang, sedangkan tegangan akibat berat sendiri gelagar pada umumnya tidak terlalu berpengaruh dikarenakan konstruksi ini dikerjakan di pabrik dan balok bertumpu pada seluruh bentangnya. Ketika tendon dipotong, transfer (peralihan) gaya prategang dari tendon kepada beton terjadi karena ikatan atau lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton. Keadaan ini merupakan keadaan yang paling kritis yang dihadapi oleh beton maupun tendon karena keduanya memikul tegangan tertinggi yang akan terjadi selama waktu manfaat struktur tersebut. Gaya prategang yang diberikan mengakibatkan beton dalam keadaan tertekan dan memendek jika letak tendon konsentris yaitu berada pada titik berat penampang beton (*cgc-center gravity of concrete*) atau cenderung melengkung apabila tendon diletakkan diatas atau dibawah titik berat penampang (eksentris).
- d). Dan setelah memenuhi persyaratan serta cukup kuat untuk dipindahkan, beton dilepas dari bekistingnya dan landasan kerja siap untuk digunakan lagi.

Batasan yang diberikan ACI terhadap tegangan atau tegangan ijin maksimum yang terjadi sesaat setelah transfer gaya prategang pada bagian serat terluar yang mengalami tegangan tekan adalah sebesar $0,6 f'_{ci}$ dan pada bagian

serat terluar yang mengalami tegangan tarik sebesar $3\sqrt{f'_{ci}}$ kecuali pada ujung balok yang ditumpu sederhana sebesar $6\sqrt{f'_{ci}}$. Apabila tegangan tarik yang dihitung melebihi nilai yang tercantum, maka penulangan lekatan tambahan baik non prategang ataupun prategang harus digunakan untuk menahan gaya tarik total yang dihitung dengan asumsi penampang tak retak.

2. *Post-tensioned Prestress Concrete* (pasca tarik)

Adalah sistem pemberian gaya prategang pada beton yang metodenya dilakukan dengan cara menarik baja prategang (tendon) setelah balok dicor dan mencapai sebagian besar dari kuat betonnya. Adapun langkah –langkah pemberian gaya prategang secara pasca tarik dibagi menjadi beberapa tahap :

- a). Bekisting untuk beton prategang dipasang bersama dengan pipa saluran (*duct*) yang akan digunakan untuk menempatkan tendon dan di susun sedemikian rupa agar tata letak atau *lay out* pipa saluran tersebut membentuk desain tertentu sesuai dengan momen lawan yang akan diciptakan.
- b). Kemudian beton dicor dengan menuangkan adukan beton yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan mutu yang direncanakan ke dalam bekisting, dan pipa saluran dijaga agar tidak kemasukan adukan tersebut. Setelah itu dilakukan perawatan terhadap beton selama beberapa waktu hingga mencapai sebagian besar kekuatan betonnya.
- c). Tendon dimasukkan ke dalam pipa saluran (*duct*) yang telah disiapkan sebelumnya dan diangkur mati pada salah satu ujungnya, lalu tendon ditarik dengan menggunakan dongkrak hidrolik pada ujung yang lain untuk mendapatkan gaya prategang pada tendon sesuai dengan besar gaya prategang yang direncanakan. Pemberian gaya prategang pada konstruksi ini dilakukan di lapangan dan transfer (peralihan) tegangan dari tendon ke beton terjadi karena penjangkaran pada ujung penampang beton. Di kondisi awal ini beton harus mampu memikul tegangan yang diakibatkan oleh gaya prategang dan berat sendiri gelagar. Pada sistem pasca tarik kehilangan tegangan sudah terjadi sejak penarikan tendon dimulai yang diakibatkan oleh angkur slip, geekan antara tendon dengan pipa saluran (*duct*), dan perpendekan elastis

beton jika terdapat lebih dari satu tendon dengan penarikan yang dilakukan secara berurutan. Tegangan ijin maksimum yang diberikan sama dengan tegangan – tegangan ijin maksimum pada beton prategang pratarik baik pada saat transfer tegangan maupun pada saat kondisi beban kerja setelah semua kehilangan tegangan terjadi.

- d). Pada pipa saluran tempat tendon diletakkan masih terdapat rongga di sekeliling tendon, oleh karena itu perlu diisi dengan bahan suntikan semen (*grouting*) yang sesuai untuk memberikan proteksi permanent dan meningkatkan lekatan antara tendon dengan beton di sekelilingnya. Dan jika tidak direkatkan dengan *grouting* perlindungan pada tendon pasca – tarik harus dilakukan dengan melapisinya dengan bahan pelindung seperti minyak atau bahan – bahan lainnya.

Metode pemberian prategang seperti ini dapat dipakai pada elemen – elemen baik beton pracetak (*precast*) yang dibuat di pabrik maupun beton yang dicetak ditempat (*cast in place*) Akan tetapi banyak juga yang menggunakan kombinasi antara kedua sistem tersebut dengan jalan membuat konstruksi secara segmental atau terpisah menggunakan sistem pracetak baru kemudian menyatukannya di lapangan dan pemberian gaya prategangnya dilakukan dengan metode pasca tarik.

C. KEHILANGAN SEBAGIAN PRATEGANG

Tegangan pada tendon dari sebuah beton prategang mengalami pengurangan seiring berjalannya waktu. Maka perlu diperkirakan besarnya kehilangan gaya prategang secara keseluruhan agar dapat menentukan gaya prategang efektif yang dibutuhkan pada perencanaan. Penentuan besarnya kehilangan sebagian gaya prategang secara tepat sulit dilakukan khususnya yang bergantung kepada waktu karena kehilangan tersebut bergantung kepada berbagai factor yang saling berkaitan. Contohnya relaksasi pada tendon, secara terus menerus mengalami perubahan tegangan akibat factor – factor lain, seperti rangkai pada beton, lalu pada gilirannya laju dari rangkai pada beton diubah oleh perubahan pada tegangan tendon. Setiap factor pada kondisi yang berbeda dari

tegangan, keadaan lingkungan pembebanan dan factor –faktor lainnya yang tidak pasti juga ikut mempengaruhi kehilangan sebagian gaya prategang pada tendon. Kehilangan sebagian gaya prategang secara umum disebabkan oleh kontribusi sebagian atau seluruh factor berikut ini :

C.1. Kehilangan Prategang Jangka Pendek (*Short Term Losses*)

1. Perpendekan Elastis Beton (*Elastic Shortening*)

Terjadi karena beton mengalami perpendekan ketika diberikan gaya prategang, dan pada saat yang sama tendon yang telah melekat pada beton yang memendek tersebut juga kehilangan sebagian tegangannya.

2. Angkur Slip (*Anchorage Set*)

Kehilangan tegangan karena angkur slip pada struktur pascatarik disebabkan adanya blok – blok pada angker pada saat gaya pendongkrak ditranfer ke angker

3. Gesekan (*Friction*)

Diakibatkan oleh adanya gesekan antara tendon dengan beton di sekelilingnya.

C.2. Kehilangan Prategang Jangka Panjang (*Long Term Losses*)

1. Relaksasi baja (*Relaxation of the Stressed Tendons*)

Terjadi karena tendon mengalami beton mengalami kelelahan (*fatigue*) sehingga gaya prategang akan berkurang secara perlahan – lahan tergantung kepada lamanya waktu.

2. Susut (*Shrinkage of Concrete*)

Kehilangan tegangan yang terjadi secara berangsur – angsur karena penguapan air pada beton.

3. Rangkak (*Creep of Concrete*)

Kehilangan yang terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan suatu elemen structural atau deformasi akibat tegangan longitudinal.

Kehilangan tegangan yang dialami oleh beton prategang dengan sistem pasca tarik terjadi akibat seluruh factor – factor tersebut kecuali kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton apabila tendon ditarik secara bersamaan. Sedangkan pada beton prategang sistem pratarik tidak terdapat kehilangan tegangan yang diakibatkan oleh gesekan dan angkur slip.

2.1.2. PROGRAM MICROSOFT VISUAL BASIC

Microsoft Visual Basic adalah bahasa pemrograman yang dikembangkan dari bahasa *QuickBasic* yang berjalan diatas system operasi DOS yang harus selalu menuliskan kode program untuk membuat *interface*-nya (antar muka) menjadi pemrograman visual berbasis objek yang hanya menuliskan kode pemrograman lebih sedikit untuk mengendalikan objek sehingga disebut *Rapid Application Development (RAD)*. Versi awalnya diciptakan oleh Alan Cooper yang kemudian diambil alih oleh *Microsoft* untuk dijadikan bahasa pemrograman utama di lingkungan *windows*.

Bagian kata VISUAL menunjukkan bagaimana program tersebut membuat aplikasi antar muka yang berbasis grafis dan bukannya dengan menuliskan baris-baris kode seperti cara pemrograman lama dan bagian kata BASIC mengacu pada istilah bahasa pemrograman BASIC (*Basic All-Purpose Symbolic Instruction Code*) yaitu bahasa pemrograman di lingkungan system operasi DOS. *Visual Basic* dikembangkan untuk menyamai kemudahan bahasa BASIC yang lama, tetapi telah diperlengkapi dengan ratusan perintah, fungsi, dan fasilitas baru, dan banyak diantaranya dapat berhubungan langsung dengan *Windows GUI (Graphicals User Interface)*, antar muka *Windows* yang berbasis visual (grafis). Berikut beberapa deskripsi dari program *Visual Basic*:

1. MDI adalah singkatan dari *Multiple Document Interface*
2. *Event* adalah kejadian atau aktifitas internal *windows*
3. *Method* adalah kemampuan menerima perintah untuk melakukan tugas spesifik
4. *Alignment Grid*, titik-titik kecil di seluruh permukaan form tempat tuntunan kursor bergerak

5. *Byte* adalah tipe data numeric terkecil (0-255)
6. *Boolean*, adalah tipe variable yang bernilai *true*(1) atau *false*(0)
7. *Single*, adalah variable bilangan cacah presisi tunggal
8. *Konstanta*, adalah variable yang nilainya tetap
9. *Function*, adalah prosedur yang mengolah satu atau beberapa argument untuk menghasilkan satu nilai tunggal
10. *Code Editor*, adalah window tempat penulisan kode program
11. GUI, adalah singkatan dari *Graphical User Interface*
12. *Input/Output*, adalah data masukan/keluaran
13. *Procedure*, adalah kumpulan beberapa perintah program untuk melakukan suatu tugas spesifik yang disatukan dalam suatu unit kerja
14. *MsgBox(Message Box)*, adalah jendela dialog dengan pesan agar *user* memberikan tanggapan dengan mengklik salah satu tombol yang ada
15. *Load*, adalah memuat suatu objek ke memori sehingga dapat dieksekusi
16. *Unload*, adalah mengosongkan memori dari objek yang pernah dimuat(*di-load*)
17. RGB, untuk menghasilkan warna tertentu dengan memasukkan bagian nilai warna merah(*Red*), hijau(*Green*), biru(*Blue*)
18. *Path*, adalah nama alamat atau lokasi penyimpanan *file* atau *folder*
19. *Pixel*, adalah satuan resolusi monitor
20. *Twip*, sama dengan 1/567 cm atau 1/1440 inch
21. *Array*, adalah ruang penyimpan data dalam satu nama variable yang sama yang ditandai dari notasi subskripnya
22. *Redim*, yaitu mengatur ulang ukuran *array*
23. *Option Explicit*, adalah variable yang dideklarasikan secara jelas
24. *Syntax*, adalah ejaan dan cara penulisan pada suatu bahasa pemrograman
25. *Double*, adalah variable bilangan cacah presisi ganda
26. *Null*, adalah variable data yang isinya bernilai kosong(*empty*)
27. *String*, adalah tipe data yang berisi gabungan karakter yang menunjukkan karakter itu sendiri dan bukan nilai numeriknya
28. *Public*, mendeklarasikan suatu variable agar dapat diakses dari semua *form*

29. *Maximize*, adalah membesarkan ukuran window ke ukuran terbesar
30. *Enable*, membuat suatu objek dapat diakses jika bernilai *true*
31. *Logical Operator*, adalah operator logika yang menerangkan dua nilai ekspresi

2.1.3. RISET TUGAS AKHIR

Penelitian ini adalah lanjutan atau pengembangan dari penelitian – penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh rekan kami sebelumnya. Oleh karena itu berikut ini adalah referensi yang didapat berdasarkan kedua penelitian tersebut.

Pada program *Post Beam ver. 1.0*, memiliki batasan – batasan terhadap permasalahan yang ditinjau, yaitu :

- 1) Analisis beton prategang sistem *posttensioning* dengan *lay out* tendon parabola yang mengikuti bidang momen akibat beban luar (beban merata).
- 2) Karakteristik beton prategang adalah sebagai berikut :
 - a) Tegangan tekan ijin beton pada umur 28 hari (f^c) maksimal = 85 mPa.
 - b) Tegangan tekan ijin beton pada saat transfer tegangan (f^ci) harus lebih kecil dari f^c .
 - c) Profil yang dipakai adalah profil I.
 - d) Kehilangan tegangan beton (R) antara 0 sampai 1.
 - e) Panjang bentang gelagar (L) antara 15 sampai 30 m.
 - f) Tinggi penampang profil (H) maksimal 1900 mm.
 - g) Lebar penampang profil (Bt dan Bb) lebih kecil dari $\frac{2}{3}$ H.
 - h) Pembebanan yang diperhitungkan adalah beban akibat berat sendiri dan beban luar yang berupa beban merata.
- 3) Output yang dihasilkan program hanya nilai T_i dan e dan pengecekan ulang terhadap nilai T_i dan e .

Setelah dilakukan beberapa percobaan terhadap program *Post Beam ver.1.0*, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan mengenai hasil atau output dari program tersebut yaitu diantaranya :

- Nilai T_i dan e yang aman terhadap tegangan ijin hanya didapat jika nilai tersebut diambil dari dalam daerah hubungan T_i dan e .

- Penempatan tendon internal, dan eksentrisitas yang diambil tidak melebihi eksentrisitas maksimumnya.

Dan pada program *Losses Of Prestress* batasan terhadap permasalahan yang dihadapi adalah :

- 1) Kasus yang ditinjau adalah kasus gelagar sederhana (*Simple Beam*), dengan pola pembebanan merata dan jika ada momen luar maka momen kritis yang terjadi pada kondisi akhir harus tetap pada tengah bentang.
- 2) *Lay Out* tendon berupa garis lurus atau parabola.
- 3) Penarikan semua tendon dilakukan secara bersamaan sehingga kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis tidak terjadi karena pengukuran tegangan dilakukan setelah penarikan.
- 4) Karakteristik penampang beton, karakteristik strain, besar gaya prategang awal (T_i), dan eksentrisitas tendon (e) yang diinputkan tidak mengakibatkan tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan.

Dan beberapa hal yang dapat disimpulkan mengenai hasil atau output dari program tersebut yaitu diantaranya :

- Kehilangan tegangan yang terjadi semakin lama semakin besar, tetapi setelah mencapai umur beton 1 tahun pertambahan kehilangan gaya prategang semakin kecil.
- Factor – factor yang mempengaruhi besarnya kehilangan gaya prategang selain factor utama yaitu
 - o Panjang bentang, semakin panjang bentang kehilangan akibat gesekan semakin besar tapi kehilangan akibat angkur slip semakin kecil.
 - o Umur beton, semakin lama umur beton saat transfer tegangan maka semakin kecil kehilangan gaya prategang.
 - o Kehilangan yang terjadi akan semakin kecil jika menggunakan baja relaksasi rendah.
 - o Semakin besar perbandingan antara volume beton dengan luas permukaan, kehilangan tegangan akan semakin kecil.