

KATA PENGANTAR

Dalam decade akhir ini Struktur Beton Prategang semakin populer digunakan pada struktur bangunan, baik pada bangunan infra struktur seperti Balok Jembatan Jalan Raya maupun Jembatan Kereta Api. Demikian juga pada Struktur Rangka Gedung, terutama pada gedung yang menggunakan Balok Bentang Panjang, karena ternyata penggunaan Beton Pratekan lebih efisien dibandingkan dengan Beton Bertulang.

Untuk Struktur yang dominan menerima beban gravitasi seperti pada Bangunan-bangunan Gedung, desain Struktur dengan Balok Beton Full Prestress dianggap oleh para Ahli kurang efisien karena pemakaian baja tulangan tidak bisa dihindari padahal dalam perhitungan analisa struktur, beban lentur dianggap sepenuhnya dipikul oleh Strand Tendon sedangkan baja tulangan dianggap sebagai tulangan praktis.

Penggunaan Beton Partial Prestress dipilih sebagai alternative karena ternyata lebih efisien dimana dengan dimensi penampang yang sama membutuhkan jumlah Strand Tendon yang lebih sedikit karena baja tulangan dan strand tendon didesain untuk bekerja sama dalam memikul beban lentur, sehingga ada perbandingan yang proporsional antara baja tulangan dan strand tendon untuk bersama-sama memikul beban lentur.

Melihat kenyataan bahwa buku referensi (tex books) untuk Struktur Beton Pratekan masih relative minim, terutama untuk referensi Struktur Beton Pratekan Parsial, maka penulis berinisiatif untuk menyusun buku berupa Modul Ajar Beton Pratekan Parsial ini yang juga dilengkapi dengan beberapa contoh-contoh soal.

Namun dengan minimnya referensi sebagai rujukan dan keterbatasan kemampuan yang ada pada penulis, tentu dalam penulisan buku ini masih terjadi kurang sempurna. Untuk itu maka kritik dan saran dari para ahli yang lebih berkompeten dibidang ini akan diterima dengan penuh rasa terima kasih.

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	4
DAFTAR GAMBAR	5
1. PENDAHULUAN	8
2. BETON PRATEKAN DAN BETON PRATEKAN PARSIAL	11
2.1. Klasifikasi Konstruksi Beton	11
2.2. Klasifikasi Beton Pratekan Parsial	13
2.3. Keuntungan & Kerugian Beton Partial Prestressed terhadap Full Prestress	15
3. ANALISA PENAMPANG BETON PRATEKAN PARSIAL	17
3.1. Pendahuluan	17
3.2. Prosentase Pratekanan	17
3.3. Perhitungan Momen	19
4. STUDI EKSPERIMENTAL	22
4.1. Data Percobaan	22
4.2. Tinjauan Retak	23
4.3. Tinjauan Runtuh	26
5. BETON PRATEKAN DALAM PRAKTEK	32
5.1. Posisi Beton Pratekan Parsial terhadap Terhadap Beton Pratekan Penuh dan Beton Bertulang	32
5.2. Analisa Penampang	32
5.3. Desain Lentur	38
6. BETON PRATEKAN YANG MENGALAMI PENGOLAHAN DENGAN PANAS	39
6.1. Umum	39
<i>Monograf Struktur Beton Pratekan Parsial</i>	2

6.2. Teganaagn Tekan Beton	40
6.3. Perubahan Bentuk Betonatas Fungsi Waktu (Susut dan Rangkak)	41
6.4. Kehilangan Pratekan oleh Relaksasi akibat Treatment Thermique	42
6.5. Pemakaian	44
7. HASIL PEMBEBANAN BALOK PRATEKAN SEGMENTAL	45
7.1. Pendahuluan	45
7.2. Data Balok	45
7.3. Pembahasan	46
7.4. Hasil Percubaan	47
8. PERENCANAAN BALOK PRATEKAN PARSIAL	51
8.1. Perencanaan Balok Prategang	51
8.1.1. Kontrol Lendutan	51
8.2. Momen Retak	79
8.3. Penulangan non Prategang	83
8.4. Penulangan Geser pada Balok	84
8.5. Penulangan Geser pada Balok	93
9. DAFTAR PUSTAKA	95

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel: 4.1. Prosentase Pratekan dan Data Tulangan Baja Lunak	22
Tabel: 4.2. Harga-Harga Momen Untuk Semua Tipe Balok	29
Table :6.1 . Penurunan kekuatan akhir (Δf_c) beton akibat pengaruh dari Kecepatan kenaikan temperatur dan besarnya T_{max} .	40
Tabel: 8.1. Tabel Koefisien Susut Post Tension	75
Tabel: 8.2. Nilai momen yang diakibatkan oleh gempa	85
Tabel: 8.3. Nilai momen yang diakibatkan oleh gempa	90

DAFTAR GAMBAR

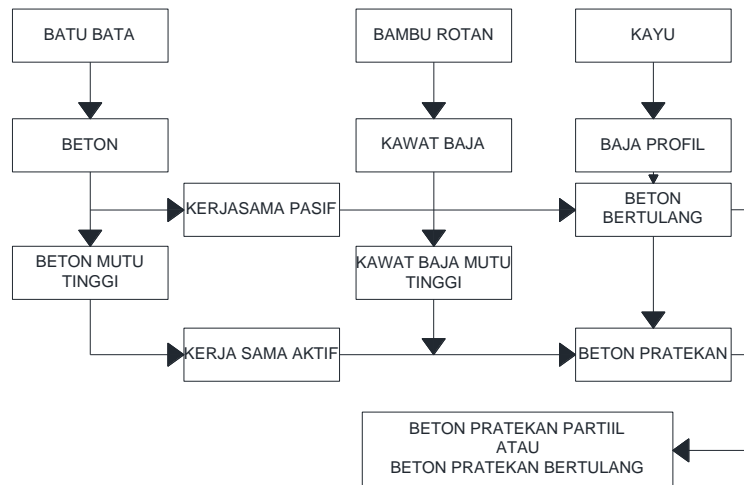
	Halaman
Gambar 1.1 Perkembangan Bahan-Bahan Konstruksi Ditinjau Atas Daya Tahannya Terhadap Gaya Yang Bekerja	8
Gambar 2.1 Keadaan Tegangan dan Regangan Beton, Dari Penampang Balok Di Bawah Beban Maksimum Untuk Struktur Kelas I	11
Gambar 2.2 Keadaan Tegangan dan Renggangan Beton, dari Penampang Balok Di Bawah Beban Tertentu Untuk Struktur Kelas II	12
Gambar 2.3 Keadaan Tegangan dan Regangan dari Permukaan Balok Di Bawah Beban Tertentu Untuk Struktur Kelas III	13
Gambar 2.4 Keadaan Tegangan dan Regangan dari Penampang Balok Di Bawah Beban Maximum Untuk Struktur Kelas IV	13
Gambar 2.5 Model Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Element Konstruksi Beton	14
Gambar 3.1 Sebuah Penampang Balok Pratekan	18
Gambar 3.2 Diagram Deformasi Sebuah Penampang Balok Beton Pratekan Partiiil Serta Gaya-Gaya Yang Timbul	20
Gambar 3.3 Diagram Deformasi Dalam Keadaan Batas	21
Gambar 4.1. Skema Penulangan dan Penampang setiap Tipe	22
Gambar 4.2 Skema Dari Sistem Pembebanan Balok	23
Gambar 4.3 Posisi Beban Retak Experimental Dibandingkan Prediksi Teoritis	24
Gambar 4.4 Perbandingan Jarak Retak Antara Prediksi Teori Dengan Experimen	25
Gambar 4.5 Perbandingan Lebar Retak Secara Teori dan Experimen Pada Beban Kerja	26
Gambar 4.6 Keadaan Tegangan dan Deformasi Dari Suatu Penampang Balok elang Runtuh	26
Gambar: 4.7 Diagram Deformasi Dalam Keadaan Sesaat Runtuh dan Harga Momen Runtuh Teori Masing-Masing Balok	27
<i>Monograf Struktur Beton Pratekan Parsial</i>	5

Gambar: 4.8 Diagram Deformasi Dalam Keadaan Batas (<i>Ultimate</i>) dan Harga Momen Batas (M_u) Masing-Masing Balok	28
Gambar 4.9 Perbandingan Angka-Angka Keamanan Pada Metode Posttension, Pretension Untuk Beban Langsung Dan Beban Berulang	30
Gambar 5-1 : Analisa Tegangan Dengan Metode Elastis	33
Gambar: 5.2. Diagram Tegangan-Regangan pada Balok T	34
Gambar 6-1 Skema Perubahan Temperatur Dalam Sebuah Proses Steam Curing T_{max} Disarankan Berkisar 60 S/D $80^{\circ}C$	39
Gambar 6-2 Kenaikan Tegangan Tekan Beton Pada Berbagai Temperatur Untuk Beton Dengan Semen 350 Kg/M^3 Dari Jenis CPA 400 Dengan Faktor Air Semen $W/C = 0,5$.	40
Gambar: 6.3. Siklus Temperatur Dalam Suatu Proses Heat Treatment	41
Gambar: 6.4. Skema Kehilangan Pratekan Oleh Relaksasi	43
Gambar: 7.1. Skema ukuran balok	45
Gambar: 7.2. Skema Pembebanan Balok Dan Letak Titik-Titik Pengukuran Lendutan	46
Gambar: 7.3. Perbandingan Antara Lendutan Teoritis Dengan Hasil Pengamatan Di Perempat Bentang	48
Gambar: 7.4. Perbandingan Antara Lendutan Teoritis Dengan Hasil Pengamatan Di Tengah Bentang	49
Gambar: 7.5. Diagram Tegangan Beton Di Tengah Bentang Balok Dengan $F_t = F_o = 275 \text{ Ton}$	49
Gambar: 7.6. Diagram Tegangan Beton Di Tengah Bentang Balok Dengan $F_t - F_e = 240,9 \text{ Ton}$	49
Gambar: 8.1. Penampang Balok Pratekan	53
Gambar: 8.2. Momen Sebelum Komposit	55
Gambar: 8.3. Momen Setelah Komposit	56
Gambar: 8.4. Daerah Limit Kabel	58
Gambar: 8.5. Diagram Tegangan Sebelum Komposit	62
Gambar: 8.6. Diagram Tegangan Setelah Komposit	62
<i>Monograf Struktur Beton Pratekan Parsial</i>	6

Gambar: 8.7. Angker Dengan 9 <i>Strand</i>	65
Gambar: 8.8. Penampang Angker Tengah Bentang Dengan 9 <i>Strand</i>	65
Gambar: 8.9. Potongan Memanjang Angker	66
Gambar: 8.10. Hasil Analisa SAP Akibat Kekangan Kolom	71
Gambar: 8.11. Penampang Balok Prategang	74
Gambar: 8.12. Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Prategang	79
Gambar: 8.13. Tulangan Geser Pada Balok	94

I. PENDAHULUAN

Didalam perkembangannya, bahan-bahan konstruksi dapat digolongkan atas tiga kategori. Bahan-bahan yang tahan terhadap gaya tekan, tahan terhadap gaya tarik dan tahan terhadap keduanya yaitu gaya tekan dan gaya tarik ^[1]. Secara skhematis dapat dilihat dalam gambar 1-1 sebagai berikut :



Gambar 1.1 Perkembangan Bahan-Bahan Konstruksi Ditinjau Atas Daya Tahannya Terhadap Gaya Yang Bekerja

Dari skema di atas dapat dilihat bahwa kehadiran bahan beton bertulang yang merupakan bahan gabungan, dengan maksud adanya pembagian tugas antara bahan yang menerima tekan (beton) dan tarik (baja tulangan), belum bisa menjawab semua tantangan di dalam problem struktur, maka kemudian lahirlah bahan baru yaitu beton pratekan.

Dengan dikenalnya konstruksi ini maka beberapa kesulitan telah dapat diatasi misal : masalah bentang besar, mengurangi dominasi oleh berat sendiri, adanya retak-retak pada beton di bawah beban kerja dan sebagainya.

Pemakaian konstruksi beton pratekan total pada gedung-gedung, sering mengalami hambatan, karena disini dituntut bahwa struktur harus mampu menahan momen bolak-balik. Para perancang untuk itu biasa

Monograf Struktur Beton Pratekan Parsial

menggabungkan pemakaian tulangan aktif (baja prategang) dan tulangan pasif (baja lunak).

Dari kenyataan ini lahirlah konstruksi campuran (*mixture*) antara beton bertulang dan beton pratekan yang kemudian disebut dengan “beton pratekan partial” atau secara harafiah bisa juga disebut dengan “beton pratekan bertulang”.

Jadi kehadiran beton pratekan partial adalah merupakan langkah maju dari perkembangan konstruksi beton. Banyak hal yang masih harus diungkapkan, banyak hal yang masih harus dituntaskan. Dalam hal aplikasi konstruksi beton pratekan didalam praktek dewasa ini (di Indonesia cukup diminati dan penggunaannya tidak lagi terbatas pada struktur jembatan, namun sudah banyak mengalih ke gedung-gedung.

Penggunaan struktur beton pratekan untuk gedung memerlukan adaptasi tambahan karena kondisi beban yang bekerja, terutama oleh pengaruh beban gempa, menuntut diterapkannya konsep beton pratekan parsial. Hal ini tampaknya oleh SKSNI T-15-1991-03 (tata cara penghitungan struktur beton untuk bangunan gedung) telah diantisipasi dengan menerapkan bahwa ketentuan untuk perencanaan gempa (bab 3.14 tabel 3.14.1) yang menyangkut daktilitas struktur faktor jenis struktur K hanya tercantum untuk jenis bahan bangunan dari jenis struktur rangka beton pratekan parsial.

Melihat kecenderungan yang terjadi di lapangan maka pemahaman tentang struktur jenis ini perlu digalakkan, dan perlu pembahasan yang lebih mendalam.

Kebutuhan akan waktu pelaksanaan yang serba cepat, penyediaan volume pekerjaan dalam jumlah besar, membutuhkan inovasi pelaksanaan struktur yang tepat. Suatu system struktur pracetak (khususnya beton pratekan) dengan menggunakan sistem produksi komponen memakai “heat treatment” diharapkan dapat menjadi salah satu alternative pelaksanaan struktur dimasa depan.

Sekilas menyangkut teknologi ini akan dicoba diuraikan dalam dua bab terakhir dari buku ini, perihal beton pratekan yang mengalami pengolahan dengan panas (heat treatment), dan juga akan disampaikan tentang sebuah pengalaman penulis melakukan uji coba beban langsung pada component struktur pracetak yang merupakan sebuah balok jembatan (segmental) dalam skala penuh.

II. BETON PRATEKAN DAN BETON PRATEKAN PARSIAL

2.1 Klasifikasi Konstruksi Beton

Menurut CEB-FIB 1970 [2] ditinjau atas retak maka konstruksi beton dibedakan atas :

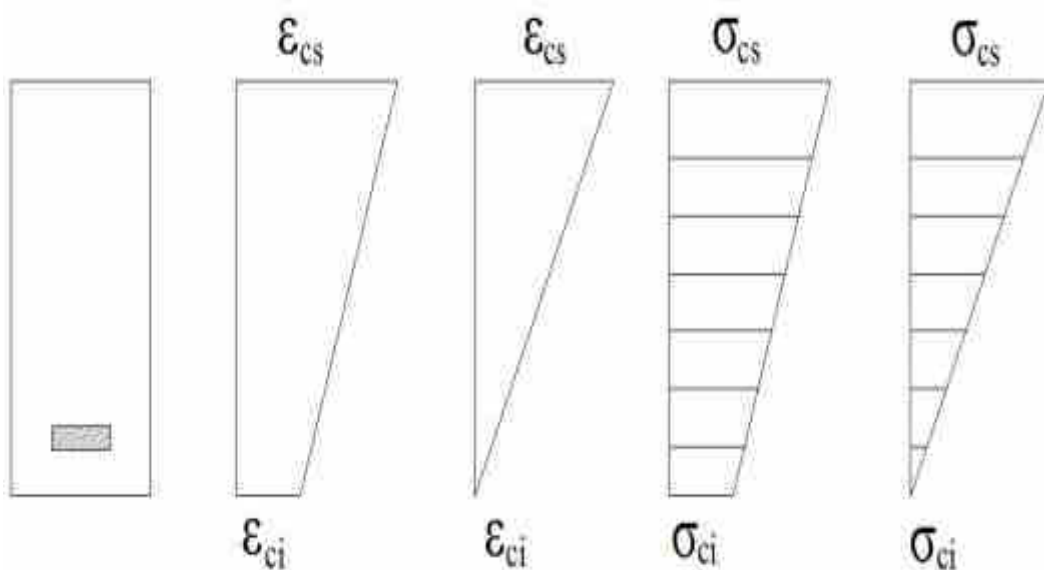
1. Retak-retak dihindari.

Kelas I :

Keadaan batas dekompresi tidak pernah tercapai walaupun dalam kombinasi pembebanan yang paling menguntungkan.

Struktur demikian ditujukan pada keadaan-keadaan tertentu seperti :

- Keadaan sekeliling yang korosif.
- Elemen struktur yang menerima tarik murni.
- Elemen struktur yang diperuntukkan pada beban-beban berulang dimana bahaya kelelahan mungkin timbul.



Dalam semua hal tegangan beton (σ_c) tidak boleh tarik.

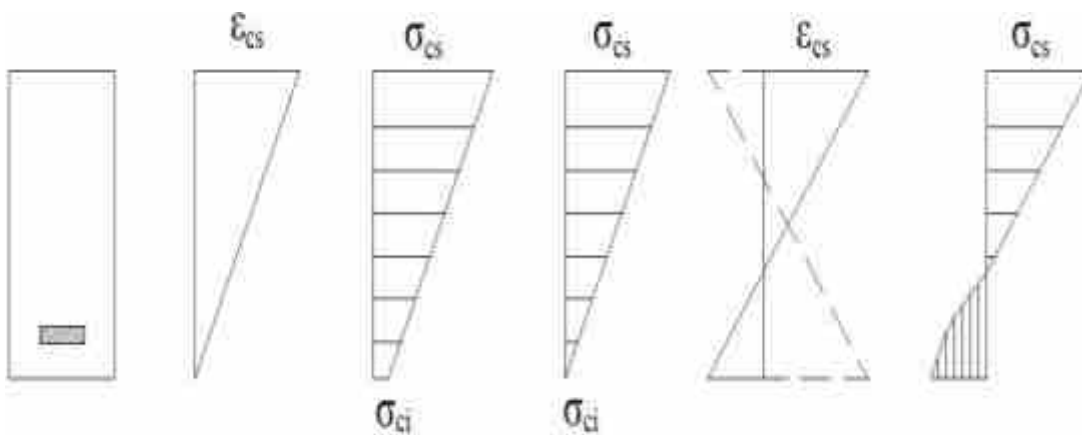
Gambar 2.1 Keadaan Tegangan dan Regangan Beton, Dari Penampang Balok Di Bawah Beban Maksimum Untuk Struktur Kelas I

Kelas II :

Keadaan formasi retak-retak tidak boleh timbul, walaupun dalam kondisi kombinasi pembebanan yang terburuk, tetapi batas dekompresi boleh tercapai di bawah beban permanent dan sebagian dari beban hidup. Umpama λ sama dengan perbandingan beban permanent (g) atas batas total ($g + p$) :

$$\lambda = \frac{g}{g + p} ; \text{dimana } 0 < \lambda < 1$$

Dapat ditulis bahwa di bawah kombinasi beban : $g + \lambda p$, keadaan penampang masih harus seperti kelas I tersebut di atas.



$\sigma_c \geq 0$ dibawah $\sigma_c \leq 0$ dibawah kombinasi $g + \lambda p$ kombinasi $p + g$

Gambar 2.2 Keadaan Tegangan dan Renggangan Beton, dari Penampang Balok Di Bawah Beban Tertentu Untuk Struktur Kelas II

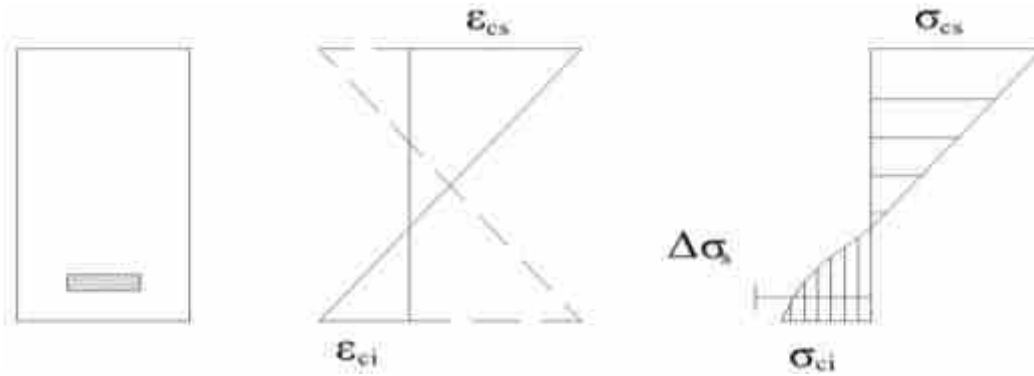
2. retak-retak dapat diterima.

Lebar retak harus dibatasi yang didasarkan atas pertimbangan sifat beban yang bekerja (lamanya beban) dan kondisi lingkungan.

Kelas III :

Pada umumnya penampang disini mempunyai tulangan campuran yaitu baja prategang dan baja tulangan biasa.

Kondisi batas retak, dekompresi diperkenankan terjadi sampai batas-batas tertentu harus ditaati.



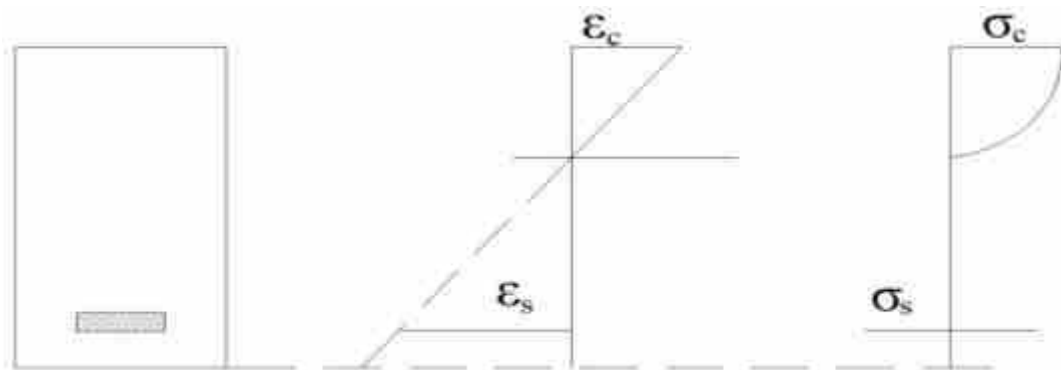
σ_c , $\Delta\sigma_s$ dibatasi oleh kombinasi beban $g + \Delta p$, dengan w_{max} dibatasi oleh kombinasi beban maksimum ($g + p$).

Gambar 2.3 Keadaan Tegangan dan Regangan dari Permukaan Balok Di Bawah Beban Tertentu Untuk Struktur Kelas III

Kelas IV :

Penampang disini hanya mempunyai tulangan biasa (tanpa baja pratekan).

Kondisi batas retak harus dipatuhi.



W_{max} dibatasi oleh beban $g+\lambda p$, dengan $0<\lambda<1$ atau oleh $g+p$ (beban total)

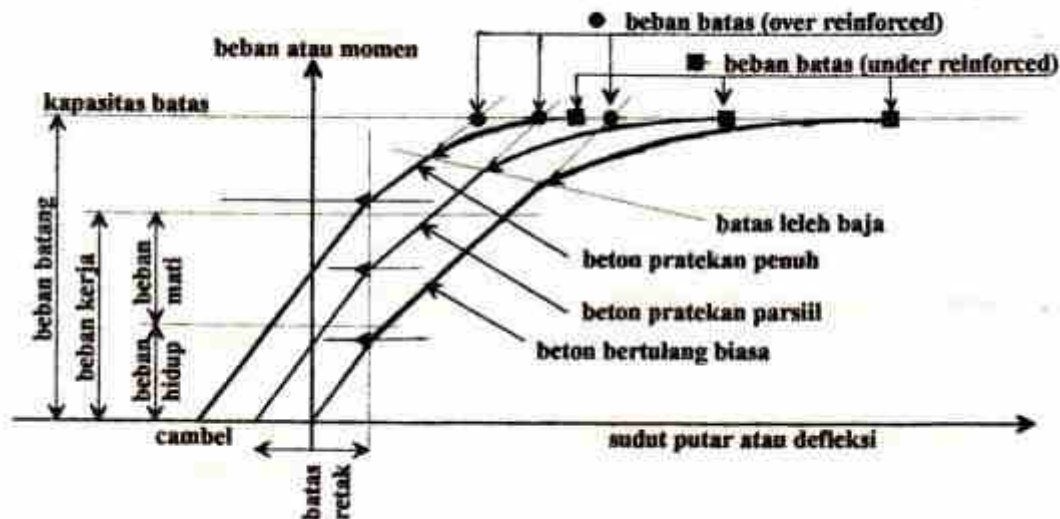
Gambar 2.4 Keadaan Tegangan dan Regangan dari Penampang Balok Di Bawah Beban Maximum Untuk Struktur Kelas IV

2.2 Klasifikasi Konstruksi Beton Pratekan Parsial.

Seperti telah disinggung pada Bab I, yaitu beton pratekan parsial adalah merupakan konstruksi campuran dari beton bertulang dan beton pratekan murni (*full prestress*). Dari klasifikasi yang dianut oleh CEP-FIB seperti yang diuraikan pada 2.1., maka posisi beton pratekan parsial ini

dengan mudah dapat dikategorikan akan termasuk pada kelas II dan kelas III, kelas I diisi oleh *full prestress* dan klasifikasi terakhir (kelas IV) adalah ditempati oleh beton bertulang.

Gambar 2.5 menunjukkan hubungan beban dan lendutan balok-balok pratekan total (*fully prestresse*), pratekan partiil dan beton bertulang dengan kemampuan batas lentur yang sama [3].



Gambar 2.5 Model Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Element Konstruksi Beton

Dari gambar di atas dapat dilihat besaran-besaran beban yang bekerja, termasuk beban yang menimbulkan retak untuk yang pertama.

Jelas dapat dilihat bahwa pada beton pratekan total beton mengalami retak pada saat beban rencana (*service load*) bekerja penuh, sedang untuk beton bertulang pada saat yang sama penampang sudah retak. Jadi jelas bahwa posisi beton pratekan partiil dan sifat-sifatnya akan tertak diantara kedua tipe struktur terdahulu masing-masing menjadi batas atas (pratekan total) dan batas bawah (beton bertulang).

Sehubung tidak retaknya penampang balok beton pratekan total pada saat beban kerja, maka tegangan baja pratekan tidak terlalu banyak meningkat, hampir dapat dikatakan tetap, hal ini akan berbeda pada

beton pratekan partiil, karena penampang retak, balok kehilangan kekakuan, dan akan terjadilah loncatan tegangan yang cukup besar selama berubah-ubahnya beban yang bekerja, posisi retak balok berada di daerah pengaruh beban hidup ($q = g + \lambda p$, dengan $0 < \lambda < 1$).

2.3. Keuntungan & Kerugian Beton Partial Prestressed Terhadap Full Prestressed

1. Keuntungan Pratekan ^[4]
 - a. analisa penampang lebih sederhana pada beban kerja untuk beton Pratekan total, karena pada saat itu keadaan penampang masih dalam stadium elastis sempurna. Berbeda halnya untuk beton Pratekan Partiil untuk beban yang sama (*service load*), karena penampang sudah retak, analisa akan jauh lebih kompleks dan panjang.
 - b. Sehubungan dengan retaknya penampang beton pratekan partiil seperti disebutkan di atas maka akan terjadi variasi tegangan cukup besar pada baja prategang maupun pada baja lunaknya. Gejala ini lebih memungkinkan terjadinya bahaya kelelahan *). Sedang pada beton pratekan total penampang tidak retak, variasi tegangan adalah kecil sehingga dari sudut pandang ini beton pratekan total lebih menguntungkan.
 - c. Masih sehubungan dengan retaknya penampang, maka lendutan yang akan terjadi akibat beban kerja pada beton pratekan partiil relative lebih besar dibanding pratekan total.
 - d. Untuk daerah lingkungan yang korosif, maka beton pratekan total lebih cocok karena penampang belum retak.

Catatan :

* Untuk ketentuan variasi tegangan-tegangan (beton maupun baja) salah satunya diatur dalam CEP-FIP 1978 ^[5].

2. Keuntungan Pratekan [4]

- a. Tidak jarang didapat bahwa beton pratekan partiil memberi nilai lebih ekonomis, karena pemanfaatan tegangan-tegangan lebih efektif.
- b. Akibat besarnya gaya pratekan yang diberikan pada beton pratekan total, dapat menimbulkan lendutan ke atas (*camber*) lebih besar, untuk kasus tertentu dapat menimbulkan masalah.
- c. Pada pratekan total akan membutuhkan penampang prakompresi yang relatif lebih besar, dengan demikian berakibat pada berat sendiri akan lebih besar. Dengan pratekan partiil penampang bisa dibuat lebih ramping.
- d. Kehadiran baja tulangan biasa pada beton pratekan partiil memberikan daktilitas dan *energy dissipation* lebih baik terutama dalam penampang-penampang krisis waktu terjadi beban siklus (*cyclic loading*). Keunggulan ini adalah keuntungan tersendiri pada beton pratekan partiil, apalagi dikaitkan dengan beban gempa yang mungkin terjadi.
- e. Pada dasarnya beban kerja adalah jarang terjadi penuh, yaitu $q = g + p$. Yang sering terjadi adalah : $q = g + \lambda p$; dimana $0 < \lambda < 1$. Menurut Leonhard yang disebut PARK [4], harga λ berkisar (20 @ 70) %. Keadaan ini sangat menguntungkan beton pratekan partiil. Konsiderasi penampang retak pada beban kerja penuh adalah jarang terjadi.
- f. terhadap bahaya kebakaran, beton pratekan total dapat kehilangan kemampuan secara drastis tetapi pada pratekan partiil karena adanya baja tulangan lunak hal ini lebih menguntungkan.

III. ANALISA PENAMPANG BETON PRATEKAN PARTIAL

3.1 Pendahuluan

Menurut *note* dari FIP [5], dinyatakan bahwa untuk beton pratekan partiiil ini masih ada beberapa perbedaan pendapat cara-cara pendekatannya. Di dalam laporan tersebut ditulis bahwa secara garis besar pendapat terbagi atas dua keinginan, sebagian mengarah ke Amerika dan yang lain cenderung ke Eropa.

Pada dasarnya mereka sepakat bahwa beban batas runtuh, beton bertulang, beton pratekan total maupun pratekan partiiil, keadaan penampang tidak berbeda sejak masing-masing penampang balok sudah retak. Keadaan keseimbangan berlaku yaitu $F_C = F_T$, dimana F_C adalah gaya tekan total dan F_T adalah gaya tarik total oleh tulangan (beton tarik diabaikan).

Untuk keadaan beban kerja (*service load*) beton pratekan partiiil mempunyai sifat-sifat diantara beton bertulang dan beton pratekan total (lihat gambar 2.1).

3.2 Prosentase Pratekanan

Kembali lagi dapat dilihat dalam Gambar 2.1, bahwa prosentase pratekan ini dapat berkisar dari 0 sampai dengan 1, atau (0 s/d 100%) pratekan.

Balok dengan prosentase 0% pratekan adalah balok beton bertulang, dan balok dnegan 100% pratekan adalah balok pratekan total (*fully prestressing*).

3.2.1 Partiil Prestressed Ratio Atas Dasar Momen Runtuh :

Cara ini didasarkan atas kapasitas batas dari masing-masing tulangan ^{[3] [5] [6]}.

$$P.P.R = \frac{A_p \cdot f_{p.u} \cdot z_{p.u}}{A_p \cdot f_{p.u} \cdot z_{p.u} + A_s \cdot f_{s.u} \cdot z_{s.u}}$$

Dimana :

Monograf Struktur Beton Pratekan Parsial

PPR adalah *partial prestressing ratio*

A adalah luasan

f adalah tegangan

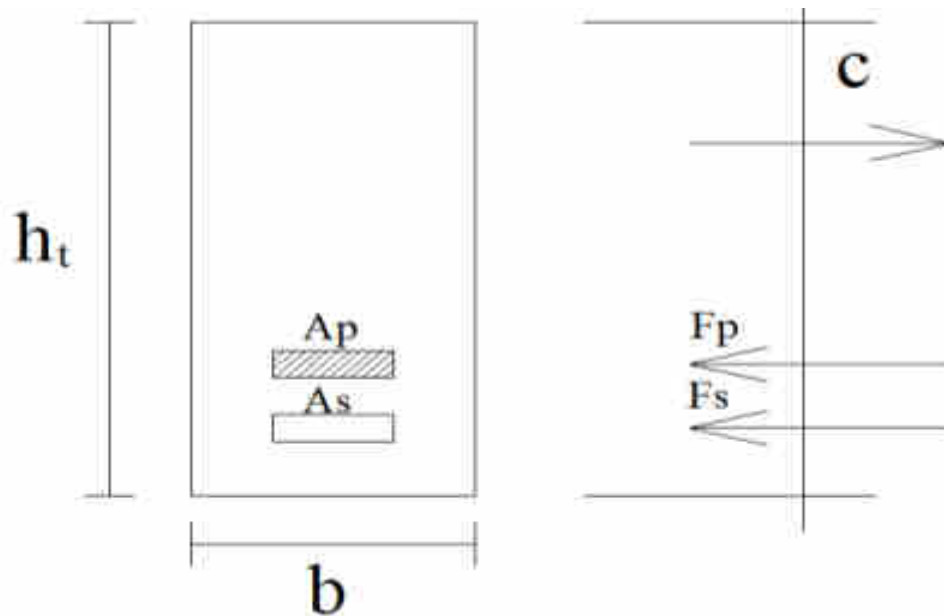
z adalah lengan momen dalam

huruf indek :

p, untuk baja pratekan

s, untuk baja lunak

u, untuk keadaan batas



Gambar 3.1 Sebuah Penampang Balok Praekan

Apabila PPR dinyatakan dalam momen, maka :

$$PPR = \frac{(M_u)_p}{(M_u)_p + (M_u)_s}$$

3.2.2 Prosentase Pratekan Atas dasar perbandingan momen dekompresi terhadap momen beban kerja penuh (*full service load*)

Cara ini dikembangkan oleh BACHMAN [7], dengan “K” sebagai simbol dari

$$\text{degree of prestressing. } K = \frac{M_{\text{dek}}}{M(g + p)}$$

Bila M_{dek} dekompresi tidak ada ($M_{\text{dek}} = 0$) maka $K = 0$, ini berarti adalah beton tanpa baja prategang atau beton bertulang sedang bila $M_{\text{dek}} = M(g + p)$, berarti $K = 1$, jadi ini berarti adalah pratekan penuh (pada pratekan penuh) $M(g + p)$ bekerja, penampang belum retak, dalam hal ini $M_{\text{dek}} \geq M(g + p)$.

Dengan cara ini, dapat direncanakan besarnya M_{dek} sesuai yang diinginkan untuk mengimbangi momen oleh beban yang dianggap sering terjadi : $M(g + \lambda p)$, harga λ sesuai Leonhard berkisar (20 @ 70)%, tergantung jenis strukturnya.

Jadi dengan demikian, dengan pratekan partiil suatu struktur dapat didesain secara efisien.

3.3 Perhitungan Momen

3.3.1 Hypotesa :

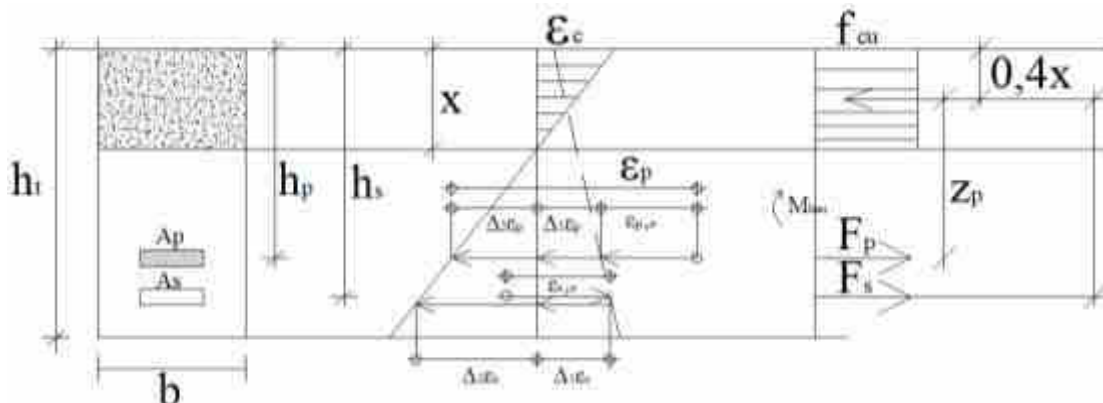
1. Penampang daftar tetap datar sebelum dan sesudah balok mengalami deformasi.

Asumsi ini tetap dipertahankan walaupun balok sudah dalam stadium retak. Balok dan baja mengalami deformasi secara bersamaan (tidak terjadi slip antara beton dan tulangan akibat rusaknya lekatan).

2. Keruntuhan didapat apabila perpendekan beton mencapai batas, $\epsilon_{cu} = 3,5\%$ untuk menahan momen diabaikan.
3. Setelah retak, adil beton tarik untuk menahan momen diabaikan.
4. Diagram tegangan beton dianggap diagram blok (*block stress*)

3.3.2 Metode Perhitungan :

3.3.2.1 Diagram deformasi :



Gambar 3.2 Diagram Deformasi Sebuah Penampang Balok Beton Pratekan Partiiil Serta Gaya-Gaya Yang Timbul

Gambar 3.2, menunjukkan diagram deformasi dan gaya-gaya yang ditimbulkan, untuk penampang balok beton pratekan partiiil.

Dari gambar 3.2 tersebtu di atas dapat ditulis :

$$\epsilon_p = \epsilon_{p,0} + \Delta_1 \epsilon_p + \Delta_2 \epsilon_p \dots\dots\dots (3-1.a)$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{s,0} + \Delta_1 \epsilon_s + \Delta_2 \epsilon_s \dots\dots\dots (3-2.a)$$

dimana :

$\epsilon_{p,0}$, $\epsilon_{s,0}$ adalah deformasi initial dari baja pratekan (p) dan baja lunak (s) berturut-turut.

$\Delta_1 \epsilon_p$, $\Delta_1 \epsilon_s$ adalah deformasi tambahan yang disebabkan oleh dekompressi.

$\Delta_2 \epsilon_p$, $\Delta_2 \epsilon_s$ adalah deformasi lanjut sejak dekompressi sampai keadaan batas.

3.3.2.1 Keadaan Seimbang :

$$M_{dalam} = M_{luar}$$

$$M = F_s \cdot Z_s + F_p \cdot Z_p \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$F_c = F_s + F_p \dots\dots\dots (3.3)$$

Untuk menghitung momen batas (M_u), maka tegangan-tegangan beton dan bajanya harus ditetapkan sesuai ketentuan [8] :

$$\sigma_{bu}^* = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \dots\dots\dots (3.4.a)$$

$$\sigma_{pu}^* = \frac{f_{yk}}{1,15} \dots\dots\dots (3.4.b)$$

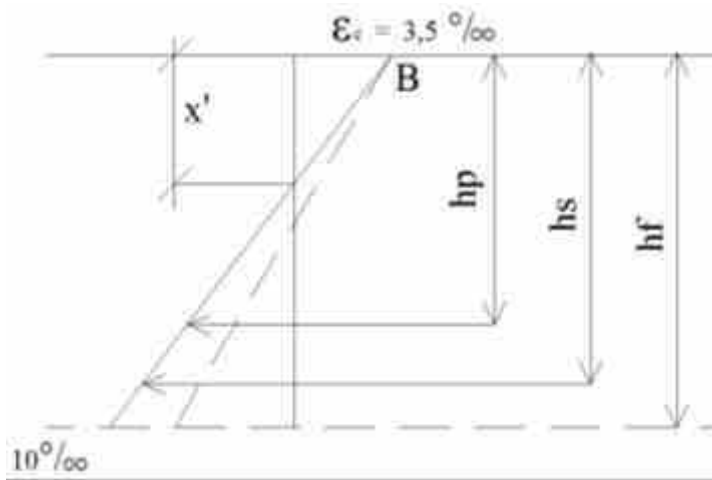
$$\sigma_{bu}^* = \frac{f_{sk}}{1,15} \dots\dots\dots (3.4.c)$$

Dengan pembatasan deformasi (Gambar 3.3) keseimbangan dapat diperoleh :

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \text{‰} \dots\dots\dots (3.5.a)$$

$$\epsilon_{su} = 10 \text{‰} \dots\dots\dots (3.5.b)$$

$$\epsilon_{pu} = 10 \text{‰} \dots\dots\dots (3.5.c)$$



Gambar: 3.3. Diagram Deformasi Dalam Keadaan Batas

Dengan demikian momen batas dapat dihitung lewat rumus (3.2)

$$M_u = F_{s,u} \cdot Z_{s,u} + F_{p,u} \cdot Z_{p,u} \dots\dots\dots (3.6.a)$$

atau

$$M_u = F_{c,u} \cdot Z_{c,u} \dots\dots\dots (3.6.a)$$

Jadi momen kerja (momen *service*) dapat ditentukan :

$$M_{serv} = \frac{M_u}{\gamma_s} \dots\dots\dots (3.6.a)$$