

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Tinjauan Umum

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. Pada elemen-elemen beton bertulang sistem prategang biasanya dilakukan dengan menarik tulangnya, yaitu tulangan baja dan dikenal dengan tendon (Lin dan Burns, 2000).

Tendon adalah suatu unsur yang direntangkan yang dipakai dalam suatu batang struktur beton untuk memberi pratekan pada beton. Pada umumnya, kawat-kawat, batang-batang atau kabel-kabel yang terbuat dari baja bertegangan tinggi, dipakai sebagai tendon. (Raju, 1981).

Prategang efektif dalam benton mengalami pengurangan secara berangsur-angsur sejak dari tahap pemindahan akibat berbagai sebab. Secara umum ini dinyatakan sebagai "*Kehilangan prategangan*". Berbagai jenis kehilangan akan dijumpai dalam sistem-sistem *pre-tensioning* dan *post-tensioning*. *Pre-Tensioning* adalah suatu metoda untuk memberi prategang beton dimana tendon ditarik sebelum beton dicor. Didalam metoda ini prategang diberikan kepada beton oleh adanya ikatan antara baja dan beton. *Post-Tensioning* adalah suatu metoda untuk memberi prategang beton dengan menarik tendon terhadap beton yang telah mengeras. Didalam metoda ini, prategang diberikan kepada beton oleh pemikulan.

Perbandingan beton prategang dengan beton bertulang ialah 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 dieleminasi atau sangat dikurangi. Pada beton bertulang, diasumsikan bahwa kuat tarik beton dapat diabaikan, karena gaya tarik yang berasal dari momen lentur ditahan oleh lekatan yang terjadi antara tulangan dan beton. Tulangan didalam komponen struktur beton bertulang tidak memberikan gaya dari dirinya pada komponen struktur tersebut, suatu hal yang

memberikan gaya dari dirinya pada komponen struktur tersebut, suatu hal yang berlawanan dengan aksi baja prategang. 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 (Nawy, 2001).

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar beton prategang. Penting bagi seorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang dengan sebaik dan seefisien mungkin. *Konsep pertama-Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.* Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis dan mungkin merupakan pendapat yang umum dari para insinyur. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. *Konsep kedua-Sistem prategang untuk kombinasi Baja mutu-tinggi dengan beton.* Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. *Konsep ketiga-Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban.* Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang (LIN dan BURNS, 2000).

Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan akibat beban luar dilawan sampai satu tingkat yang diinginkan. Pada batang beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangnya. Pengamatan penting yang dihasilkan dari kerja penelitian yang memelopori beton prategang adalah perlunya pemakaian baja dan beton berkekuatan tinggi dan pengetahuan tentang kehilangan prategang yang

diakibatkan oleh berbagai sebab. Baja berkekuatan tinggi diperlukan karena tegangan yang diberikan pada baja pada tahap pemulaan sangat tinggi, yaitu sekitar $1200 \text{ N/mm}^2 - 2000 \text{ N/mm}^2$, sedangkan beton berkekuatan tinggi diperlukan dalam beton prategang karena material tersebut memberikan ketahanan yang tinggi terhadap tarikan, geser, perekatan dan dukungan. Selain itu beton berkekuatan tinggi lebih sulit mengalami retak akibat susut dan mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi serta regangan rangkai ultimit yang lebih kecil yang menghasilkan prategang lebih kecil pada baja.

Gaya prategang pada beton dapat mengalami pengurangan secara berangsur-angsur sejak gaya prategang diberikan yang diakibatkan oleh berbagai sebab. Pengurangan gaya prategang inilah yang disebut kehilangan prategang.

Kehilangan prategang dapat disebabkan oleh :

1. deformasi elastis beton,
2. penyusutan beton,
3. rayapan beton,
4. relaksasi tegangan pada baja,
5. gesekan,
6. pengelinciran ankur.

Untuk kehilangan prategang akibat No. 1-4 dapat terjadi pada balok pratarikan dan pascatarikan, akan tetapi untuk balok pascatarikan, kehilangan prategang akibat deformasi elastis beton hanya terjadi bila tendon ditarik secara beruntun. Sedangkan untuk kehilangan tegangan akibat No. 5-6 hanya terjadi pada balok pascatarikan.

Untuk memberikan gaya prategang pada komponen struktur beton, umumnya dengan menggunakan tendon. Tendon adalah suatu unsur yang direntangkan yang dipakai dalam komponen struktur beton untuk memberikan gaya prategang pada beton tersebut. Umumnya yang digunakan sebagai beton adalah : kawat/ *wire*, untaian kawat/ *strand* atau batang baja/ *bar*, yang terbuat dari baja berkekuatan tarik tinggi.

II.2. Beton Prategang dan Beton Bertulang Biasa

Perbedaan utama antara keduanya adalah pemakaian bahan dan kekuatan yang lebih tinggi untuk beton prategang. Untuk memanfaatkan seluruh kekuatan baja mutu tinggi, perlu untuk membuat gaya prategang dengan menarik sebelumnya. Baja yang diberi gaya prategang dan diangkurkan ke beton akan menghasilkan regangan dan tegangan yang dikehendaki dengan maksud untuk mereduksi atau menghilangkan retak-retak pada beton. Jadi seluruh penampang beton prategang menjadi efektif, sedangkan pada beton bertulang hanya sebagian dari penampang diatas garis netral yang bermanfaat.

Pemakaian tendon melengkung akan membantu memikul sebagian gaya geser pada komponen struktur. Disamping itu gaya prategang pada beton cenderung untuk mengurangi tegangan tarik utama dan menambah kekuatan terhadap gaya geser. Jadi pada beton prategang dimungkinkan untuk memakai penampang yang lebih kecil untuk memikul jumlah gaya geser yang sama dibalok dibanding beton bertulang biasa.

Beton mutu tinggi, yang tidak ekonomis pemakaiannya dalam konstruksi beton bertulang biasa, didalam beton prategang menjadi suatu yang dikehendaki bahkan merupakan suatu keharusan. Pada beton bertulang pemakaian beton mutu tinggi akan menghasilkan penampang yang lebih ekonomis dengan penulangan yang lebih banyak dan akhirnya menghasilkan desain yang mahal. Pada beton prategang beton mutu tinggi akan dipadukan dengan baja mutu tinggi dengan maksud untuk menghasilkan perbandingan yang ekonomis. Beton mutu tinggi juga diperlukan untuk menahan tegangan yang besar pada pengangkutan dan untuk memberikan kekuatan pada penampang yang lebih tipis sehingga seringkali digunakan pada beton prategang.

II.3. Keuntungan dan Kekurangan Beton Prategang

Keuntungan beton prategang.

1. Keadaan bebas retak mencegah terjadinya proses korosi pada tulangan baja.
2. Mengurangi kecenderungan terjadinya retak-retak miring.

3. Komponen struktur memiliki kekakuan yang lebih besar, karena seluruh penampang bekerja efektif.
4. Penggunaan tendon yang melengkung menimbulkan komponen gaya vertikal yang membatu memikul geser.

Kekurangan beton prategang.

1. Penggunaan bahan-bahan bermutu tinggi mengakibatkan harga satuan pekerjaan menjadi tinggi.
2. Pekerjaan struktur beton prategang menurut ketelitian kerja yang lebih tinggi dan pengawasan yang lebih ketat..

II.4. Pemberian Gaya Prategang

Menurut Raju (1993) berbagai metode pemberian prategang pada beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Pembangkitan gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan-tumpuannya dengan pemakaian dongkrak datar (*flat jack*).
2. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan menggulung kawat secara melingkar.
3. Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.
4. Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
5. Pemakaian potongan baja struktural yang dilendutkan yang ditanam dalam beton sampai beton tersebut mengeras.
6. Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

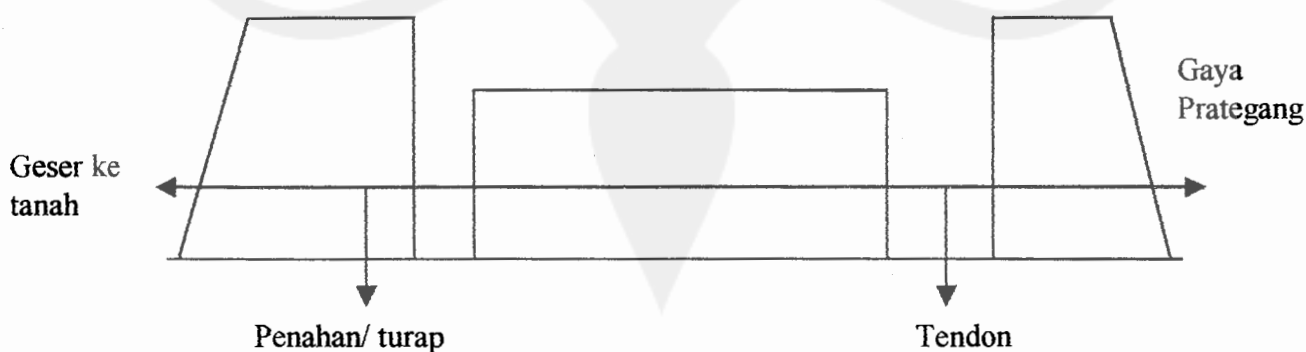
Metode yang paling luas dipakai untuk memberikan gaya prategang pada elemen beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat penarik yang berbeda-beda pemberian gaya prategang dengan penggunaan gaya-gaya langsung diantara tumpuan-tumpuan umumnya dipakai untuk pelengkung dan perkerasan, dan dongkrak datar selalu dipakai untuk memberikan

gaya-gaya yang diinginkan. Untuk struktur bundar, seperti tangki dan pipa, biasanya pemberian prategang pada beton dilakukan dengan prategang melingkar. Dengan dikembangkannya semen yang mengembang, prategang pada beton dapat ditimbulkan dengan proses kimia.

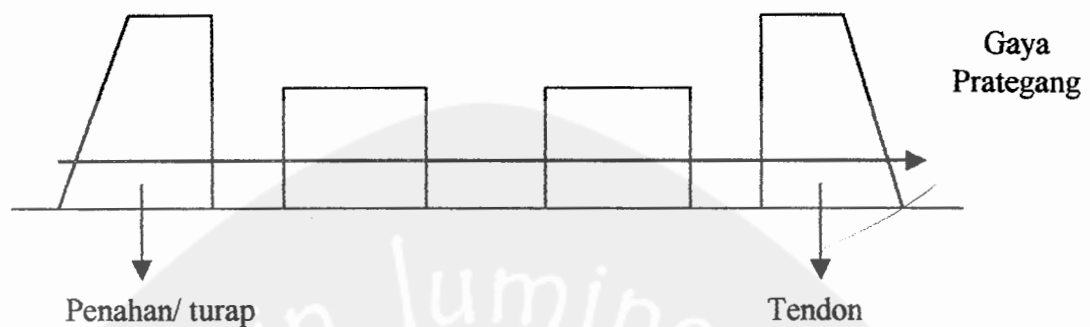
Ada dua cara yang biasanya digunakan untuk memberikan gaya prategang pada beton.

1. Pratarikan / *pretensioning*

Didalam sistem pratarik, tendon telah dahulu ditarik antara blok-blok ankur yang tegar/ kaku/ *rigid*/ yang dicetak di atas tanah didalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik seperti terlihat pada gambar 2.1. dan beton selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus melekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan prategang ditransfer ke beton. Untuk produksi massal elemen prategang, pada umumnya dipakai proses rangkaian panjang yang dikembangkan oleh Hoyer. Dalam metode ini, kawat-kawat direntangkan antara dua turap yang berjarak beberapa ratus meter sedemikian rupa sehingga sejumlah unit yang sama dapat dicetak di sepanjang kelompok kawat tegangan yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.1. Prinsip Pratarikan
(Sumber , Raju , 1993)



Gambar 2.2. Prinsip Pratarikan Hoyer
(Sumber , Raju , 1993)

Tarikan diberikan dengan dongkrak hidrolik atau dengan mesin penegang yang dapat dipindahkan. Tendon yang ditarik secara tunggal ataupun berkelompok, pada umumnya diikat pada tumpuannya dengan pasak baja. Transfer prategang ke beton biasanya dengan dongkrak hidrolik atau dongkrak sekrup yang besar, dimana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang di isyaratkan. Daya rekat prategang dapat lebih ditingkatkan dengan membentuk ciri-ciri khusus pada permukaan dan kerutan spiral pada kawat.

2. Pascatarikan/ *Posttensioning*

Dalam sistem pascatarikan, unit beton lebih dulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka tendon ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan tendon diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh angkur ujung. Secara ideal pascatarikan cocok untuk pekerjaan yang dilaksanakan di tempat dengan bentangan menengah sampai panjang di mana biaya penarikan hanya merupakan sebagian kecil dari seluruh pekerjaan dan dalam hal ini lebih ekonomis untuk memakai sedikit tendon dengan gaya yang besar daripada memakai banyak tendon dengan gaya yang kecil. Selain itu manfaat utama dari pascatarikan adalah pada sistem ini memungkinkan pemakaian tendon

melengkung atau yang berubah-ubah arahnya yang membantu perancang untuk mengubah distribusi prategang potongan demi potongan sehingga dapat mengimbangi beban-beban luar secara efisien.

II.5. Tahap-tahap Pembebanan

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan dimana sebuah komponen struktur dibebani. Beberapa dari tahapan pembebanan ini terjadi juga pada struktur yang bukan prategang, tetapi yang lainnya terjadi hanya akibat prategang. Untuk struktur yang dicor di tempat, beton prategang harus didesain paling sedikit untuk dua tahap-tahap awal pada saat pemberian gaya prategang dan tahap akhir pada saat dibebani beban eksternal. Untuk beton pracetak, tahap ketiga yaitu pengangkutan dan pengangkutan harus teliti. Pada tahap dari ketiga tahap ini, ada perbedaan waktu bilamana komponen atau struktur dibebani pada kondisi yang berbeda-beda (Lin dan Burns, 1993).

II.5.1. Tahap awal

Batang atau struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini selanjutnya dapat dibagi dalam beberapa tahap, beberapa diantaranya tidak penting dan oleh karenanya dapat diabaikan pada desain-desain tertentu. Tahap-tahap itu adalah.

1. Tahap sebelum diberi gaya prategang.

Sebelum beton diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beton, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada peletakan. Untuk memperkecil atau menghapuskan retak-retak pada beton, pemeliharaan (*curing*) yang saksama sebelum peralihan gaya prategang sangat penting.

Retak-retak akibat susut akan mengurangi kemampuan beton untuk memikul tegangan tarik dan mungkin harus ditolak.

2. Tahap pada saat diberi gaya prategang

Tahap ini adalah merupakan percobaan yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon terjadi pada saat penarikan tendon. Berikut tegangan-tegangan ijin untuk baja dan beton menurut SK SNI T-15-1991-03:

Tegangan ijin beton

1. Sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan) tidak boleh melampaui nilai :

1. serat terluar mengalami tegangan tekan..... $0,6 f'_{ci}$,
2. serat terluar mengalami tegangan tarik, kecuali seperti yang diijinkan dalam No. 3..... $\sqrt{f'_{ci}/4}$,
3. serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana mengalami tegangan tarik..... $\sqrt{f'_{ci}/2}$.

2. Pada tingkat beban kerja (setelah kehilangan tegangan) tidak boleh melampaui nilai berikut :

1. serat terluar mengalami tegangan tekanan..... $0,45 f'_c$,
2. tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan..... $\sqrt{f'_{ci}/2}$.

Tegangan ijin baja

Tegangan tarik dalam tendon prategang tidak boleh melampaui nilai .

1. Akibat gaya pengangkuran tendon..... $0,94 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon atau angkur.
2. Serat setelah pemindahan gaya prategang..... $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih dari $0,74 f_{pu}$.
3. Tendon pascatarik, pada daerah angkur dan sambungan, sesaat setelah pengangkuran tendon..... $0,7 f_{pu}$.

Kadang-kadang tendon putus pada saat diberi gaya prategang (penarikan tendon), disebabkan cacat pada waktu pembuatan. Tetapi putusnya tendon kurang berarti, karena seringkali didalam suatu komponen struktur terdapat

banyak tendon. Jika sebuah tendon putus dalam satu komponen struktur yang hanya terdiri dari beberapa tendon saja, maka harus segera diganti dengan tendon yang baru. Untuk beton, proses penarikan tendon merupakan percobaan yang besar untuk mengetahui kekuatan/ daya dukung angkurnya. Karena beton belum cukup umur pada saat itu, sementara gaya prategang mencapai maksimum, kehancuran beton pada pengangkutan dapat terjadi jika mutunya rendah atau jika beton kropos. Gaya prategang yang tidak simetris dan terpusat dari tendon dapat menimbulkan tegangan berlebihan pada beton. Oleh karena itu besarnya gaya prategang pada berbagai tendon harus dipelajari terlebih dahulu.

3. Pada saat peralihan gaya prategang

Untuk komponen-komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen struktur pascatarik, peralihan seringkali bertahap, gaya prategang pada tendon dialihkan ke beton satu per satu. Pada kedua keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendirinya. Jadi gaya prategang awal dengan sedikit kehilangan yang terjadi, menimbulkan keadaan yang serius pada beton dan seringkali menentukan desain komponen. Untuk alasan ekonomis dalam desain komponen struktur itu sendiri untuk mengimbangi lendutan ke atas akibat pengaruh gaya prategang. Hal ini dilakukan dengan mengasumsikan keadaan perletakan tertentu. Jika keadaan ini tidak dilaksanakan didalam praktek, keruntuhan pada komponen struktur dapat terjadi. Sebagai contoh berat dari balok induk/ gelagar prategang diatas dua perletakan diperkirakan dapat menimbulkan momen positif maksimum pada tengah-tengah bentang yang mengimbangi momen-momen negatif akibat gaya prategang. Jika balok induk dicor dan diberi gaya prategang diatas tanah yang lunak tanpa tumpuan yang cukup pada ujung-ujungnya, momen positif yang diharapkan mungkin tidak ada dan gaya prategang mungkin menghasilkan tegangan tarik yang berlebihan pada serat-serat atas dari gelagar sehingga mengakibatkan keruntuhannya.

4. *Desentering* dan penarikan kembali

Jika sebuah komponen struktur dicor dan diberi gaya prategang ditempat, maka pada umumnya komponen tersebut akan memikul sendiri selama atau sesudah diberi gaya prategang. Jadi bekisting dapat dibongkar setelah diberi gaya prategang, dan tidak ada pembebanan baru terjadi pada struktur. Beberapa struktur beton ditarik kembali, dimana ini merupakan sistem prategang dalam dua tahap atau lebih. Jadi tegangan-tegangan pada berbagai macam tahap penarikan harus dipelajari.

II.5.2. Tahap antara

Tahap ini adalah tahap selama pengangkutan dan pengangkutan hal ini terjadi hanya pada komponen-komponen struktur pracetak bila diangkat ke lapangan dan dipasang pada tempatnya. Hal ini penting sekali untuk menjamin bahwa komponen-komponen struktur tersebut telah ditumpu dan diangkat dengan semestinya. Sebagai contoh, sebuah blok diatas dua perletakan (*simple beam*) yang didesain untuk ditumpu pada ujung-ujungnya akan mudah patah jika diangkat pada tengah-tengah benteng. Tidak hanya pada waktu pengangkatan komponen itu sendiri, tetapi juga pada saat penambahan beban-beban mati, seperti atap lantai, keadaan tumpuan dan pembebanan harus diperhatikan. Hal ini sangat tepat untuk balok kantilever, karena pembebanan sebagian dapat mengakibatkan lenturan yang lebih serius daripada pembebanan penuh.

II.5.3. Tahap akhir

Tahap dimana beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Seperti pada konstruksi-konstruksi lain, perencana harus mempertimbangkan berbagai macam kombinasi beban hidup pada setiap bagian yang berbeda dari struktur akibat gaya-gaya lateral seperti angin dan gaya-gaya gempa dan dengan beban-beban regangan seperti yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperatur. Untuk struktur beton prategang, terutama untuk jenis-jenis yang tidak umum, seringkali perlu untuk menyelidiki retak-retak dan beban batasnya, perilaku akibat beban yang bekerja tetap (*sustained load*) sebagai tambahan beban kerja.