

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Umum

Pada struktur dengan bentang yang panjang, struktur bertulang biasa tidak cukup untuk menahan tegangan lentur sehingga terjadi retak-retak di daerah yang mempunyai tegangan lentur, geser atau puntir yang sangat tinggi. Untuk mengatasi keretakan serta berbagai keterbatasan yang lain, maka dilakukan penegangan pada struktur beton bertulang. Sistem penegangan ini mulai digunakan pada tahun 1872 saat PH. Jackson, seorang insinyur dari California mendapatkan hak paten untuk sistem struktural yang menggunakan tie rod untuk membuat balok atau pelengkung dari balok-balok. Pada tahun 1988, C.W.Doehring dari Jerman memperoleh hak paten untuk pemberian prategang pada slab dengan kawat-kawat metal. Akan tetapi, upaya awal untuk pemberian tegangan tersebut tidak benar-benar sukses karena hilangnya prategang dengan berjalannya waktu. J.Lud dari Norwegia dan G.R.Steiner dari Amerika Serikat telah berupaya untuk memecahkan masalah ini pada abad ke-20, namun tidak berhasil. Sesudah selang waktu yang panjang, pada saat hanya sedikit kemajuan karena sulitnya mendapatkan baja berkekuatan tinggi untuk mengatasi masalah kehilagannya prategang, R. R. Dill dari Alexandria, mengetahui adanya pengaruh susut dan rangkak (aliran material transversal) pada beton terhadap hilangnya prategang. Selanjutnya, dia mengembangkan pemberian pascatarik batang berpenampang bulat tanpa lekatan secara berurutan dapat mengganti kehilangan tegangan yang bergantung pada waktu pada batang tersebut akibat berkurangnya panjang komponen struktur yang ditimbulkan oleh rangkak dan susut. Pada awal 1920-an, W.H.Hewett dari Minneapolis mengembangkan prinsip-prinsip pemberian prategang melingkar. Ia memberikan tegangan melingkar horizontal disekeliling tangki beton dengan menggunakan trekstang untuk mencegah retak akibat tekanan cairan internal. Setelah itu, pemberian prategang pada tangki dan pipa berkembang pesat di Amerika Serikat, dengan

ribuan tangki penyimpanan air, cairan dan gas dibangun dan banyak sekali pipa tekanan prategang yang dibuat (Raju, N. Krisna. 1988).

Defenisi beton prategang menurut beberapa peraturan adalah sebagai berikut :

A. Menurut PBI-1971

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah ditimbulkan tegangan-tegangan intern dengan nilai dan pembagian yang sedemikian rupa hingga tegangan-tegangan akibat beton-beton dapat dinetralkan sampai suatu taraf yang diinginkan.

B. Menurut Draft Konsensus Pedoman Beton 1998

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

C. Menurut ACI

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.

Dapat ditambahkan bahwa beton prategang dalam arti seluas-luasnya, dapat juga termasuk keadaan (kasus) dimana tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh regangan-regangan internal diimbangi sampai batas tertentu, seperti pada konstruksi yang melengkung. Tetapi dalam tulisan ini pembahasannya hanya dibatasi dengan beton prategang yang memakai tulangan baja yang ditarik dan dikenal sebagai tendon.

Timbulnya retak-retak awal pada beton bertulang yang disebabkan oleh ketidakcocokan (*non compatibility*) dalam regangan-regangan baja dan beton barangkali merupakan titik awal dikembangkannya suatu material baru seperti 'beton prategang'. Penerapan tegangan tekan permanen pada suatu material seperti beton, yang kuat menahan tekanan tetapi lemah dalam menahan tarikan, akan meningkatkan kekuatan tarik yang nyata dari material tersebut, sebab penerapan tegangan tarik yang berikutnya pertama-tama harus meniadakan prategang tekanan. Dalam tahun 1904, Freyssinet mencoba memasukkan gaya-

gaya yang bekerja secara permanen pada beton untuk melawan gaya-gaya elastik yang ditimbulkan oleh beban dan gagasan ini kemudian telah dikembangkan dengan sebutan 'prategang'. Beton prategang adalah beton yang didalamnya terdapat kawat baja yang diberi tegangan dahulu dengan cara ditarik terus, setelah itu di cor dan dipasang. Beton prategang sangat baik untuk digunakan pada bangunan tingkat tinggi karena memiliki kuat tarik dan tekan sama baiknya dan dibandingkan beton biasa beton prategang memiliki kadar usia yang panjang. Beton prategang ini memakai baja mutu tinggi sehingga dalam pembuatannya juga memakan cost yang tidak sedikit.

Keuntungan penggunaan beton prategang adalah :

- a) Dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang.
- b) Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya.
- c) Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan.
- d) Terhindarnya retak terbuka di daerah tarik, sehingga lebih tahan terhadap keadaan korosif.
- e) Karena terbentuknya lawan lendut sebelum beban rencana bekerja, maka lendutan akhirnya akan lebih kecil dibandingkan dengan pada beton bertulang.
- f) Dimensi yang dihasilkan lebih kecil untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Jadi akan mengurangi jumlah material yang diperlukan.
- g) Karena dimensi yang dihasilkan lebih kecil, sehingga akan dihasilkan pula pondasi yang lebih kecil.
- h) Dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang.
- i) Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya.
- j) Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan.
- k) Dapat dipakai pada rekayasa konstruksi tertentu, misalnya pada konstruksi jembatan segmen.
- l) Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur tangki, struktur pracetak, dan lain-lain.

Kekurangan struktur beton prategang antara lain :

- a) Bahan-bahan bermutu tinggi yang digunakan mempunyai harga satuan yang lebih mahal.
- b) Memerlukan peralatan khusus seperti tendon, angkur, mesin penarik kabel, dan lain-lain.
- c) Memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya.

1.2. Latar Belakang

Beton prategang pada dasarnya adalah beton, dimana tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada suatu struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dan dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Prategang juga menyebabkan gaya dalam yang berlawanan dengan gaya luar dan mengurangi atau bahkan menghilangkan lendutan secara signifikan pada struktur. Beton yang digunakan dalam beton prategang adalah mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c min K-300, modulus elastis yang tinggi dan mengalami rangkai ultimate yang lebih kecil, yang menghasilkan kehilangan prategang yang lebih kecil pada baja, kuat tekan yang tinggi ini diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkutan tendon, mencegah terjadinya keretakan.

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang diberikan tegangan tekan internal sedemikian rupa sehingga dapat mengeliminir tegangan tarik yang terjadi akibat beban eksternal sampai suatu batas tertentu.

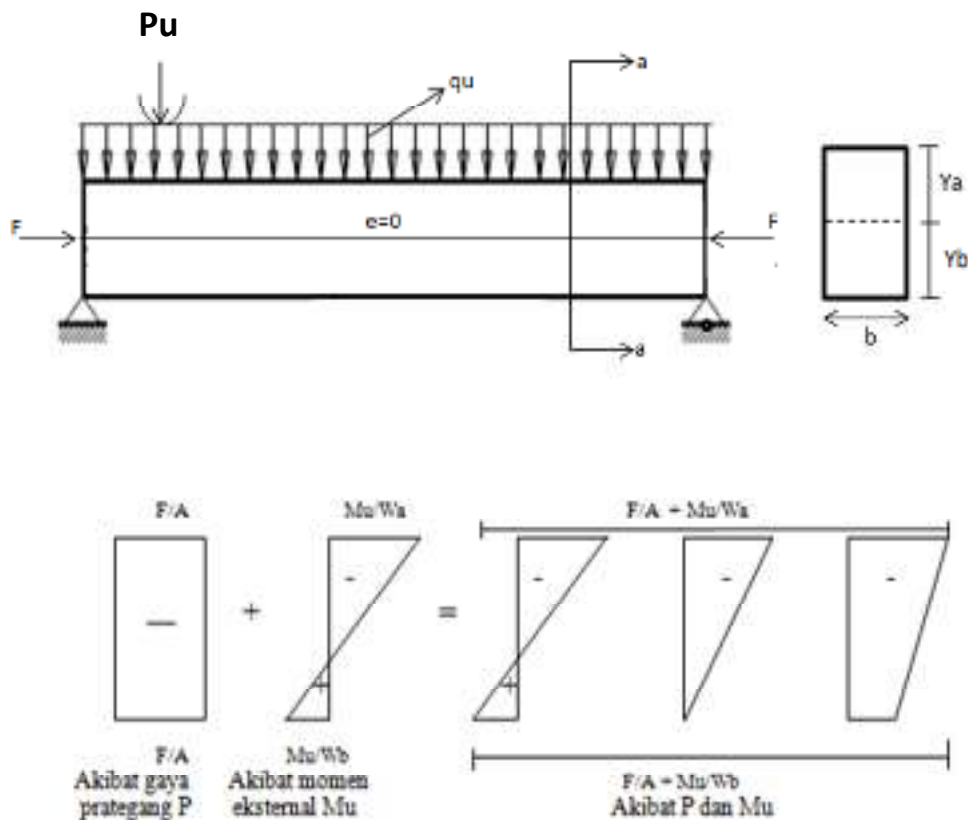
Ada 3 (tiga) konsep yang dapat dipergunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang atau pratekan :

Konsep Pertama :

Sistem prategang untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan elastis.

Eugene Freyssinet menggambarkan dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (prategang) pada bahan yang pada dasarnya getas akan menjadi bahan yang elastis. Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik akibat beban eksternal.

Hal ini dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini (balok dengan $e = 0$) :



Gambar 1.2.a Diagram Gaya Prategang Kabel Lurus $e = 0$

Akibat diberi gaya tekan (gaya prategang) F yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar F/A , dimana A adalah luas penampang beton tersebut. Akibat beban merata (termasuk berat sendiri beton) akan memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan diatas garis netral yang besarnya pada serat terluar penampang adalah :

$$\text{Tegangan Lentur : } f = \frac{M.c}{I} \quad 1.1$$

Dimana c : momen lentur pada penampang yang ditinjau

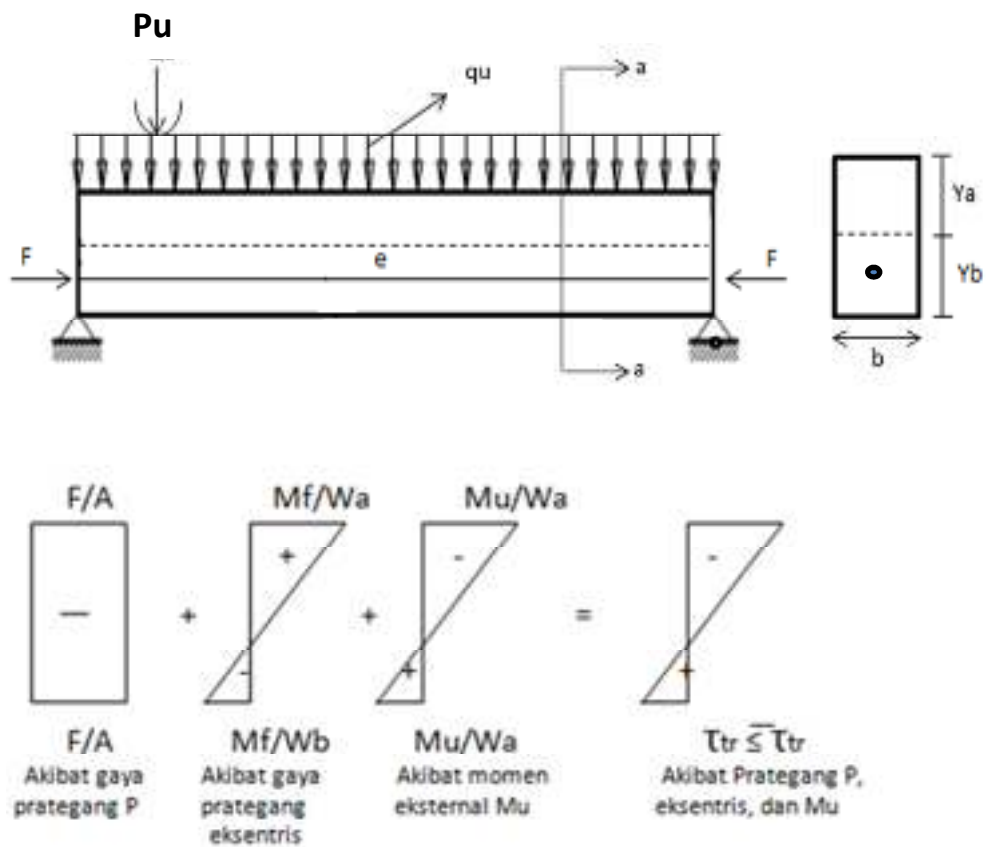
I : jarak garis netral ke serat terluar penampang

M : momen inersia penampang

Konsep Kedua :

Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Hal ini dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini (balok dengan $e \neq 0$)



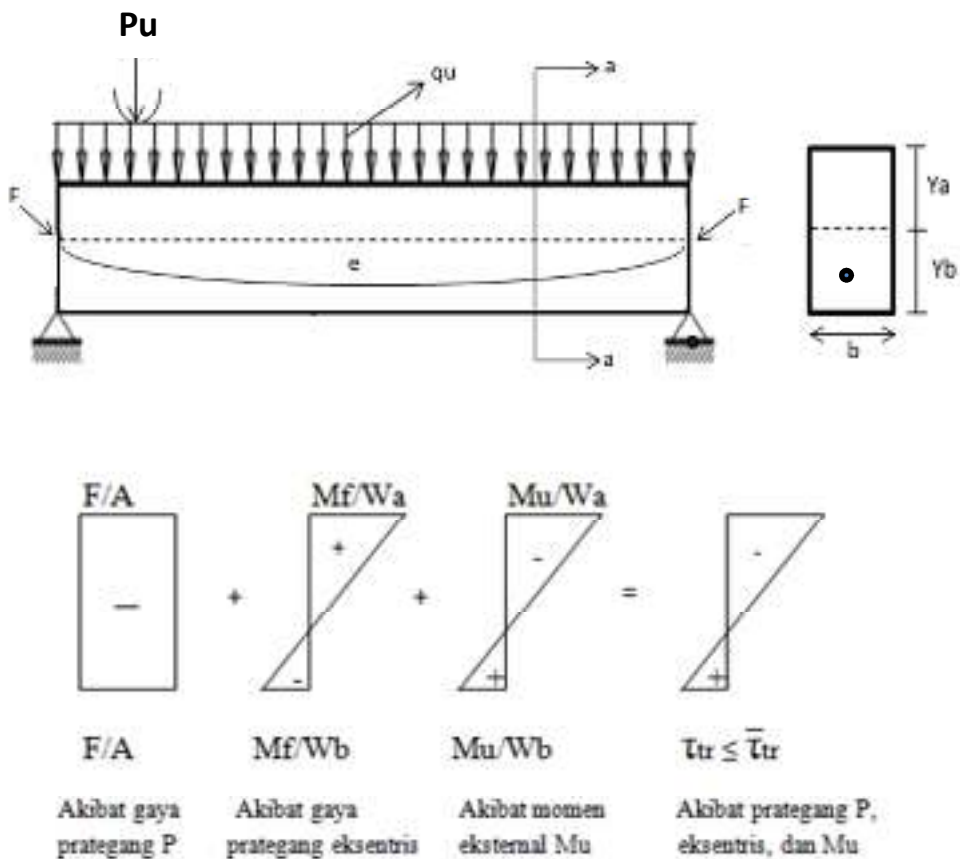
Gambar 1.2.b Diagram Gaya Prategang Kabel Lurus $e \neq 0$

Konsep ketiga :

Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan bahan.

Disini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada design struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti plat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut (balok dengan $e \neq 0$, garis melengkung)



Gambar 1.2.c Diagram Gaya Prategang Kabel Melengkung

Suatu balok beton diatas dua perletakan (*simple beam*) yang diberi gaya prategang F melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Jadi beban merata akibat beban (mengarah kebawah) diimbangi oleh gaya merata akibat prategang w_b yang mengarah keatas

Inilah tiga konsep dari beton prategang, yang nantinya dipergunakan untuk menganalisa suatu struktur beton prategang.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Untuk mengetahui hubungan atau korelasi dari eksentrisitas (e) dengan gaya prategang.

1.4. Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas adalah :

1. Menganalisis gaya prategang yang bekerja pada pusat penampang.
2. Menganalisis gaya prategang yang bekerja tidak pada pusat penampang, tetapi dengan eksentrisitas.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada :

1. Balok yang ditumpu, balok sederhana (tumpuan sendi-roll)
2. Balok penampang segi empat
3. Eksentrisitas variabel $e = 0$ dan $e \neq 0$
4. Jalur kabel lurus dan lengkung

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, maksud dan tujuan, perumusan masalah, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi uraian dasar-dasar teori beton prategang dan eksentrisitasnya

BAB III. LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang proses menganalisis gaya prategang yang bekerja pada pusat penampang maupun yang bekerja dengan eksentrisitas.

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data-data yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pembahasan pokok-pokok temuan penelitian dengan membandingkan pokok-pokok temuan dari teori yang digunakan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari keseluruhan pengamatan dan analisa data serta saran-saran yang dapat digunakan untuk pelaksanaan hasil perencanaan.

1.7. Refrensi

1. Budiadi, Andri. 2008. Desain Praktis Beton Prategang. Penerbit : Andi Yogyakarta.
2. Dipohusodo, Istimawan. 1994. Struktur Beton Bertulang. Penerbit : PT Gramedia Pustaka Utama.
3. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hindu Indonesia, Buku Ajar Struktur Beton Pratekan
4. Soetoyo. 2012. Konstruksi Beton Pratekan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Pendahuluan

Beton merupakan salah satu komponen struktur bangunan yang digunakan dalam pembangunan. Beton tersusun dari pencampuran dari bahan-bahan seperti agregat kasar, agregat halus, dengan menambahkan bahan perekat semen dan air.

Dalam perkembangannya, kekuatan beton menjadi sangat penting seiring penggunaannya dalam struktur bangunan. Untuk mencapai kekuatan beton yang direncanakan, salah satu faktornya adalah mutu bahan susun terutama semen.

Namun, karena fungsi semen sangat penting membuat harga semen menjadi paling mahal diantara bahan-bahan penyusun beton lainnya. Oleh karena itu, diperlukan bahan substitusi atau pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton kalsium karbonat, karena bahan penyusun utama dari portland cement berupa kalsium karbonat yang terkandung sebesar 60% - 65% dari bahan penyusun lainnya seperti silika, alumina, magnesia dan oksida besi.

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tariknya bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah.

Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampang suatu pendukung beban kerja, dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh.

Timbulnya tegangan tegangan runtuh menimbulkan jadinya momen karena beban luar dan tegangan tersebut merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur. Proses perencanaan atau analisis dimulai dengan memenuhi persyaratan terhadap lentur,

kemudian baru segisegi lainnya, seperti kapasitas geser, defleksi, retak, dan panjang penyaluran, dianalisis sehingga keseluruhannya memahami sayarat.

Seperti diketahui untuk bahan yang bersifat serba sama dan elastis, distribusi regangan ataupun tegangan linear berupa garis lurus dari garis linear. Dengan demikian nilai tegangannya berbanding lurus dengan nilai regangan dan hal tersebut berlaku sampai dengan dicapainya batas sebanding. Untuk bahan baja yang utuh yang umum digunakan sebagai komponen struktural, nilai batang sebanding dan nilai tegang luluh letaknya berdekatan hampir berimpit, dan nilai tegangan luntur ijin didapat dengan cara membagi tegangan luluh dengan faktor aman.

Pada struktur kayu nilai tegangan luntur ijin didapatkan dengan cara langsung dengan menggunakan faktor aman membagi terhadap tegangan luntur patah.

Seperti yang telah diketahui bahwa beton adalah suatu material yang tahan terhadap tekanan, akan tetapi tidak tahan terhadap tarikan. Dengan mengkombinasikan antara beton dan baja dimana beton yang menahan tekanan sedangkan tarikan ditahan oleh baja akan menjadi material yang tahan terhadap tekanan dan tarikan yang dikenal sebagai beton bertulang (reinforced concrete).

Pada beton bertulang, beton hanya memikul tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik dipikul oleh baja sebagai penulangan. Sehingga pada beton bertulang, penampang beton tidak dapat efektif 100% digunakan, karena bagian yang tertarik tidak diperhitungkan sebagai pemikul tegangan.

Gaya tarik pada beton bertulang dipikul oleh besi penulangan. Kelemahan lain dari konstruksi beton bertulang adalah berat sendiri yang besar, yaitu 2.400 kg/m^3 , dapat dibayangkan berapa berat penampang yang tidak di perhitungkan untuk memikul tegangan bagian tarik.

Untuk mengatasi ini pada beton diberi tekanan awal sebelum beban-beban bekerja, sehingga seluruh penampang beton dalam keadaan tertekan seluruhnya, inilah yang kemudian disebut beton pratekan atau beton prategang (prestressed concrete).

Cara bekerja beton bertulang adalah mengkombinasikan antara beton dan baja tulangan dengan membiarkan kedua material tersebut bekerja sendiri-sendiri, dimana beton bekerja memikul tegangan tekan dan baja penulangan memikul tegangan tarik. Jadi dengan menempatkan penulangan pada tempat yang tepat, beton bertulang dapat sekaligus memikul baik tegangan tekan maupun tegangan tarik.

Pada beton pratekan, kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan cara aktif, sedangkan beton bertulang kombinasinya secara pasif. Cara aktif ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya kebeton, sehingga beton dalam keadaan tertekan.

Penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat di eliminir oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas memperkuaa dan menahaan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerja sama seperti itu disebut sebagai beton bertulang baja disebut beton bertulang saja.

Dalam perkembangannya didasarkan tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering juga dijumpai beton dan tulang baja berama sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekanan.

Dengan sendirinya untuk mengtur kerjasama antara dua macam bahan yang berbedah sifat dan perilakunya dalam rangka membentuk satu kesatuan perilaku sruktual yang berbedah sifat dan perilakunya dalam rangka membentuk satu kesatuan perilaku struktual untuk mendukung beban, diperlukan cara hitungan berbedah dengan apabila hanya digunakan dengan satu macam bahan saja seperti halnya pada struktur baja, kayu, alumunium, dan sebagainya.

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya bantuan penguatan penulangan yang pertama akan mengembangk tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem.

Untuk penulangan keperluan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang menguntungkan, dan baja tulang yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran ataupun kawat rangkai las, yang berupa batang kawat baja yang dirangkai dengan teknik pengelasan, yang terakhir terutama dipakai untuk plat atau cangkangan tipis atau struktur lain yang tidak memiliki waktu cukup bebas untuk pemasangan tulang, jarak spasi, dan selimut beton sesuai dengan persyaratan.

Pada umumnya, bahan batang baja rangkai dengan pengelasan yang dimaksud, didapat dari hasil penarikan baja pada suhu dingin dan dibentuk dengan pola ortogonal, bujur sangkar, atau persegi empat, dengan dilas pada semua titik pertemuannya.

Agar dapat berlangsung lekatan erat antar baja tulang dengan beton selain batang polos berpenampang bulat juga digunakan batang deformasian yaitu batang tulang baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip pada pola tertentu atau batang tulang pada produksinya pola permukaan dikasarkan atau pola sirip sangat beragam tergantung pada mesin giling.

Pada beton bertulang, diasumsikan bahwa kuat tarik beton dapat diabaikan. Hal ini disebabkan gaya tarik yang berasal dari momen lentur ditahan oleh lekatan yang terjadi antara tulangan dan beton.

Dengan demikian, retak dan defleksi pada dasarnya tidak dapat kembali didalam beton bertulang apabila komponen struktur tersebut telah mencapai kondisi batas pada saat mengalami beban kerja. Tulangan didalam komponen struktur beton bertulang tidak memberikan gaya dari dirinya pada komponen struktur tersebut.

Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen struktural. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan torsional penampang tersebut.

Penampang dapat secara efektif dimanfaatkan diseluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut. Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horisontal transien.

Jenis pemberian gaya prategang, bersama besarnya, ditentukan terutama berdasarkan jenis sistem yang dilaksanakan dan panjang bentang serta kelangsingan yang dikehendaki. Karena gaya prategang diberikan secara longitudinal disepanjang atau sejajar dengan sumbu komponen struktur, maka prinsip-prinsip prategang dikenal sebagai pemberian prategang.

Dari pembahasan sebelum ini, jelaslah bahwa tegangan permanen di komponen struktur prategang diberikan sebelum seluruh beban mati dan beban hidup bekerja, agar tegangan tarik netto yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut dapat dieliminasi atau sangat dikurangi.

Suatu hal yang berlawanan dengan aksi baja prategang. Baja yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya prategang didalam komponen struktur prategang secara aktif memberi beban awal pada komponen struktur, sehingga memungkinkan terjadinya pemulihan retak dan defleksi. Apabila kuat tarik lentur beton dilampaui, komponen struktur prategang mulai beraksi seperti elemen beton bertulang.

Dengan mengontrol besarnya prategang, suatu sistem struktur dapat dibuat fleksibel atau kaku tanpa mempengaruhi kekuatannya. Pada beton bertulang,

perilaku yang fleksibel seperti ini sangat sulit dicapai apabila pertimbangan ekonomi perlu dimasukkan dalam desain.

Komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang.

Dengan demikian, komponen struktur prategang membutuhkan lebih sedikit beton, dan sekitar 20 sampai 35 persen banyaknya tulangan. Sayangnya, penghematan pada berat material ini harus dibayar dengan tingginya harga material bermutu tinggi yang dibutuhkan dalam pemberian prategang itu sendiri menimbulkan tambahan harga.

Cetakan untuk beton prategang menjadi lebih kompleks, karena geometri penampang prategang biasanya terdiri atas penampang bersayap dengan beberapa badan yang tipis.

Apabila bentang balok dari beton bertulang melebihi 70 sampai 90 ft, maka beban mati balok tersebut menjadi sangat berlebihan, yang menghasilkan komponen struktur yang lebih berat dan akibatnya retak dan defleksi jangka panjang yang lebih besar. Jadi, untuk bentang panjang, beton prategang merupakan keharusan karena pembuatan pelengkung mahal dan tidak dapat berperilaku dengan baik akibat adanya rangkai dan susut jangka panjang yang dialaminya. Bentang yang sangat besar, seperti jembatan hanya dapat dilaksanakan dengan menggunakan beton prategang.

2.2.Asumsi Dasar

Dalam analisis lentur untuk suatu komponen struktur beton prategang berlaku asumsi berikut ;

1. Variasi regangan pada penampang adalah linear, yaitu regangan di beton dan baja yang melekat padanya dihitung berdasarkan asumsi bahwa penampang bidang datar selalu tetap.

2. Beton tidak menerima tegangan tarik. Hal ini berlaku untuk struktur dengan prategang penuh (*fully prestressed*). Pada struktur dengan prategang sebagian (*partially prestressed*), tegangan tarik terbatas bisa saja terjadi pada penampang.
3. Tegangan tekan pada beton dan baja (baik baja tulangan maupun kabel) didapat dari hubungan tegangan dan regangan yang aktual atau diidealkan.

Untuk analisis awal, terutama dalam menentukan dimensi penampang dan level dari prategang, digunakan metode penjumlahan tegangan pada daerah-daerah kritis. Harga penjumlahan tegangan harus lebih kecil dari tegangan izin material. Analisis lanjutan untuk menentukan kondisi struktur dilakukan dengan analisis penampang, baik untuk penampang tidak retak (utuh) maupun penampang retak. Apabila beban batas (*ultimate*) bekerja, analisis mengenai perilaku penampang retak dilakukan dengan mempertimbangkan ketidak-elastisan material.

Hal yang utama dalam desain suatu komponen struktur beton prategang adalah perhitungan tentang kekuatan lentur. Disamping itu, daktilitas dari setiap penampang juga harus dicek. Kriteria tentang daktilitas juga penting dalam desain penampang suatu komponen struktur karena struktur yang daktail akan mengalami deformasi yang panjang sebelum akhirnya mengalami keruntuhan.

Pada beton prategang, baja sebelumnya ditarik terlebih dahulu untuk mencegah terjadinya pemanjangan yang berlebihan pada saat pembebanan, sementara beton ditekan terlebih dahulu untuk mencegah retak-retak akibat tegangan tarik. Dengan memanfaatkan momen sekunder akibat stressing untuk mengimbangi momen akibat beban luar tinggi komponen beton prategang berkisar antara 65% sampai 80% tinggi komponen beton bertulang pada bentang dan beban yang sama, dengan demikian beton prategang membutuhkan lebih sedikit beton dan sekitar 20% sampai 30% banyaknya tulangan.

2.3. Material Beton Prategang

1. Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran (*admixture*) (SNI 2847:2013). Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik pada usia 28 hari atau f'_c .

Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi f'_c antara 30-45 Mpa. Kuat tekan tersebut diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkutan tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Budiadi, 2008). Perubahan bentuk pada beton adalah langsung dan tergantung waktu. Pada beban tetap perubahan waktu dan jauh lebih besar dibanding harga langsungnya. Pengembangan regangan waktu disebabkan oleh susut dan rangkai. Susut tidak disebabkan oleh tegangan, tapi merupakan akibat dari hilangnya air dalam proses pengeringan beton, sementara rangkai disebabkan oleh bekerjanya tegangan.

2. Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu tinggi hingga 270.000 psi atau lebih. Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan di beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan.

Baja Prategang adalah elemen baja mutu tinggi seperti kawat, batang, atau strand, atau bundel elemen seperti itu, yang digunakan untuk menyalurkan gaya prategang ke beton (SNI 2847:2013). Baja prategang dapat berbentuk kawat-kawat tunggal, *strand* yang terdiri atas beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal dan batang-batang bermutu tinggi.

Baja yang dipakai untuk beton prategang dalam praktik ada empat macam, yaitu :

- a) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik.

- b) Untaian kawat (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang untuk beton prategang dengan sistem pascatarik.
- c) Kawat batangan (*bars*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik.

Kawat-kawat atau strands yang tidak *stress-relieved*, seperti kawat-kawat diluruskan atau kawat-kawat berpelumas yang sering digunakan di negara-negara lain, akan mengalami kehilangan relaksasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawat-kawat atau *strands* berjenis *stress-relieved*. Dengan demikian, besarnya kehilangan yang sesuai perlu diperhitungkan secara benar setelah jenis baja prategang yang dibutuhkan ditetapkan.

3. *Grouting*

Grouting adalah bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) pada beton prategang yang menggunakan metode pascatarik. *Grouting* terdiri dari semen portland dan air atau semen portland pasir dan air (SNI 2847:2013).

4. Selubung (*Sheathing*)

Selubung adalah material yang melingkupi baja prategang yang mencegah lekatan baja prategang dengan beton yang mengelilinginya, menyediakan perlindungan korosi dan mengandung pelapis (*coating*) pencegah korosi (SNI 2847:2013).

2.4. Metode Perencanaan Beton Prategang

Ada 3 metode perencanaan beton prategang, yaitu ;

1. *Working stress method* (metode beban kerja)

Prinsip perencanaan disini ialah dengan menghitung tegangan yang terjadi akibat pembebanan (tanpa dikalikan dengan faktor beban) dan membandingkan dengan tegangan yang diijinkan. Tegangan yang diijinkan dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*oversitas factor*) dan jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan tersebut, maka struktur dinyatakan aman.

2. *Limit state method* (metode beban batas)

Prinsip perencanaan disini didasarkan pada batas-batas tertentu yang dapat dilampaui oleh suatu sistim struktur. Batas-batas ini ditetapkan terutama terhadap kekuatan kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap beban api, kelelahan dan persyaratan-persyaratan khusus yang berhubungan dengan penggunaan struktur tersebut. Dalam menghitung beban rencana maka beban harus dikalikan dengan suatu faktor beban (*load factor*), sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan (*reduction factor*).

Kombinasi pembebanan untuk Tahap Batas Kekuatan (*Strength Limit State*) adalah :

Berdasarkan SNI 03-2874-2002

- | | |
|--|-------|
| 1. $U = 1,4 D$ | 2.1.a |
| 2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$ | 2.1.b |
| 3. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$ | 2.1.c |
| 4. $U = 0,9 D \pm 1,6 L$ | 2.1.d |
| 5. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$ | 2.1.e |
| 6. $U = 0,9 D \pm E$ | 2.1.f |

Dimana : U = Kuat perlu

D = Dead Load

L = Live Load

A = Beban Atap

R = Beban air hujan

W = Beban angin

E = Beban Gempa

3. *Load Balancing Method*

Jika tendon dibentuk melengkung maka seluruh panjang kabel akan menghasilkan gaya yang searah dengan kelengkungan (*transverse force* = gaya ke atas).

Gaya ke atas tersebut adalah gaya terbagi merata yang sama sepanjang kabel.

Untuk kabel yang parabolis dengan kelengkungan yang konstan, jika harga gaya prategang P konstan maka gaya merata ke atas akibat pratekan adalah :

$$w_p = P \cdot k_p = \frac{8 P \cdot e}{8} \quad 2.2$$

Dimana e adalah eksentrisitas kabel dan L panjang bentang. Harga w_p inilah yang disebut sebagai *balanced load*.

2.5. Perhitungan Tegangan Beton Prategang

Perhitungan tegangan pada beton prategang harus memperhitungkan hal-hal sebagai berikut :

1. Kondisi pada saat transfer gaya prategang awal dengan beban terbatas (dead load dan beban konstruksi).
2. Kehilangan gaya prategang. Untuk perhitungan awal kehilangan gaya prategang ini biasanya ditentukan 25% untuk sistem pratarik (*pre-tension*) dan 20% untuk sistem pascarik (*post-tension*).
3. Pada kondisi servis dengan gaya prategang efektif (sudah diperhitungkan kehilangan gaya prategangnya) dan beban maksimum (beban mati, beban hidup dan pengaruh-pengaruh lain).
4. Perlu diperhitungkan pengaruh-pengaruh lain yang mempengaruhi struktur beton prategang seperti adanya pengaruh sekunder pada struktur statis tak tentu, pengaruh P delta pada gedung bertingkat tinggi, serta perilaku struktur dari awal sampai waktu yang ditentukan

2.6. Tata Letak Tendon

Tata letak tendon dipengaruhi oleh besar momen pada setiap titik yang berarti eksentrisitas kabel e berubah sesuai dengan besar momen. Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan sebagai berikut :

1. Batas bawah didasarkan saat transfer, agar tegangan pada serat atas \leq tegangan ijin.
2. Batas atas didasarkan saat layan. Jika tendon diletakkan di luar batas

ini, maka beban yang dapat dipikul berkurang atau tegangan serat bawah yang terjadi \geq tegangan ijin.

2.7. Daerah Batas Eksentrisitas Disepanjang Bentang Balok

Eksentrisitas rencana tendon disepanjang bentangan balok haruslah sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang timbul pada serat penampang yang dikontrol atau ditinjau terbatas atau tidak ada sama sekali.

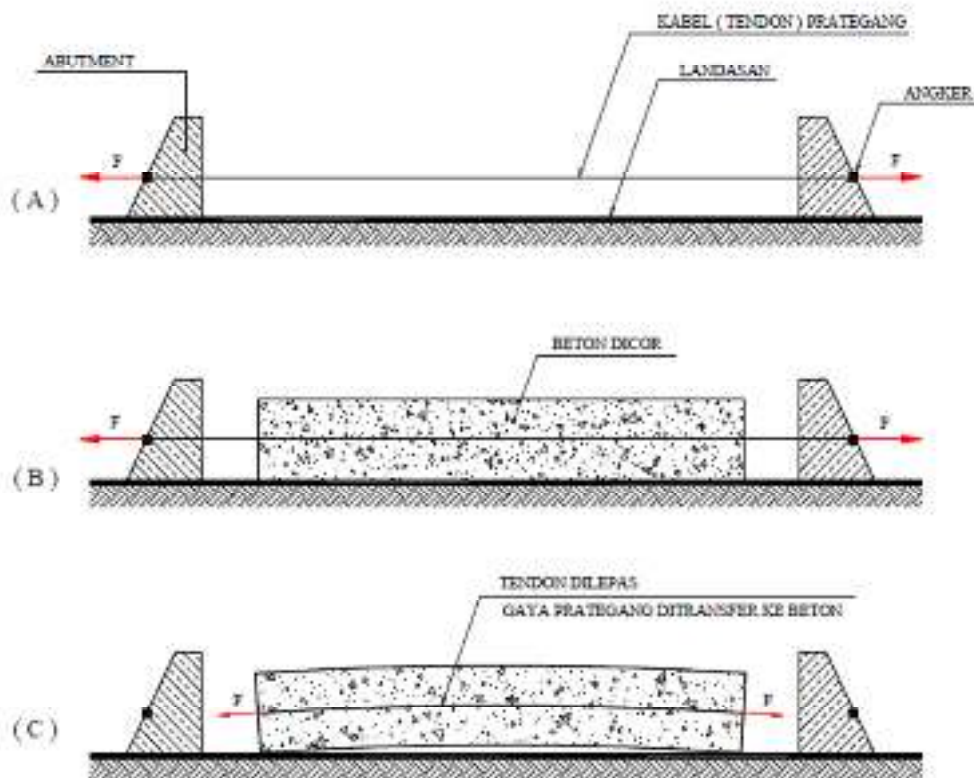
Tegangan tarik dengan batasan nilai tertentu biasanya diijinkan oleh beberapa peraturan yang ada, baik pada saat transfer maupun pada saat kondisi layan.

2.8. Metode Prategangan

Pada dasarnya ada 2 macam metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

1. Pratarik (Pre-Tension Method)

Adapun prinsip dari pratarik ini secara singkat adalah sebagai berikut :



Tahap 1 : Kabel (tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap.

Tahap 2 : Beton dicor pada cetakan (formwork) dan landasan yang sudah disediakan sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering.

Tahap 3 : Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis tergantung pada rasio antara modulus elastisitas beton dan tegangan beton dimana baja terletak. Jika gaya prategang ditransfer ke beton, maka beton akan memendek dan diikuti dengan perpendekan baja prategang yang mengikuti perpendekan beton tersebut.

Dengan adanya perpendekan baja prategang maka akan menyebabkan terjadinya kehilangan tegangan yang ada pada baja prategang tersebut. Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut pretension method.

Setelah gaya prategang ditransfer kebeton, balok beton tersebut akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut akan rata.

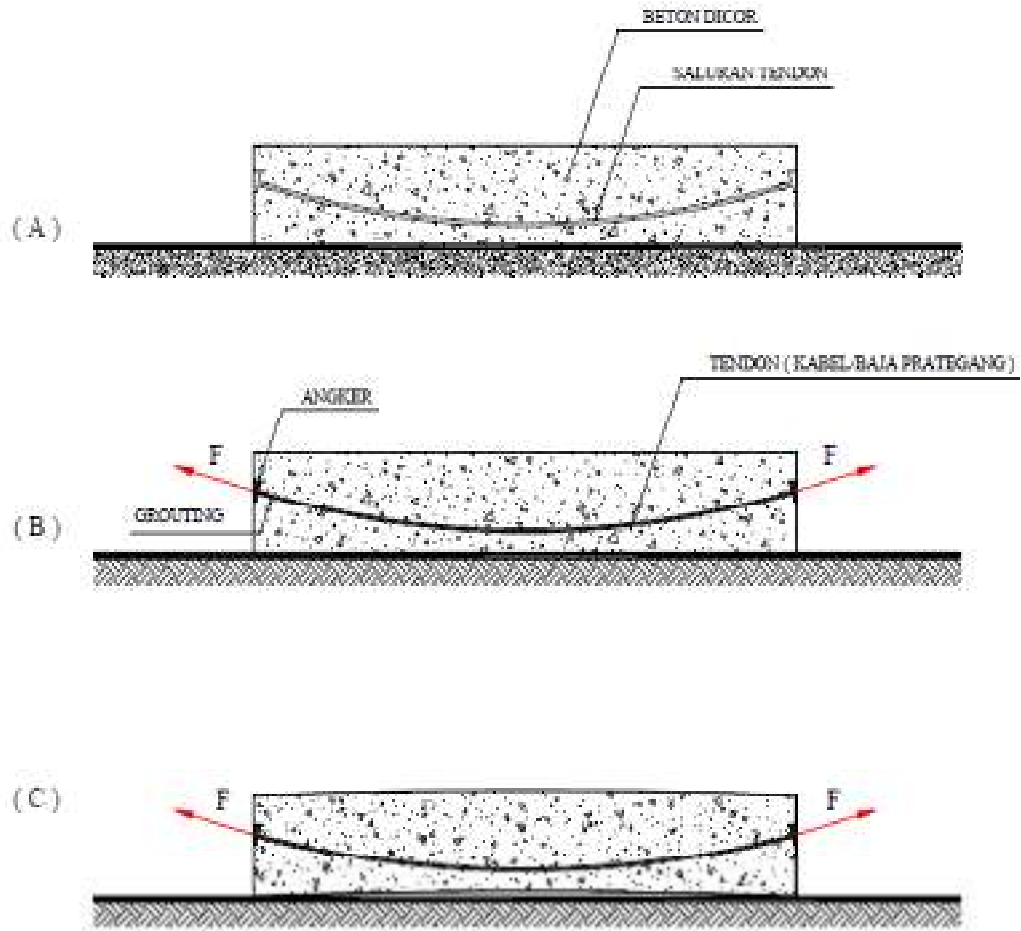
2. Pascatarik (Post-Tension Method)

Pada metode ini yang hanya menggunakan kabel tunggal tidak ada kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton, karena gaya prategang diukur setelah perpendekan elastis beton terjadi.

Jika kabel prategang menggunakan lebih dari satu kabel, maka kehilangan gaya prategang ditentukan oleh kabel yang pertama di tarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan harga rata-rata semua kabel.

Pada metode pascatarik beton lebih dulu dicor, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut duct.

Secara singkat metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



- Tahap 1 : Dengan cetakan (formwork) yang telah disediakan lengkap dengan saluran kabel prategang (tendon duct) yang dipasang melengkung sesuai momen balok beton cor.
- Tahap 2 : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong, kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian kedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan.
- Tahap 3 : Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer kebeton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan

beban merata kebalok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas.

2.9. Tahap Pembebanan

Beton prategang ada dua tahap pembebanan, tidak seperti pada beton bertulang biasa. Pada setiap tahap pembebanan harus selalu diadakan pengecekan atas kondisi pada bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik untuk setiap penampang.

Dua tahap pembebanan pada beton prategang adalah :

1. Tahap Service

Untuk metode pratarik, tahap transfer ini terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang. Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan, sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, jadi beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

2. Tahap Service

Setelah beton prategang digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ketahap service atau tahap layan dari beton prategang tersebut. Pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan didalam analisa strukturnya.

Pada setiap tahap pembebanan pada beton prategang harus selalu dianalisis terhadap kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan ijin, nilai retak terhadap nilai batas yang diijinkan. Perhitungan untuk tegangan dapat dilakukan dengan pendekatan kombinasi pembebanan, konsep kopel internal (*internal couple concept*) atau metode beban penyeimbang (*load balancing method*).

3.0. Tata Letak Kabel

Kabel didesain sesuai gaya konsentris atau eksentris, hal ini bertujuan untuk mencegah berkembangnya retak, yaitu dengan cara mengurangi tegangan tarik ditumpuan dan daerah kritis pada saat kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang struktur. Penampang dapat berperilaku elastis dan hampir semua kapasitas beton yang memikul tekan dapat secara efektif dimanfaatkan diseluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja distruktur.

3.1. Tegangan Yang Diijinkan Pada Kabel Prategang

Tegangan tarik pada kabel tidak boleh melebihi (sesuai ACI dan SNI) :

- Akibat gaya penarikan (*jacking*) :
Tegangan tarik pada kabel tidak boleh melebihi $0,94 f_{py}$ dan harus lebih kecil dari : - $0,80 f_{pu}$
 - Nilai maksimum yang direkomendasikan oleh produsen kabel.
- Segera setelah transfer gaya prategang
Tegangan tarik pada kabel tidak boleh melebihi $0,82 f_{py}$ dan tidak boleh lebih besar dari : $0,74 f_{pu}$.

3.2. Keuntungan Penggunaan Kabel Draped (Lengkung) dan Harped

Kabel lurus banyak digunakan pada balok pracetak dengan bentang sedang, sedangkan penggunaan kabel lengkung lebih umum digunakan pada elemen pascatarik yang dicor ditempat.

Kabel yang tidak lurus ada dua jenis :

- Draped : mempunyai alinyemen lengkung secara gradual, seperti bentuk parabolik, yang digunakan pada balok yang mengalami beban eksternal terbagi rata.

- Harped : kabel miring dengan diskontinuitas alinyemen di bidang-bidang dimana terdapat beban terpusat, digunakan pada balok yang terutama mengalami beban transversal terpusat.

3.3. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang itu adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan.

Secara umum kehilangan gaya prategang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Immediate Elastic Losses*

Ini adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung ini disebabkan oleh :

- Perpendekan Elastic Beton.
- Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang kelengkungan dari tendon, ini terjadi pada beton prategang dengan sistem *post-tension*.
- Kehilangan pada sistem angkur, antara lain akibat slip diangkur.

2. *Time Dependent Losses*

Ini adalah kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu, yang mana hal ini disebabkan oleh :

- Rangkak (*creep*) dan susut pada beton
- Pengaruh temperatur
- Relaksasi baja prategang

Karena banyaknya faktor yang saling terkait, perhitungan kehilangan gaya prategang (losses) secara eksak sangat sulit untuk dilaksanakan, sehingga banyak dilakukan metoda pendekatan, misalnya metoda lump-sum (AASHTO), PCI method dan ASCEACI method.

3.4. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Geseran Sepanjang Tendon

Pada struktur beton prategang dengan kabel yang dipasang melengkung ada gesekan antara sistem penarik dan angkur, sehingga tegangan yang ada pada kabel atau kabel prategang sehingga akan lebih kecil dari pada bacaan

pada alat baca tegangan.

Kehilangan prategang akibat gesekan pada kabel akan sangat dipengaruhi oleh:

- Pergerakan dari selongsong kabel prategang, untuk itu dipergunakan koefisien wobble K .
- Kelengkungan kabel prategang, untuk itu digunakan koefisien geseran μ .

3.5. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip di Pengangkuran

Hal ini terjadi pada saat kabel prategang di lepas dari mesin penarik kemudian kabel ditahan oleh baji dipengangkuran dan gaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke angkur. Besarnya slip pada pengangkuran ini tergantung pada type baji dan tegangan pada kabel prategang. Slip dipengangkuran itu rata-rata biasanya mencapai 2.5 mm

3.6. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak

Kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh rangkak dari beton ini merupakan salah satu kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian.

Rangkak ada beton ini terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton sebagai fungsi dari waktu. Pada struktur beton prategang rangkak mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang.

3.7. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Penyusutan Beton

Seperti telah dipelajari dalam beton teknologi, penyusutan beton dipengaruhi oleh :

- Rasio antara volume beton dan luas permukaan beton
- Kelembaban relatif waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang

3.8. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja Prategang

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal dan prategang akhir.

3.9. Tahap Pembebanan Pada Balok Prategang

1. Gaya prategang awal pada kondisi transfer, yaitu pada saat gaya prategang ditransfer dari kabel ke beton.
2. Beban mati total W_D dapat di asumsikan bekerja bersama-sama jika balok di tumpu sederhana.
3. Perlu dipertimbangkan jika ada beban mati tambahan seperti beban pekerja, peralatan dll.
4. Akibat kehilangan gaya prategang jangka pendek menyebabkan gaya prategang menjadi efektif.
5. Pada saat layan diperhitungkan beban-beban hidup, beban gempa dll. Pada saat ini akibat kehilangan gaya prategang akibat pengaruh waktu gaya prategang efektif.
6. Beban lebih pada kondisi-kondisi tertentu, hal ini mengarah pada kondisi batas pada keadaan unlimited.

Hal – hal yang harus dihindari :

- a) Pada saat operasi penarikan kabel
 - Putusnya kabel
 - Gagalnya angkur
- b) Pada transfer gaya prategang
 - Retak beton akibat gaya prestress

- Retak pada daerah angker
- c) Pada kondisi layan
- Putusnya kabel
 - Retak yang berlebihan
- d) Pada kondisi beban atas
- Retak beton
 - Keruntuhan geser

4.0. Daerah Batas Penempatan Kabel

Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang di ijinakan oleh peraturan yang ada.

Oleh karena itu perlu ditentukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya prategang dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton.

4.1. Pola Tegangan Balok Beton Prategang

Pola tegangan yang terjadi pada penampang balok beton prategang direncanakan dengan cara meninjau tegangan akibat gaya dan beban yang bekerja pada tahap-tahap tertentu, yaitu pada saat awal atau transfer (pelimpangan tegangan awal), dan tahap akhir (pelayanan beban kerja).

Untuk kepentingan analisis dan perhitungan diperlukan kesepakatan perjanjian ganda, untuk tegangan tarik dipakai tanda positif (+), dan untuk tegangan desak adalah negative (-).

Dengan menganggap bahwa penampang bebas retak pada tingkat beban kerja, maka seluruh penampang diperhitungkan efektif, memikul tegangan yang timbul sehingga seluruh ruas beton diperhitungkan dalam menentukan kedudukan pusat berat dan moment inersial penampang.

Untuk tujuan menerangkan dan menjelaskan mengenai tegangan – tegangan yang timbul, sebagai contoh digunakan untuk balok empat persegi, panjang dengan kedudukan kabel tepat dipusat berat penampang. Meskipun didalam praktek banyak juga digunakan bentuk persegi, seringkali bentuk tersebut memberikan hasil yang kurang ekonomis dibandingkan dengan bentuk lainnya yang lebih kompleks, misalnya bentuk balok T, balok I, dan sebagainya.

Jadi dengan demikian apabila diberikan tambahan beban yang mengakibatkan moment positif, seperti beban hidup, sampai batas tertentu masih mampu di tahan balok tanpa timbul tegangan tarik dibagian bawah.

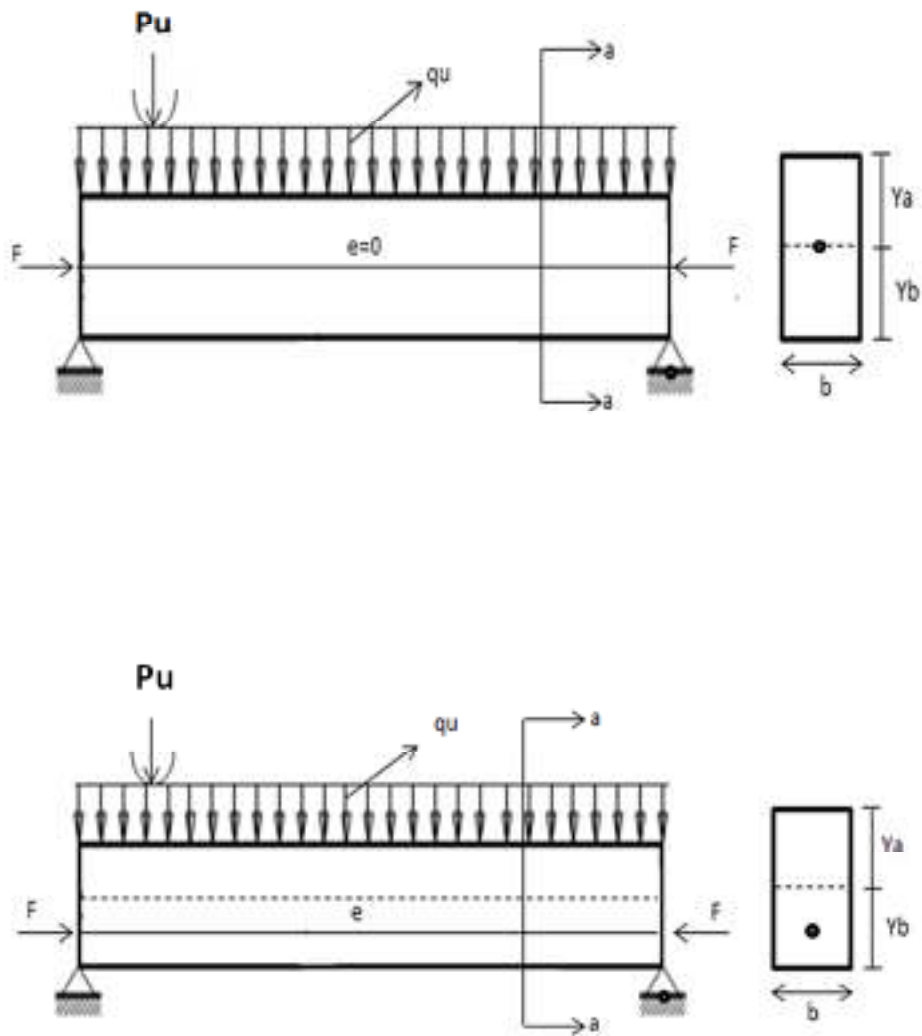
Oleh karena itu, untuk balok bentang sederhana dimana gaya prategangnya bekerja eksentris, tegangan – tegangan yang timbul akibat gaya prategang awal tidak akan timbul sendirian tanpa diikuti tegangan yang arahnya berlawanan dari moment akibat beban mati.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Jalur Kabel

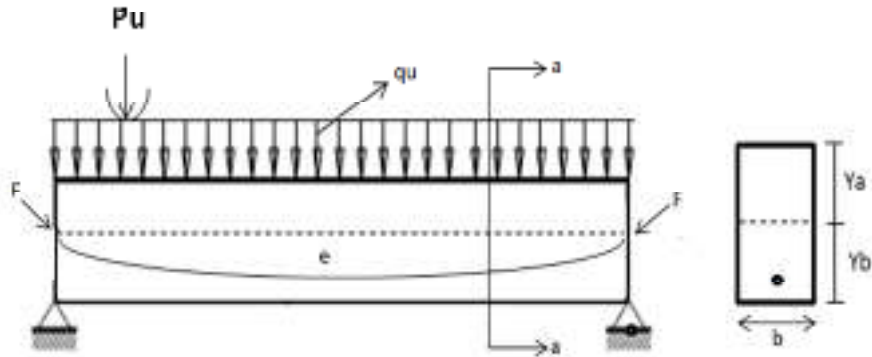
Jalur kabel :

1. Lurus



Gambar 3.1.a Jalur Kabel Lurus

2. Melengkung



Gambar 3.1.b Jalur Kabel Melengkung

3.2. Pemberian Gaya Prategang Untuk $e = 0$

Dalam analisa elastis, tegangan-tegangan yang dialami bahan (beton dan baja) masih berada dalam keadaan elastis. Hukum Hooke berlaku sepenuhnya. Perjanjian yang digunakan :

f_{tr} : Tegangan tarik beton yang diijinkan

f_{ti} : Tegangan tekan beton yang diijinkan

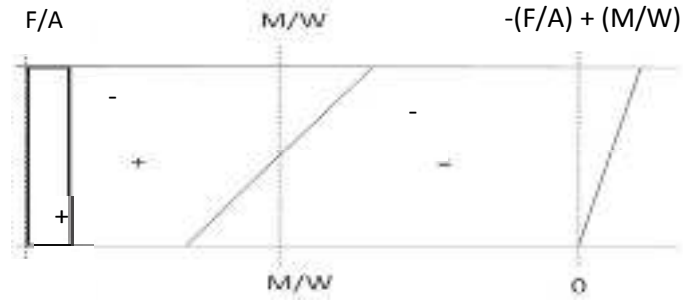
F : Gaya Prategang

e : Eksentrisitas gaya prategang terhadap titik berat penampang yang tidak retak.

Tegangan diserat bawah adalah tegangan tarik . Karena beton tidak kuat menahan tegangan tarik maka tegangan tarik $f_{ti} = 0$.

Berikut adalah diagaram gaya – gaya yang terjadi pada balok prategang jalur kabel lurus dengan $e = 0$:

Pu



Gambar 3.2.b Gaya Prategang Kabel Lurus $e = 0$

$$f_{ta} = -\frac{F}{A} + \frac{Mu}{Wa} \quad 3.1$$

$$f_{tb} = -\frac{F}{A} + \frac{Mu}{Wb} = 0 \quad 3.2$$

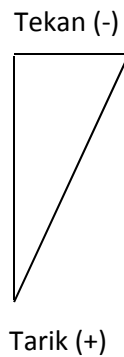
$$Mu = \frac{1}{4} Pu L + \frac{1}{8} q_u L^2 \quad 3.3$$

$$q_u = 1,2 q_D + 1,6 q_L \quad 3.4$$

Catatan asumsi tanda :

Tegangan tekan diberi tanda negatif (-)

Tegangan tarik diberi tanda positif (+)



3.3. Pemberian Gaya Prategang Untuk $e \neq 0$

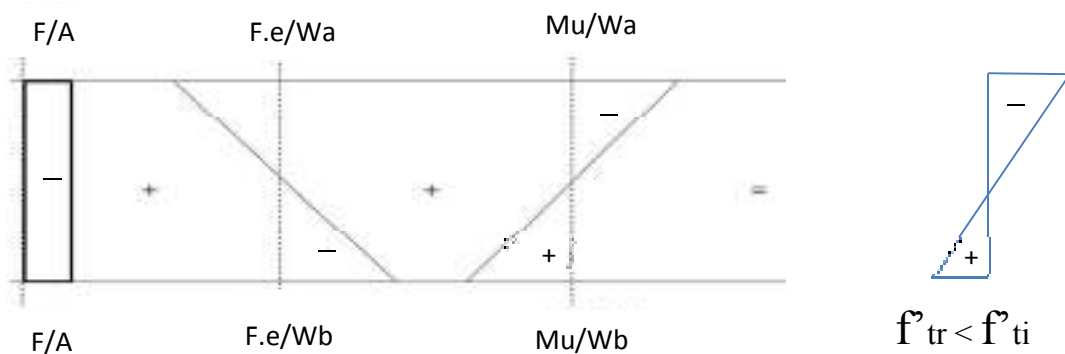
Pemberian gaya prategang pada beton prategang akan memberikan tegangan tekan pada penampang.

Tegangan ini memberikan perlawanan terhadap beban luar yang bekerja. Gaya prategang diatur sesuai tegangan terhadap beban luar yang bekerja.

Gaya prategang diatur sesuai tegangan ijin dari fiber-fiber kritis. Pengaturan posisi penegangan pada penampang akan memberikan keuntungan lebih.

Apabila gaya prategang bekerja tidak pada pusat penampang, tetapi dengan eksentrisitas, maka ada tambahan tegangan akibat eksentrisitas tersebut.

Berikut



Gambar 3.3.b Gaya Prategang Kabel Lurus $e \neq 0$

Tegangan akibat prategang adalah :

$$\frac{F}{A} + \frac{M_u \cdot e}{W} \quad 3.5$$

Tegangan akibat beban luar termasuk berat sendiri :

$$\frac{M_f}{W} \quad 3.6$$

Resultan tegangan diserat tarik dibuat sama dengan nol untuk struktur *fully prestressed* (prategang penuh) disesuaikan dengan tegangan ijinnya. Diserat, tekan tegangan tidak boleh melebihi tekan tegangan yang diijinkan. Dengan demikian tegangan diserat tertekan adalah :

$$f_b = -\frac{F}{A} + \frac{M_f}{Wb} + \frac{M_u}{Wb}$$

$$f_b = -\frac{F}{A} + \frac{F \cdot e}{Wb} + \frac{M_u}{Wb} \quad 3.8$$

Dimana :

f_b : Tegangan diserat tertekan/bawah (Mpa = N/mm²)

F : Gaya prategang (N)

e : Eksentrisitas penampang (mm)

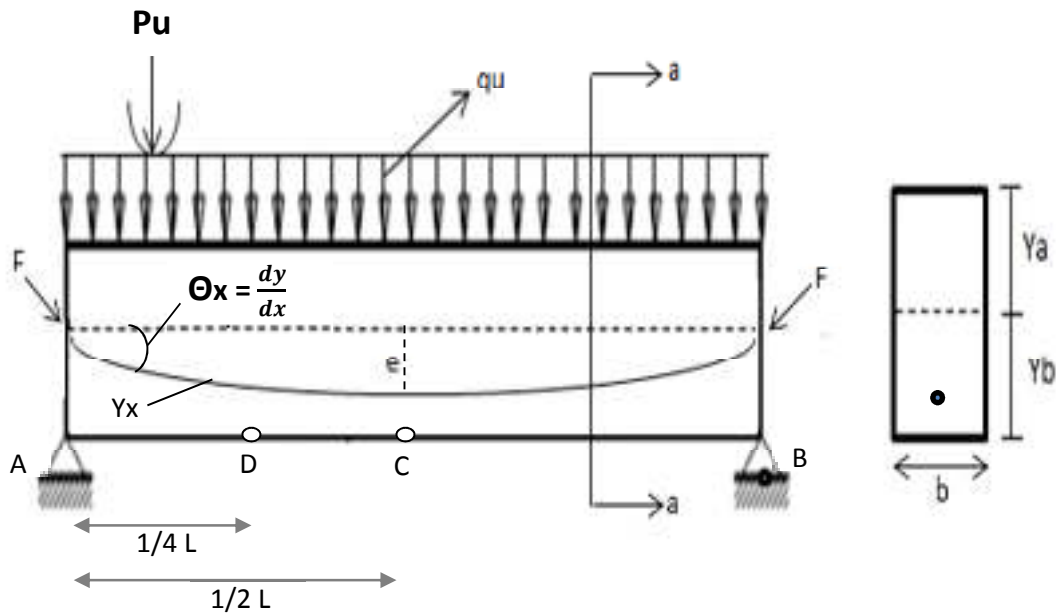
Mu : Momen akibat beban luar (N.mm)

Wb : Momen tahan (mm³)

Dengan mengatur besar F dan eksentrisitas sedemikian rupa, dapat diperoleh sehingga f_a dan f_b adalah tegangan tekan, artinya seluruh penampang mengalami tegangan tekan.

Gaya F, yang selanjutnya disebut gaya pratekan, dihasilkan dengan menarik/menegangkan kabel bermutu tinggi yang dipasangkan didalam balok beton. Setelah gaya tarik cukup besar sesuai dengan kebutuhan, ujung-ujung kabel diangkur kuat, dan tarikan dilepaskan. Oleh karena regangan kabel tertahan pada angka diujung balok, hasilnya balok mengalami tekanan sebesar F.

3.4. Pemberian Gaya Prategang Untuk Kabel Melengkung

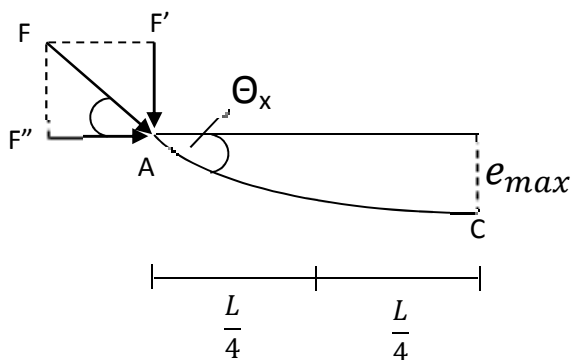


Jalur lengkung, $e_{max} = \frac{1}{2} h - 10$

$$Y = -\frac{4}{L} \cdot e_{max} \cdot \left(\frac{x^2}{L} - x \right)$$

Putaran sudut (Q_x):

$$\theta_x = \frac{dy}{dx} = -\frac{4}{L} \cdot e_{max} \cdot \left(\frac{2x}{L} - 1 \right)$$



a) Untuk $x = 0$; θ_x

$$\sin \theta = \frac{F'}{F} ; \quad F' = F \cdot \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{F''}{F} ; \quad F'' = F \cdot \cos \theta$$

b) Untuk $x = L/4$; θ_x

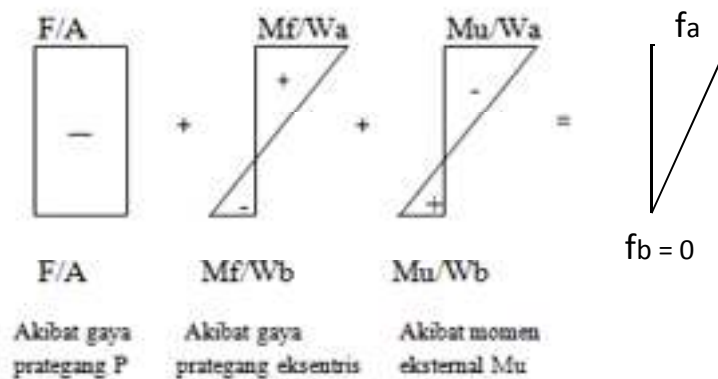
$$\sin \theta = \frac{F'}{F} ; \quad F' = F \cdot \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{F''}{F} ; \quad F'' = F \cdot \cos \theta$$

c) Untuk $x = \frac{L}{2}$; θ_x

$$\sin \theta = \frac{F'}{F} ; \quad F' = F \cdot \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{F''}{F} ; \quad F'' = F \cdot \cos \theta$$



a) Untuk $x = 0$

$$f_b = -\frac{F}{A} - \frac{M_f}{W_b} + \frac{M_u}{W_b} = 0$$

b) Untuk $x = \frac{L}{4}$

$$M_{fD} = F'' \cdot e + F' \cdot L/2$$

$$f_b = -\frac{F}{A} - \frac{M_{fD}}{Wb} + \frac{M_u}{Wb} = 0$$

c) Untuk $x = 1/2$

$$M_{fa} = F'' \cdot e$$

$$f_b = -\frac{F}{A} - \frac{M_{fa}}{Wb} + \frac{M_u}{Wb} = 0$$