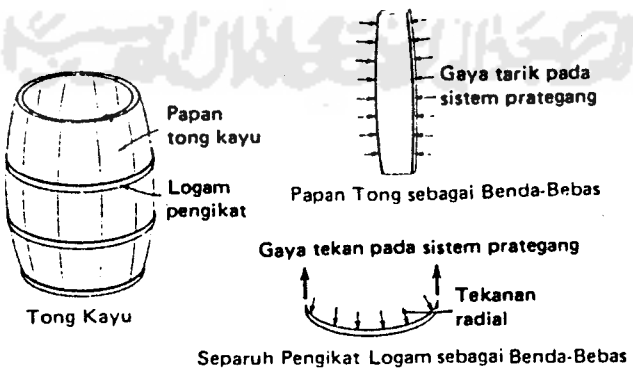
BAB III

BETON PRATEGANG

III.1 SEJARAH PERKEMBANGAN

Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan dalam dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangannya.[9]

Prinsip dasar sistem prategang ini telah digunakan pada konstruksi-konstruksi berabad-abad yang lalu pada waktu tali atau pita logam diikatkan mengelilingi papan kayu yang melengkung dan membentuk sebuah tiang (gambar 3.1). Pada waktu pita dikencangkan, pelat akan tertarik yang kemudian akan menekan kayu-kayu kedalam sehingga mampu menahan tarikan akibat tekanan cairan dari dalam. Dengan perkataan lain, pita dan kayu dalam keadaan tertegang sebelum dibebani.



Gbr.3.1. Prinsip sistem prategang yang digunakan pada konstruksi tong.

Akan tetapi prinsip yang sama tersebut tidak dipakai sampai tahun 1886, ketika P.H. Jakson, seorang insinyur dari San Fransisco, California, mendapatkan hak paten untuk pengikatan batangan baja pengikat ke batu buatan dan lengkungan beton yang berfungsi sebagai plat lantai. Sekitar tahun 1888, C.E.W. Doehring dari Jerman secara perorangan mendapatkan hak paten untuk beton yang diperkuat dengan logam yang ditarik sebelum pelat dibebani. Pemakaian ini berdasarkan konsep bahwa beton, walaupun kuat terhadap tekanan, lemah terhadap tarikan, dan dengan menarik baja serta menahannya ke beton akan membuat beton tertekan yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengimbangi tegangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati maupun beban hidup.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang melelahkan terhadap sifat-sifat beton dan baja, Freyssinet dalam tahun 1928 menunjukkan keuntungan-keuntungan dari pemakaian baja dan beton berkekuatan tinggi untuk memperhitungkan berbagai kehilangan prategang yang disebabkan oleh rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*) pada beton.

Penggunaan beton prategang menyebar secara cepat. Dalam 25 tahun terakhir beton prategang telah dipakai secara luas untuk konstruksi jembatan dengan bentang panjang, atau cangkang (*shell roofs*) untuk bangunan industri, struktur bangunan laut, bejana tekanan nuklir, struktur bangunan penahan air, tiang jaringan transmisi, bantalan jalan baja dan berbagai jenis struktur lainnya.[9,10]

III.2 KONSEP DASAR BETON PRATEGANG

Beton prategang adalah beton yang telah diberikan tegangan-tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralisir sejumlah tertentu tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban luar sesuai dengan yang direncanakan.

Pada dasarnya beton merupakan material komprensif yang kekuatan tariknya sangat rendah sehingga tidak dapat dimanfaatkan. Proses prategang memberikan tekan terlebih dahulu pada batang bajanya untuk dapat mengurangi atau menghilangkan tegangan-tegangan tarik yang tidak diingingkan yang ada pada batang tersebut. Melalui cara ini retak-retak yang terjadi pada kondisi beban kerja dapat dikurangi sampai seminimum mungkin. Lendutan-lendutan yang terjadi dapat dibatasi sampai suatu harga tertentu yang masih dapat diterima, walaupun sesungguhnya dengan mengkombinasikan gaya dalam dan luar pada beban kerja dan gaya-gaya prategang, batang-batang dapat direncanakan dengan lendutan sekecil mungkin.[2]

Ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalitis sifat-sifat dasar dari beton prategang yaitu :

III.2.1. 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

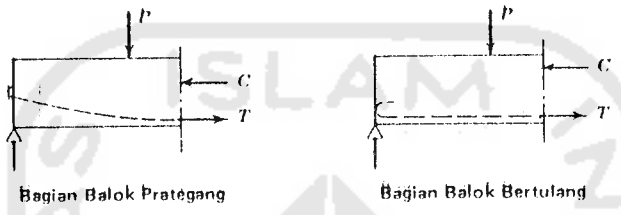
insinyur. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan batang baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahirlah kriteria "tidak ada tegangan tarik" pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Atas dasar pandangan ini beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan : gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Begitu juga retak pada beton akibat beban eksternal dicegah atau diperlambat dengan pratekan yang dihasilkan oleh tendon. Sejauh tidak terjadi retak-retak, tegangan-tegangan, regangan-regangan, dan lendutan-lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama-sama bila perlu.[10]

III.2.2. SISTEM PRATEGANG UNTUK KOMBINASI BAJA MUTU TINGGI DENGAN BETON

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai

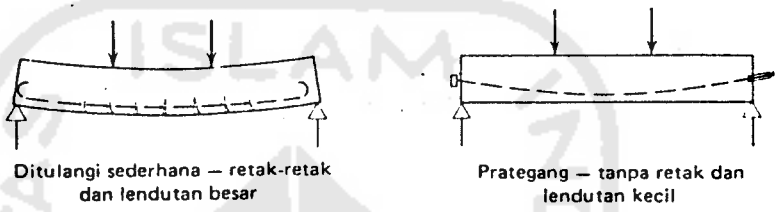
gabungan dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal, gambar 3.2 memperlihatkan baja menahan gaya tarik dan beton menahan gaya tekan, dan keduanya membentuk momen kopel dengan lengan momen diantaranya.



Gbr.3.2. Momen penahan internal pada balok beton prategang dan balok beton bertulang.

Pada beton prategang baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, seperti terlihat pada gambar 3.3, oleh karena itu baja perlu ditarik sebelumnya terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan baja kebeton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan. Tegangan dan regangan tekan pada beton tekan, dan tegangan dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Pada

masalah yang tanpa prategang, baja secara khusus diberi ulir untuk membuat rekatan (*bond*), dengan maksud untuk mendistribusikan retak. Cara ini menghindari pengeluaran biaya untuk meregangkan dan mengangkurkan baja mutu tinggi tetapi tidak memberikan hasil yang diinginkan seperti gaya pratekan pada beton dan pengontrolan lendutan.



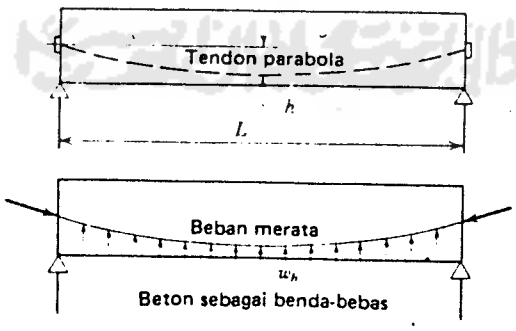
Gbr.3.3. Balok Beton menggunakan baja mutu tinggi.

Dalam sudut pandangan ini, beton prategang tidak lagi merupakan hal yang aneh dalam desain. Meskipun banyak akal digunakan untuk membuat desain yang memadai dan ekonomis dari beton prategang, tidak ada metode yang ajaib untuk menghindari kenyataan akan keharusan untuk memikul momen eksternal dengan kopel internal. Dan kopel penahan internal harus disuplai oleh baja untuk menahan tarikan dan disuplai oleh beton untuk menahan tekanan, baik beton prategang atau beton bertulang biasa. Konsep ini telah digunakan dengan baik untuk menentukan kekuatan batas balok beton prategang dan juga dapat dipakai dalam keadaan elastis.[10]

III.2.3. SISTEM PRATEGANG UNTUK MENCAPAI PERIMBANGAN BEBAN

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah beton. Konsep ini dikembangkan oleh T.Y. Lin dan digunakan oleh praktisi lain untuk hal yang lebih sederhana.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga beton yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok, dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari beton lentur menjadi beton yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda-benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang, seperti terlihat pada gambar 3.4. dibawah ini.[10]



Gbr.3.4. Balok prategang dengan tendon parabola.

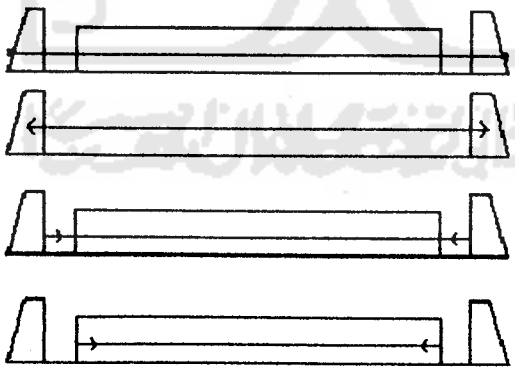
III.3. SISTEM PRATEGANG

Ada dua teknik dasar yang umum dipakai didalam pelaksanaan beton prategang, perbedaan utama adalah apakah proses penarikan baja dilakukan sebelum atau sesudah pengerasan beton:

III.3.1. SISTEM PRATARIK (*PRETENSIONING*)

Yaitu sistem untuk memberi prategang pada beton dimana tendon ditarik terlebih dahulu sebelum beton dicor. Setelah beton mengeras (sudah mencapai kekuatan yang disyaratkan) tendon dipotong pada kedua ujung-ujungnya. Dalam metode ini gaya prategang diberikan pada beton melalui rekatan antara tendon dengan beton, maka terjadilah pemindahan gaya tarik tendon kebeton berupa gaya tekan.[2,10,12,13]

Secara ideal metode ini cocok untuk diproduksi di pabrik dimana cetakan dapat dipakai berulang-ulang untuk bagian bangunan dengan ukuran standar.



Gbr.3.5. Sistem Pratarik.

III.3.2. SISTEM PASCATARIK (POSTTENSIONING)

Yaitu sistem untuk memberi prategang pada beton untuk menarik tendon terhadap beton yang telah mengeras. Tendon dipasang didalam lubang atau saluran yang dibentuk terlebih dahulu pada beton, dengan profil yang telah direncanakan. Dengan demikian tidak akan terjadi lekatan antara baja dengan beton.[9,10,11,12,13]

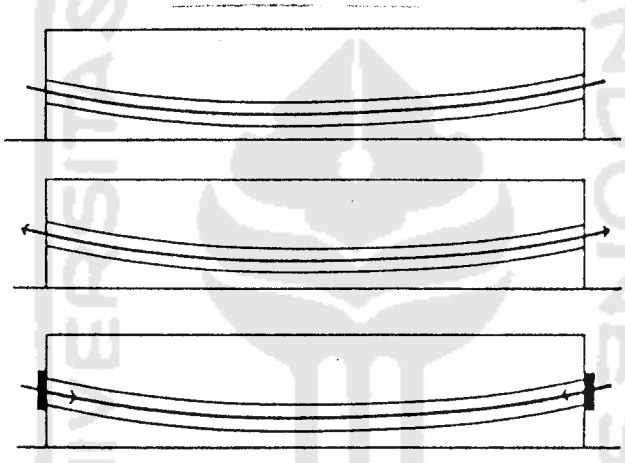
Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, tendon ditegangkan/ditarik dan diangkurkan pada ujung-ujungnya. Penarikan tendon dengan perantaraan dongkrak dengan reaksi yang bekerja melawan beton, sehingga gaya prategang ditransfer kebeton melalui angkur. Dengan demikian beton menjadi tertekan.

Sistem ini dapat digunakan pada beton yang monolit atau susunan elemen-elemen yang terpisah, sambungan antar elemen tidak perlu diisi adukan beton jika antar elemen dapat menempel dengan tepat dan baik. Jika tidak demikian sambungan diisi terlebih dahulu dengan adukan beton yang sama kekuatannya dengan tebal yang cukup sebelum diberi gaya prategang.

Penarikan tendon dapat dilakukan bertahap dan dapat sekaligus. Jika bertahap, tendon yang ditarik lebih dahulu tidak boleh mengganggu pergerakan tendon yang ditarik setelahnya.

Setelah tendon diangkurkan, ruang antara tendon dan beton dapat diisi adukan (*grouting*), sehingga masih mungkin terjadsi lekatan antara tendon dan beton, disebut tendon

terekat (*bounded*), kecuali jika digunakan *unboun-ded tendons* (tendon dilapisi minyak, kertas atau plastik). Efisiensi lekatan tergantung pada jarak tendon, efektifitas adukan dan bentuk selubung. Jika lekatan yang terjadi dapat dijamin baik angkur dapat dihilangkan, sehingga transfer gaya prategang dilakukan melalui lekatan. Bila tendon tidak terekat, yaitu bila ruang antara tendon dan beton tidak diisi adukan, penjagaan terhadap korosi dilakukan dengan minyyak pelumas tertentu atau gas nitrogen.[9,11,12,13]



Gbr.3.6. Sistem Pascatarik

III.4. JENIS BETON PRATEGANG

Jenis prategang kadang-kadang dibuat berdasarkan tingkatan prategang yang akan bekerja pada komponen struktur :

III.4.1. STRUKTUR BETON PRATEGANG PENUH (FULLY PRESTRESSED CONCRETE)

Adalah komponen struktur yang didesain sedemikian sehingga pada beban kerja tidak terjadi tegangan tarik.[9,10]

III.4.2. STRUKTUR BETON PRATEGANG SEBAGIAN (PARTIALLY PRES-TRESSED CONCRETE)

Adalah komponen struktur yang didesain sedemikian sehingga pada beban kerja masih memungkinkan terjadinya tegangan tarik pada komponen struktur akibat beban kerja.[9,10]

III.5. KEUNTUNGAN BETON PRATEGANG

Struktur beton prategang mempunyai beberapa keuntungan, antara lain:

a. Terhindar retak terbuka didaerah tarik, jadi lebih tahan terhadap keadaan korosit.
b. Kedap air, cocok untuk pipa dan tanki.
c. Karena terbentuknya lawan lendut sebelum beban rencana bekerja, maka lendutan akhirnya akan lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang.
d. Penampang struktur lebih kecil/langsing, sebab seluruh luas penampang dipakai secara efektif.

Bila ditinjau dari segi ekonomis maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

a. Jumlah adukan beton yang diperlukan lebih sedikit.
b. Biaya awalnya tidak sebanding dengan pengurangan beratnya. Harga baja dan beton mutu tinggi lebih mahal. juga bekisting dan penegangan baja perlu tambahan biaya. Perbedaan harga awal ini menjadi lebih kecil apabila beton prategang yang dibuat adalah beton pracetak dalam jumlah yang besar.

c. Beton prategang hampir tidak memerlukan pemeliharaan, lebih tahan lama karena tidak adanya retak-retak, berkurangnya beban mati yang diterima pondasi, dapat mempunyai bentang yang lebih besar, dan tinggi penampang konstruksi berkurang.[9,11]

tabel.3.1. Tabel Prestressing Tendons

Prestressing tendons						
	U.S. customary			SI		
Type	Nominal diameter, in	Nominal area, in²	Nominal weight, lb/ft	Nominal diameter, mm	Nominal area, mm²	Nominal mass, kg/m
Seven-wire strand (Grade 250)	0.250	0.036	0.12	6.350	23.2	0.179
	0.313	0.058	0.20	7.950	37.4	0.298
	0.375	0.080	0.27	9.525	51.6	0.402
	0.438	0.108	0.37	11.125	69.7	0.551
	0.500	0.144	0.49	12.700	92.9	0.729
	0.600	0.216	0.74	15.240	139.4	1.101
Seven-wire strand (Grade 270)	0.375	0.085	0.29	9.525	54.8	0.432
	0.438	0.115	0.40	11.125	74.2	0.595
	0.500	0.153	0.53	12.700	98.7	0.789
	0.600	0.215	0.74	15.240	138.7	1.101
Prestressing wire	0.192	0.029	0.098	4.877	18.7	0.146
	0.196	0.030	0.10	4.978	19.4	0.149
	0.250	0.049	0.17	6.350	31.6	0.253
	0.276	0.060	0.20	7.010	38.7	0.298
Prestressing bars (smooth)	¾	0.44	1.50	19.050	283.9	2.232
	⅞	0.60	2.04	22.225	387.1	3.036
	1	0.78	2.67	25.400	503.2	3.973
	1⅛	0.99	3.38	28.575	638.7	5.030
	1¼	1.23	4.17	31.750	793.5	6.206
	1⅜	1.48	5.05	34.925	954.8	7.515
Prestressing bars (deformed)	⅝	0.28	0.98	15.875	180.6	1.458
	¾	0.42	1.49	19.050	271.0	2.217
	1	0.85	3.01	25.400	548.4	4.480
	1¼	1.25	4.39	31.750	806.5	6.535
	1⅜	1.56	5.56	34.925	1006.5	8.274