

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA DAN PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT BETON  
PRATEGANG DAN COR DI TEMPAT (IN-SITU) DENGAN  
MENGUNAKAN PERANCAH**



Disusun oleh:

**NURMANSYAH ALAMI**

No Mhs : 91 310 005

NIRM : 910051013114120005

**WILDAN ISMOYO**

No Mhs : 91 310 007

NIRM : 910051013114120007

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
1998**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA DAN PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT BETON  
PRATEGANG DAN COR DI TEMPAT (IN-SITU) DENGAN  
MENGUNAKAN PERANCAH**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
derajat Sarjana Teknik Sipil**

**Disusun oleh:**

**NURMANSYAH ALAMI**

**No Mhs : 91 310 005**

**NIRM : 910051013114120005**

**WILDAN ISMOYO**

**No Mhs : 91 310 007**

**NIRM : 910051013114120007**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**1998**

TUGAS AKHIR

ANALISA DAN PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT BETON  
PRATEGANG DAN COR DI TEMPAT (IN-SITU) DENGAN  
MENGUNAKAN PERANCAH

Disusun oleh:

NURMANSYAH ALAMI

No Mhs : 91 310 005  
NIRM : 910051013114120005

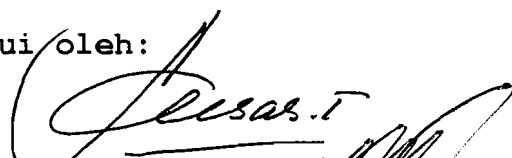
WILDAN ISMOYO

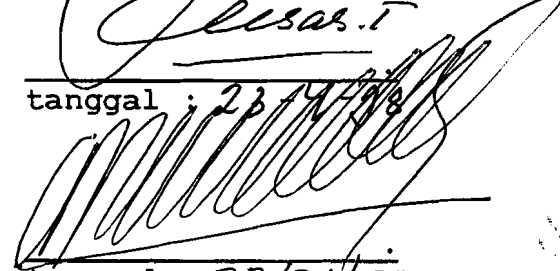
No Mhs : 91 310 007  
NIRM : 910051013114120007

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Susasntrawan, MS  
Dosen Pembimbing I

Ir. A. Kadir Aboe, MS  
Dosen Pembimbing II

  
tanggal : 23/4/98

  
tanggal : 22/04/98

## **ABSTRAKSI**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam perencanaan struktur menuntut perencana untuk menghasilkan suatu struktur yang ekonomis dan mempunyai kemampuan yang tinggi. Beton prategang, khususnya balok komposit prategang dapat menjawab permasalahan tersebut.

Perencanaan beton prategang komposit perlu pengetahuan yang luas tentang perilaku-perilaku struktur tersebut, sehingga dapat menganalisa tegangan-tegangan yang terjadi seperti momen lentur, geser dan defleksi yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja.

Balok komposit prategang adalah gabungan antara balok pracetak prategang dan pelat beton cor ditempat. Tujuan prategangan adalah untuk menimbulkan tegangan awal pada beton, sehingga beton dapat menahan tegangan tarik akibat beban total yang bekerja.

Keuntungan penggunaan beton komposit prategang adalah dapat menggunakan dimensi balok pracetak prategang yang relatif kecil untuk bentang dengan panjang 66 ft sampai 115 ft , dibandingkan dengan menggunakan balok prategang biasa.

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Wr.Wb**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada seluruh makhluk ciptaan-Nya. Shalawat dan salam ditujukan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa manusia ke jalan yang diridloi Allah SWT.

Laporan tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan jenjang strata I (S1) sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tidak sedikit kendala yang kami alami baik dalam mencari permasalahan, sumber tulisan maupun dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini sendiri. Sehingga setelah menyelesaikannya kami merasa bahagia, karena ada sesuatu yang kami dapatkan.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, kami mendapat bimbingan dan pengarahan dari beberapa pihak. Oleh sebab itu kami mengucapkan terima kasih kepada semua

pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih ini kami tujukan kepada Yth :

1. Bapak Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku dosen penguji.
6. Orang Tua dan keluarga kami, yang telah memberikan dorongan material maupun spiritual.
7. Teman-teman yang telah membantu dan memberikan masukan pada penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan, untuk itu kami mengharapkan saran yang bersifat membantu pengembangan permasalahan dalam laporan Tugas akhir ini sebagai masukan, sehingga menjadi lebih baik.

Akhirnya kami berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi semua pihak yang tertarik dan ingin mempelajarinya.

**Wassalam**

Yogyakarta, April 1998

Penyusun

Persembahkan  
 Dengan perasaan bahagia dan syukur kepada Allah SWT,  
 Kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini Kepada  
 Bapak dan Ibu Dosen,  
 Serta kakak dan adikku tersayang,  
 yang telah memberikan dorongan semangat dan agalmu...

"..Semangatnya abadi-ku sangat peka" (R.5 Halaman : 7)  
 dan pika kamu menyinkron,  
 pasti Allah akan memahalka nikmat-Ku,  
 ..Semangatnya abadi-ku kamu berprestasi,

"...Katakanlah: "Allah orang-orang yang mengetahui  
 mana dengan orang-orang yang tidak mengetahui?  
 Semangatnya orang yang berakhlak yang dapat  
 menerima pelajaran" (R.5 Ay-Zumar : 9)

"Dan Dia mendakwahi kamu sebagai orang beriman,  
 lalu Dia membenarkan petunjuk"  
 "Dan Dia mendakwahi kamu sebagai orang beriman,  
 lalu Dia membenarkan petunjuk" (R.5 Adh-Dhuha : 7-8)

Motto dan Persembahan:



## DAFTAR ISI

JUDUL .....	I
LEMBAR PENGESAHAN .....	II
ABSTRAKSI .....	III
KATA PENGANTAR .....	IV
MOTTO .....	VII
DAFTAR ISI .....	VIII
DAFTAR GAMBAR .....	XI
DAFTAR TABEL dan GRAFIK .....	XIII
DAFTAR NOTASI .....	XIV
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Batasan Masalah .....	2
1.3 Metode Analisa .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Pengertian Struktur Beton Komposit .....	6
2.1.1 Tinjauan Umum Struktur Komposit .....	6
2.1.2 Macam Struktur Komposit .....	12
2.2 Konsep Dasar Beton Prategang .....	14
2.2.1 Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis .....	15

2.2.2 Sistem Prategang Sebagai Kombinasi	
Baja Mutu Tinggi dengan Beton .....	20
2.2.3 Sistem Prategang Untuk Mencapai	
Keseimbangan beban .....	21
2.3 Sistem-Sistem Prategangan .....	23
2.3.1 Beton Prategang Sistem Pratarik .....	23
2.3.2 Beton Prategang Sistem Pasca Tarik ...	24
2.4 Beban dan Persyaratan Tegangan .....	26
2.4.1 Macam-Macam Beban .....	26
2.4.2 Faktor Beban dan Faktor Reduksi .....	26
2.4.3 Tahap Pembebanan Balok Sistem Pasca	
Tarik.....	28
2.4.4 Dasar Analisa Tegangan .....	29
2.5 Analisa Tegangan Lentur Pada Struktur Beton	
Prategang .....	32
2.6 Kehilangan Gaya Prategang .....	36
2.7 Karakteristik Bahan .....	38
2.7.1 Beton .....	38
2.7.2 Baja .....	40
2.7.3 Bahan Pelengkap .....	41
<b>BAB III ANALISA STRUKTUR BALOK KOMPOSIT PRATEGANG .....</b>	<b>43</b>
3.1 Pengertian Umum .....	43
3.2 Metode Elastis Pada Struktur Balok Komposit	

Menggunakan Perancah .....	44
3.3 Kapasitas Lentur Struktur Balok Komposit	
Tampang T .....	49
3.4 Gaya Geser Horizontal Pada Balok Komposit ...	54
3.4.1 Gaya Geser Badan .....	55
3.4.2 Gaya Geser Horizontal pada Permukaan	
Singgung .....	56
<b>BAB IV PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT PRATEGANG MENGGUNA</b>	
<b>KAN PERANCAH .....</b>	<b>59</b>
4.1 Pendahuluan .....	59
4.2 Perencanaan Balok Komposit Prategang .....	60
<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>	<b>78</b>
5.1 Hasil Analisa Hitungan .....	78
5.2 Pembahasan .....	80
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>92</b>
6.1 Kesimpulan .....	92
6.2 Saran .....	93
<b>PENUTUP .....</b>	<b>94</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>96</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe-tipe tampang struktur komposit .....	8
Gambar 2.2 Tegangan penampang komposit .....	10
Gambar 2.3 Distribusi tegangan konstruksi komposit dengan penyangga .....	13
Gambar 2.4 Distribusi tegangan konstruksi komposit tanpa penyangga .....	14
Gambar 2.5 Penampang balok beton dengan tendon konsentris .....	18
Gambar 2.6 Distribusi tegangan balok dengan tendon konsentris .....	18
Gambar 2.7 Penampang balok beton dengan tendon ekSentris .....	19
Gambar 2.8 Distribusi tegangan balok dengan tendon eksentris .....	19
Gambar 2.9 Momen penahan internal pada balok beton prategang dan balok beton biasa .....	20
Gambar 2.10 Balok beton menggunakan baja mutu tinggi .....	20
Gambar 2.11 Balok beton dengan tendon parabola .....	22
Gambar 2.12 Sistem prategangan secara pratarik .....	24
Gambar 2.13 Penarikan secara longitudinal pada	

sistem pasca tarik .....	25
Gambar 2.14 Gaya prategang pada balok .....	32
Gambar 2.15 Penampang geometris balok prategang .....	33
Gambar 2.16 Diagram tegangan pada saat awal .....	34
Gambar 2.17 Diagram tegangan pada saat layan .....	35
Gambar 3.1 Tampang pracetak dan komposit .....	44
Gambar 3.2 Tegangan elastis pada tampang komposit .....	45
Gambar 3.3 Lebar sayap efektif dan lebar sayap modifikasi .....	48
Gambar 3.4 Distribusi teg dan regangan pada saat runtuh .....	50
Gambar 3.5 Diagram tegangan desak dan tarik pada sayap dan sebagian pada badan .....	52
Gambar 3.6 Diagram tegangan desak dan tarik pada sayap .....	52

## DAFTAR TABEL dan GRAFIK

Tabel 2.1 Kombinasi beban dan faktor-faktor beban .....	27
Tabel 2.2 Faktor reduksi .....	28
Tabel 4.1 Perhitungan Tegangan dan momen pada blok ujung .....	76
Tabel 5.1 Hasil perhitungan untuk $h_f/h=0,1$ .....	80
Tabel 5.2 Hasil perhitungan untuk $h_f/h=0,2$ .....	83
Tabel 5.3 Hasil perhitungan untuk $h_f/h=0,3$ .....	86
Grafik 5.1 Grafik hubungan antara tinggi balok pracetak dan panjang bentang terhadap perbandingan $h_f/h$ .....	88
Grafik 5.2 Grafik hubungan antara luas balok pracetak dan panjang bentang terhadap perbandingan $h_f/h$ .....	88
Grafik 5.3 Grafik hubungan antara jumlah strand dan panjang bentang terhadap perbandingan $h_f/h$ .....	89
Grafik 5.4 Grafik hubungan antara momen nominal dan panjang bentang terhadap terjadi dengan perbandingan $h_f/h$ .....	89
Grafik 5.5 Grafik hubungan antara defleksi dan panjang bentang terhadap perbandingan $h_f/h$ ...	90

## NOTASI

$h$	=	tinggi balok pracetak
$h_f$	=	tebal sayap balok pracetak
$b_f$	=	lebar sayap balok pracetak
$b_w$	=	lebar sayap balok pracetak
$P_0$	=	gaya prategang awal
$P_e$	=	gaya prategang efektif
$A_{cp}$	=	luas tampang pracetak
$A_{cc}$	=	luas tampang komposit
$r_p$	=	jari-jari girasi penampang beton pracetak
$r_c$	=	jari-jari girasi penampang beton komposit
$I_p$	=	inersia balok pracetak
$I_c$	=	inersia balok komposit
$L$	=	panjang bentang bersih
$L_c$	=	jarak antar balok
$e$	=	eksentrisitas tendon
$h_s$	=	tebal pelat (beton cor ditempat)
$b_{eff1}$	=	lebar sayap efektif ( $b_w + 16 h_f$ )
$b_{eff2}$	=	lebar sayap efektif ( $2 \times 0,5L_c$ )
$b_{eff3}$	=	lebar sayap efektif ( $L/4$ )
$b_m$	=	lebar modifikasi

$C_{tp}/C_{bp}$  = jarak titik berat atas/bawah penampang beton  
pracetak

$C_{tc}/C_{bc}$  = jarak titik berat atas/bawah penampang beton  
komposit

$S_{tp}/S_{bp}$  = modulus tampang serat atas/bawah balok pracetak

$S_{tc}/S_{bc}$  = modulus tampang serat atas/bawah balok komposit

$M_D$  = momen akibat beban berat sendiri balok pracetak.

$M_{SD}$  = momen akibat berat sendiri pelat cor beton

$M_{CSD}$  = momen akibat berat sendiri setelah menjadi  
komposit

$M_L$  = momen akibat beban hidup

$f_t/f_b$  = tegangan serat atas/bawah

$M$  = momen akibat beban eksternal

$y$  = jarak yang ditinjau terhadap titik berat  
penampang

$W_{imbang}$  = beban berimbang

$W_{netto}$  = beban netto eksternal

$M_{netto}$  = tegangan pada serat penampang

$f$  = tegangan

$f'_{ci}$  = tegangan tekan pada serat bawah beton setelah  
tahap transfer



- $f'_c$  = kuat tekan beton ditentukan  
 $f_{pu}$  = kuat tarik yang disyaratkan untuk tendon  
prategang  
 $f_{py}$  = kuat luluh tendon prategang  
 $W_U$  = beban ultimit  
 $W_D$  = beban mati  
 $W_L$  = beban hidup  
 $A_{cs}$  = luas pelat  
 $M_u$  = momen ultimit  
 $M_{n1}$  = momen nominal yang terjadi  
 $M_{n2}$  = momen nominal yang dapat ditahan  
 $C$  = gaya tekan  
 $T$  = gaya tarik  
 $k_t$  = kern atas  
 $k_b$  = kern bawah  
 $e_{1-6}$  = jarak tendon dari garis netral balok komposit  
 $\Delta$  = defleksi  
 $\emptyset$  = luas tendon  
 $V_h$  = tegangan geser horisontal maksimum  
 $V$  = gaya geser yang bekerja pada elemen komposit  
 $b_v$  = lebar bidang geser yang dihitung atau lebar

bidang singgung antara elemen komposit

$d_{pc}$  = jarak antara permukaan serat desak tampang  
komposit ke garis netral elemen pracetak

$V_u$  = gaya geser ultimit

$V_n$  = gaya geser nominal

$V_{nh}$  = gaya geser nominal horisontal

$F_y$  = tegangan luluh rencana, maksimal 60000 psi

$A_{vf}$  = luas gaya geser gesekan

$\mu$  = koefisien gesekan

$\mu = 1,0\lambda$ , jika pelat cor beton berada pada permukaan  
yang kasar

$\mu = 0,6\lambda$ , jika pelat cor beton pada permukaan yang  
tidak kasar

$\lambda$  = faktor jenis beton.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan Teknologi Teknik Sipil terus mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan di bidang-bidang lain. Selain itu kemajuannya juga dikarenakan tuntutan mutu, efisiensi waktu dan biaya. Para ahli teknik sipil dan perencana dituntut untuk dapat menciptakan, mengerti serta menggunakan suatu cara yang paling efisien dan efektif dalam penggunaan teknologi tersebut.

Struktur beton komposit merupakan salah satu dari penciptaan teknologi dibidang Teknik Sipil. Struktur beton ini adalah struktur gabungan antara dua bahan atau lebih yang mempunyai sifat dan kekuatan yang berbeda. Struktur beton komposit dapat berupa gabungan antara beton dengan baja profil atau gabungan antara beton cetak dengan beton cor ditempat. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai struktur beton komposit antara balok beton pracetak prategang dengan pelat cor

ditempat. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa pada dasarnya struktur beton komposit adalah struktur gabungan dari macam material yang sama tetapi mempunyai sifat yang berbeda, maka untuk menyelaraskan kedua material tersebut perlu adanya analisa terhadap struktur tersebut. Pada struktur beton komposit, beton pracetak prategang memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari beton cor langsung ditempat. Jika keduanya disatukan untuk bekerja menahan gaya-gaya yang terjadi, harus dapat menjadi satu kesatuan yang monolit (komposit). Perencanaan penampang beton komposit lebih kompleks karena terdapat banyak kemungkinan cara penggabungan dalam membentuk penampang beton komposit.

## **1.2 Tujuan dan batasan masalah**

Tujuan dari studi literatur mengenai struktur beton komposit, beton pracetak prategang dan beton cor ditempat (cast in-place) dengan metode konstruksi menggunakan perancah adalah sebagai berikut:

1. Mampu menganalisa mekanisme gaya-gaya yang bekerja pada struktur balok beton komposit pracetak prategang dan cor langsung ditempat (cast in-place).

2. Mampu menganalisa perilaku struktur balok beton komposit terhadap pengaruh defleksi, lentur dan geser yang disebabkan oleh beban yang bekerja.
3. Mampu menganalisa tegangan-tegangan yang terjadi pada tampang balok beton komposit sehingga diperoleh kapasitas tampang yang efisien dan aman.
4. Hasil dari seluruh analisa dapat dijadikan pedoman dalam pemanfaatan teknologi teknik sipil khususnya pada struktur beton komposit.

Batasan-batasan masalah yang diambil pada penyusunan studi literatur ini adalah sebagai berikut :

1. beton komposit yang digunakan adalah beton pracetak prategang (balok) dengan pelat beton cor ditempat,
2. balok beton pracetak prategang yang digunakan menggunakan sistem prategang pasca tarik,
3. penarikan tendon balok pracetak dilakukan sebelum pengecoran pelat,
4. tinjauan tampang balok beton pasca tarik sebelum terjadi komposit adalah tampang I setelah terjadi komposit menjadi tampang T,

5. analisa tegangan dilakukan pada saat struktur belum menjadi komposit dan setelah struktur menjadi komposit,
6. analisa dilakukan hanya pada struktur balok,
7. struktur yang ditinjau adalah struktur balok lantai bangunan gedung,
8. struktur terletak pada tumpuan sederhana,
9. metode konstruksi yang digunakan adalah sistem konstruksi menggunakan perancah,
10. perhitungan penulangan pelat tidak termasuk dalam perencanaan,
11. peraturan analisa pembebanan disesuaikan dengan ACI-Code 1989.

### **1.3 Metoda Analisa**

Pada penulisan tugas akhir ini metoda analisa yang digunakan :

#### **1. Bahan dan Perilaku Struktur**

Sebelum merencanakan suatu struktur harus terlebih dahulu dipahami karakteristik bahan dan perilaku dari penggunaan struktur tersebut. Kemudian memahami ketentuan dasar untuk selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan.

## 2. Penetapan Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan sesuai dengan tinjauan yang akan dianalisa dan tujuan yang akan dicapai. Pada analisa tegangan lentur balok komposit menggunakan metoda elastis dan analisa kekuatan lentur menggunakan metoda ultimit.

## 3. Perhitungan Struktur

Perhitungan struktur dilakukan sesuai dengan karakteristik bahan, perilaku struktur, beban-beban yang bekerja dan metode analisa yang digunakan. Sehingga perhitungan perencanaan dapat dilakukan sesuai tujuan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Struktur Beton Komposit

##### 2.1.1 Tinjauan Umum Struktur Komposit

Seperti diketahui bahwa balok merupakan bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penerus beban dari pelat ke struktur kolom atau ke tumpuan. Balok prategang komposit dipakai bila dikehendaki suatu bentang yang panjang atau bila beban yang diterima balok cukup besar sehingga perlu dipergunakan suatu balok yang kuat tetapi efisien.

Istilah konstruksi komposit pada struktur beton prategang adalah konstruksi gabungan dari beton pracetak prategang (balok) dengan beton cor ditempat (pelat). Bentuk elemen-elemen pracetak prategang antara lain balok T tunggal, T ganda dan I serta pelat berongga. Pada pelaksanaan konstruksi komposit biasanya pelat beton cor ditempat digunakan sebagai penutup (topping) dan biasanya tanpa tulangan. Selain itu terdapat juga struktur komposit menggunakan balok I

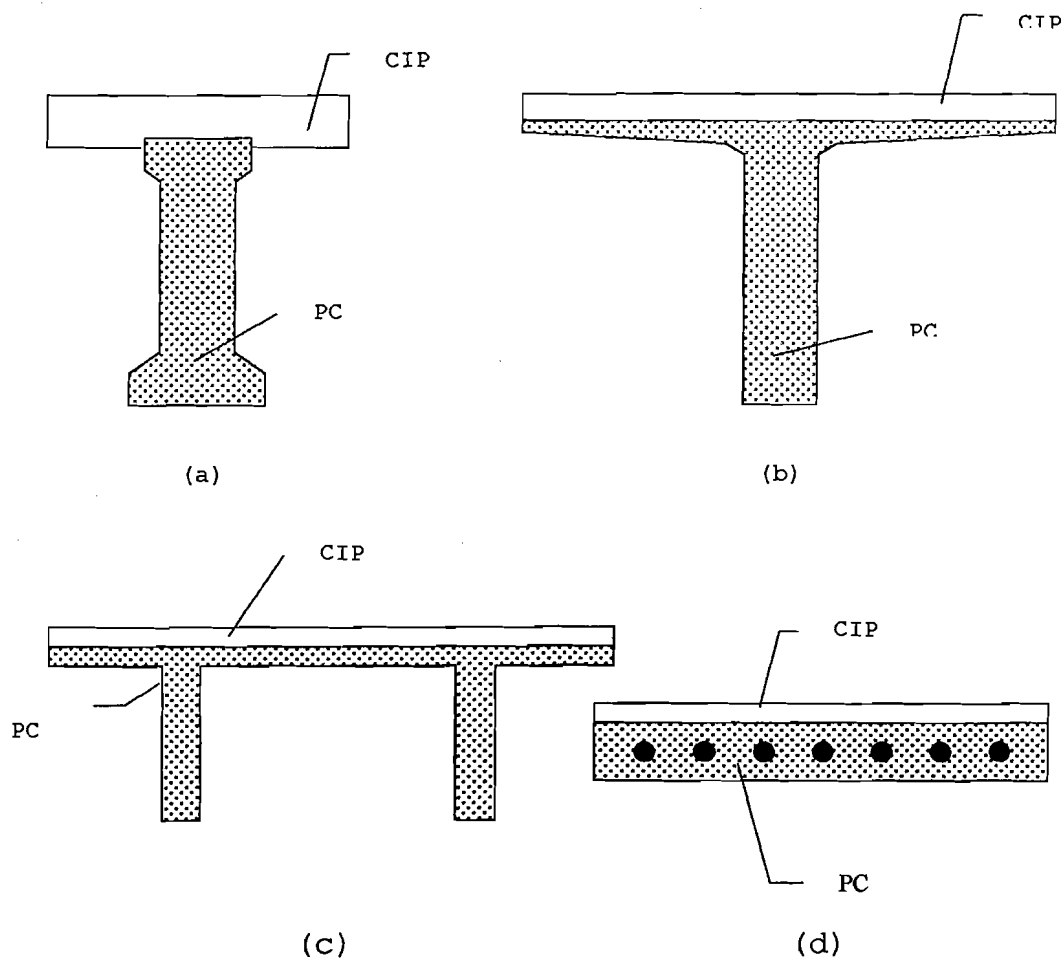


pracetak prategang yang dikombinasikan dengan pelat beton bertulang (cor langsung ditempat) sehingga kemudian perilaku balok berubah menjadi balok T (struktur balok hibrid). Jika balok tersebut ditegangkan setelah pelat penutup mengeras maka analisa perilaku balok adalah balok T komposit. Sedangkan jika balok I ditegangkan sebelum pengecoran pelat maka analisa dilakukan pada balok sebelum komposit (tampang I) dan sesudah menjadi komposit (tampang T).

Bentuk dari struktur komposit yang umum digunakan dapat dilihat seperti pada gambar 2.1. Bagian elemen pracetak (PC) berarsir dan bagian elemen pelat cor ditempat (CIP) tidak berarsir.

Tampang balok pada gambar 2.1a sering digunakan pada struktur jembatan jalan raya dengan bentang pendek atau menengah. Sedangkan tampang balok T tunggal seperti pada gambar 2.1b sering digunakan pada struktur dengan bentang menengah sampai yang panjang. Balok ini sering digunakan untuk struktur pelat atap atau sistem pelat lantai seperti areal parkir bertingkat. Kemudian untuk tampang struktur komposit yang menggunakan balok tampang T ganda, gambar 2.1c, sering digunakan sebagai balok untuk bentang pendek atau menengah. Dan pelat

berongga (*Hollowcore*), gambar 2.1d, digunakan pada struktur lantai.



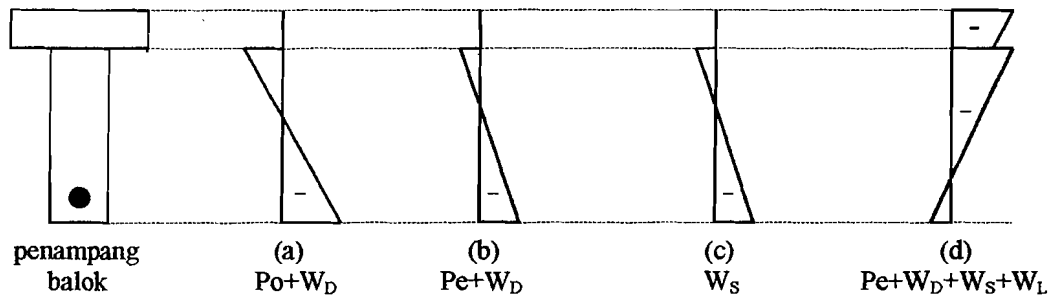
**Gambar 2.1:** Tipe-tipe tampang struktur komposit, (a) balok I, (b) balok T tunggal, (c) balok T ganda, (d) pelat berongga (*hollowcore*).

Perencanaan pelat beton penutup (*topping*) biasanya dengan ketebalan 2 atau 3 inci untuk pelat lantai bangunan jika direncanakan sebagai elemen non struktural, sedangkan apabila dianggap sebagai elemen

struktural atau digunakan untuk pelat pada struktur jembatan ketebalannya direncanakan lebih dari 3 inci.

Beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam merencanakan balok komposit, antara lain kapasitas momen, kapasitas geser, mekanisme gaya-gaya yang bekerja dan perilaku balok setelah menerima beban kerja.

Pada Tugas Akhir ini akan diuraikan mengenai struktur beton komposit antara balok pracetak prategang dengan pelat beton cor langsung di tempat (cast in-place). Gambar 2.2 menunjukkan distribusi tegangan penampang balok komposit ditengah-tengah bentang, balok tampang T, dimana pada pelaksanaanya balok pracetak prategang diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum pengecoran pelat. Pada pelaksanaan struktur ini balok menggunakan perancah sehingga beban pelat belum bekerja pada saat belum menjadi komposit dan kemudian perancah dilepas setelah struktur menjadi komposit.



**Gambar 2.2:** *Tegangan penampang komposit*

Pada gambar 2.2 diperlihatkan distribusi tegangan untuk berbagai tahap pembebanan.

1. Karena gaya prategang awal dan berat sendiri balok, pada serat bawah akan terjadi desak dan tarik pada serat atas. Gaya tarik  $T$  pada baja dan gaya tekan  $C$  pada beton membentuk kopel penahan dengan lengan momen yang kecil.
2. Setelah terjadi kehilangan gaya prategang, gaya prategang efektif dan berat balok akan menghasilkan tegangan yang lebih rendah pada serat bawah dan tarikan atau tegangan yang kecil pada serat atas. Kopel  $C-T$  akan bekerja dengan lengan momen yang lebih besar.
3. Pelat yang dicor ditempat diatas balok pracetak beratnya akan dipikul oleh perancah, sehingga tidak akan menimbulkan tambahan tegangan.
4. Setelah tumpang menjadi komposit perancah dilepas dan semua beban akan bekerja, yaitu beban sendiri,

beban akibat pelat, beban hidup dan beban mati yang lain. Akibat beban-beban tersebut akan menghasilkan distribusi tegangan seperti pada gambar (d), dengan sedikit tarikan atau tekanan pada serat bawah, tetapi dengan tegangan tekan yang tinggi pada serat atas balok dan pelat. Kopel T-C sekarang bekerja dengan lengan momen yang cukup besar.

Untuk mencegah terjadinya kehancuran akibat gaya horisontal, balok pracetak prategang dibuat menyatu dengan pelat cor beton ditempat sedemikian sehingga menjadi kesatuan yang monolit. Kerja beton komposit antara dua komponen akan tercapai bila terdapat tahanan geser antara kedua komponen tersebut. Tahanan Geser akan terjadi dengan membuat kasar permukaan komponen beton pracetak atau dengan memberi "stud connector" yang biasanya berupa dowel. Kasus diatas adalah kasus yang sederhana dari kerja komposit, ada beberapa kasus lain seperti beton pracetak dan bagian yang dicor ditempat diletakkan pada begesting yang ditumpu dibawahnya dan dapat dibongkar setelah pelat beton mengeras. Hal ini memungkinkan seluruh penampang komposit untuk menahan momen yang dihasilkan oleh berat pelat, jadi balok pracetak praktis tidak memikul berat sendiri.

Pada unit pratekan yang berkekuatan tinggi tendon baja digunakan untuk menahan beban pada daerah tarik, sedangkan beban pada daerah tekan ditahan oleh beton cor langsung ditempat yang memiliki kekuatan relatif rendah.

### 2.1.2 Macam Konstruksi Komposit

Ditinjau dari pelaksanaan pengerjaannya konstruksi beton komposit dapat dibagi menjadi dua metode pelaksanaan.

#### 1. Metode Konstruksi dengan Perancah (Fully Shored Construction)

Pada metode Konstruksi ini tegangan-tegangan beban mati yang timbul pada unit-unit pratekan pracetak dapat diminimalisasi dengan memberikan perancah sewaktu pengecoran pelat (Cast in place) dilaksanakan.

Pada struktur beton prategang komposit terjadi dua keadaan, yaitu sebelum struktur menjadi komposit dan setelah struktur menjadi komposit. Nilai tegangan-tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut ini.

##### a. Tegangan sebelum terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 - \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} \quad (2.1)$$

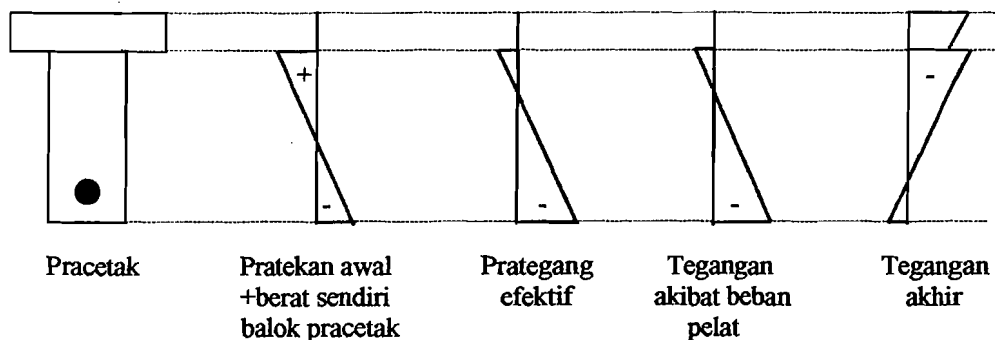
$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} \quad (2.2)$$

b. Tegangan setelah terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} - \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{tc}} \quad (2.3)$$

$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} + \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{bc}} \quad (2.4)$$

Distribusi tegangan pada metode ini dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3:** Distribusi tegangan konstruksi komposit dengan perancah

## 2. Metode Konstruksi Tanpa Perancah (Unshored Construction)

Pada metode ini unit pracetak tidak diberi perancah sewaktu pelaksanaan pengecoran beton pelat (cast in place) dilaksanakan. Tegangan-tegangan yang timbul pada unit pracetak karena beban berat sendiri gelagar dan beban mati dari beton cetak diletakkan.

Pada struktur beton prategang komposit terjadi dua keadaan, yaitu sebelum struktur menjadi komposit dan

setelah struktur menjadi komposit. Tegangan-tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut ini.

a. Tegangan sebelum terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 - \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{tp}} \quad (2.5)$$

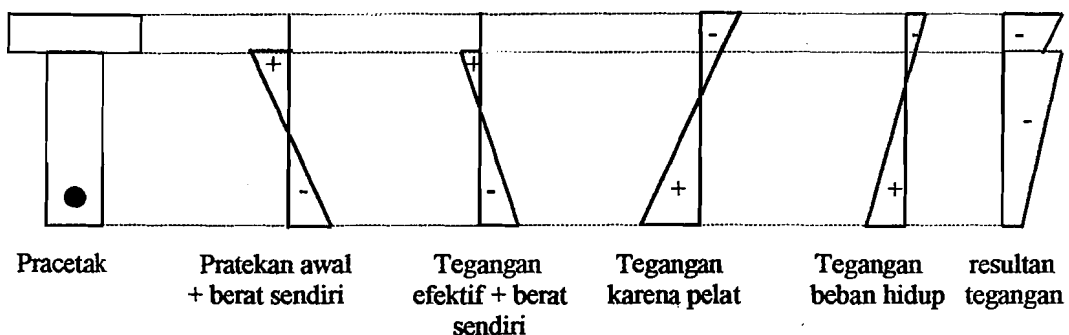
$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bp}} \quad (2.6)$$

b. Tegangan setelah terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 - \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{tp}} - \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{tc}} \quad (2.7)$$

$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{tp}} + \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{tc}} \quad (2.8)$$

Distribusi tegangan pada metode ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4:** Distribusi tegangan konstruksi komposit tanpa perancah

## 2.2 Konsep Dasar Beton Prategang

Karena struktur beton komposit merupakan struktur gabungan dari beton pracetak prategang dengan beton



cetak ditempat, maka perlu dijelaskan mengenai beton prategang sebagai salah satu unsur dari struktur beton komposit.

Beton prategang merupakan salah satu dari hasil perkembangan teknologi didunia konstruksi. Beton prategang merupakan kombinasi aktif dari beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi. Hal ini dapat dicapai dengan menarik baja (tendon) dan menahannya ke beton, sehingga akan mengakibatkan beton pada keadaan tertekan. Atau beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal yang besar dan distribusi tegangan sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi beban eksternal sampai batas tertentu, tegangan akhir yang terjadi adalah akibat beban eksternal.

Ada tiga macam konsep yang berbeda yang dapat digunakan untuk menganalisa sifat dasar beton prategang.

### **2.2.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis**

Pada sistem ini beton ditransformasikan dari bahan yang bersifat getas menjadi bahan yang bersifat elastis dengan cara memberikan tekanan atau tegangan terlebih dahulu (penarikan tendon/gaya prategang)  $P_0$ . Pada waktu gaya prategang dialihkan,  $T=P_0$ . Setelah kehilangan gaya

prategang  $T=P_e$ . Meskipun nilai  $T$  berubah pada waktu balok melentur akibat pembebanan, perubahan tersebut sangat kecil dan pada perencanaan dapat diabaikan.

Konsep ini merupakan ide dari Eugene Freyssinet, yang akibat dari penarikan tendon, beton yang semula tidak mampu menahan tarik menjadi mampu menahan tegangan tarik. Sehingga dapat dikatakan tidak ada tegangan tarik pada beton dan dapat diambil kesimpulan jika tidak ada tegangan tarik pada beton tidak akan terjadi retak pada beton tersebut. Dengan demikian beton yang semula adalah bahan getas berubah menjadi bahan elastis.

Berdasarkan pemikiran tersebut beton dianggap sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan, yaitu pembebanan gaya internal prategang dan pembebanan eksternal dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Retak yang terjadi pada beton dapat dicegah atau dikurangi oleh gaya prategang yang dihasilkan dari penarikan tendon. Gaya yang diakibatkan karena penarikan tendon akan menghasilkan gaya tekan pada beton dan dapat dilakukan secara konsentris maupun eksentris terhadap titik berat penampang beton pracetak.

### 1. Tendon secara konsentris

Gaya prategang ( $P$ ) pada penarikan tendon diletakkan pada titik berat penampang atau garis netral penampang seperti terlihat pada gambar 2.5. Gambar 2.6 adalah distribusi tegangan yang terjadi pada balok dengan tendon konsentris. Akibat gaya prategang  $P$ , timbul tegangan tekan merata sebesar :

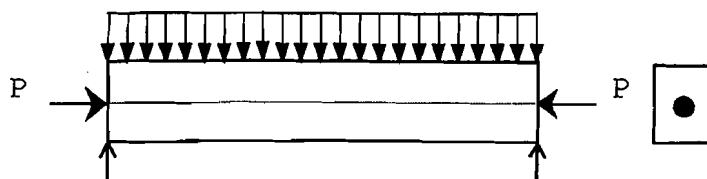
$$f = \frac{P}{A} \quad (2.9)$$

Sedangkan momen eksternal ( $M$ ) pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok timbul tegangan sebesar :

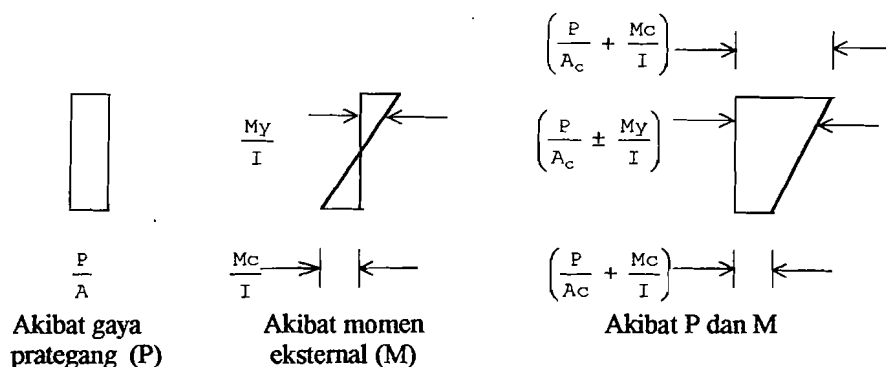
$$f = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2.10)$$

Tegangan akhir yang terjadi akibat gaya prategang dan momen eksternal adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} \quad (2.11)$$



**Gambar 2.5:** Penampang beton dengan tendon konsentris

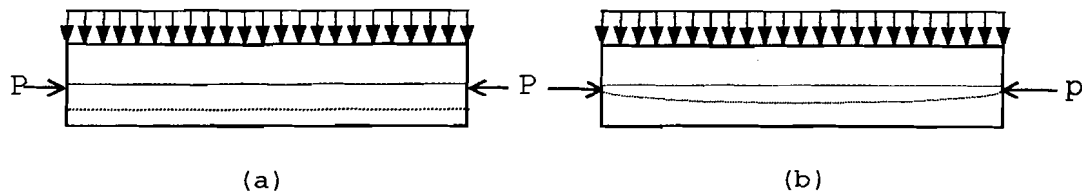


**Gambar 2.6:** Distribusi tegangan sepanjang penampang beton tendon konsentris

## 2. Tendon Secara Eksentris

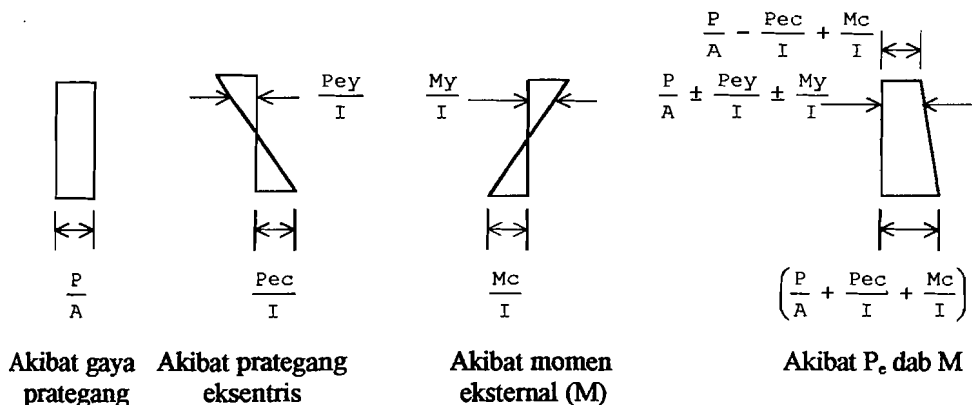
Pada cara ini tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton pracetak. Eksentrisitas dapat berupa garis parabola maupun sejajar dengan garis netral, seperti pada gambar 2.7. Pada resultan gaya tekan  $P$  pada beton bekerja pada titik berat tendon yang berjarak  $e$  dari garis netral beton. Akibat gaya prategang yang eksentris beton dibebani oleh momen dan beban langsung sehingga akibat gaya prategang tersebut dan momen yang dihasilkan oleh sistem prategang tersebut maka tegangan akhir yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e \cdot c}{I} \pm \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.12)$$



**Gambar 2.7:** Balok dengan tendon eksentrisitas tetap dan parabola

Distribusi tegangan pada balok prategang dengan eksentrisitas  $e$  adalah seperti pada gambar 2.8.

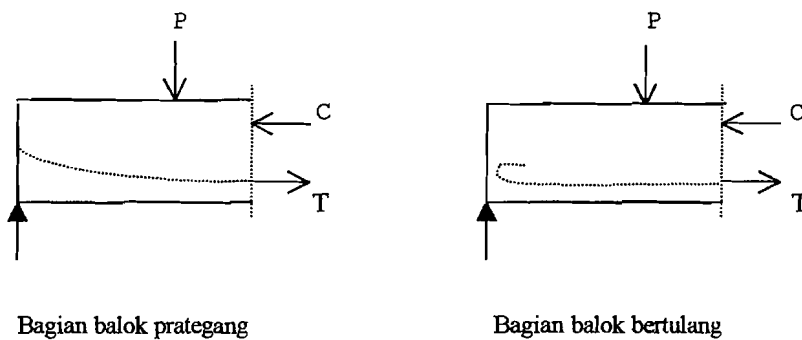


**Gambar 2.8:** Distribusi tegangan sepanjang penampang beton tendon eksentris

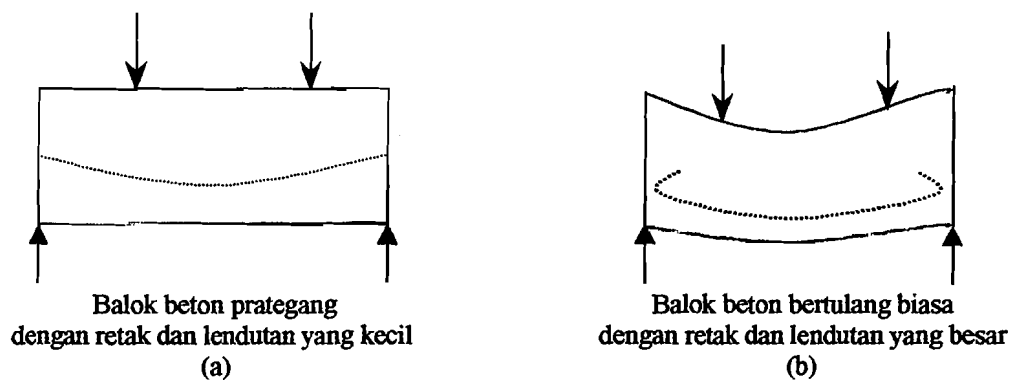
### 2.2.2 Sistem Prategang Sebagai Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Pada konsep ini dianggap beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan gaya tarik dan beton menahan gaya desak, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan kopel eksternal (gambar 2.9). Konsep ini merupakan konsep yang mudah

bagi perencana yang terbiasa dengan beton bertulang biasa.



**Gambar 2.9:** Momen penahan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang



**Gambar 2.10:** Balok beton menggunakan baja mutu tinggi

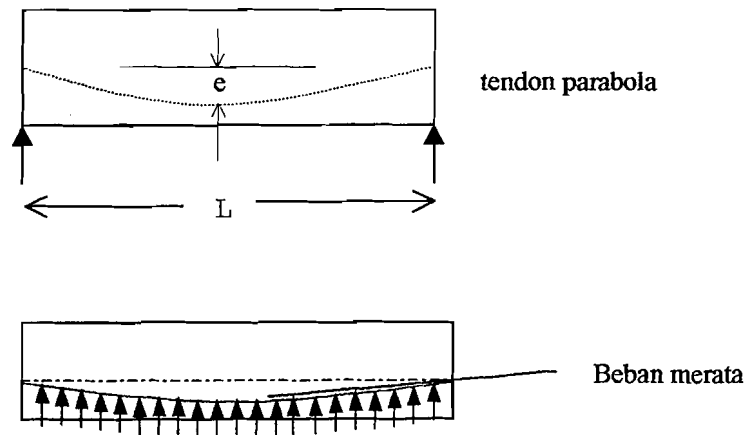
Jika baja mutu tinggi digunakan sebagai tulangan pada beton bertulang maka akan terjadi retak-retak pada bagian tarik sebelum seluruh kekuatan baja bekerja (gambar 2.10b). Pada beton prategang dengan memanfaatkan baja mutu tinggi, baja ditarik terlebih dahulu atau sesudah beton mengeras dan menjangkarkannya ke beton. Gambar 2.10a pada saat beban luar bekerja

penuh bagian tarik mencapai tegangan ijin dan tegangan pada baja juga telah mencapai tegangan ijin sehingga terjadi lendutan yang kecil.

### **2.2.3 Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban**

Pada sistem ini pemberian gaya prategang dianggap sebagai suatu usaha untuk membuat kondisi yang seimbang, sehingga komponen struktur yang mengalami lentur tidak mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan tertentu.

Bila tendon terbungkus beton, maka akan timbul gaya ke atas yang merata menekan beton, yang berlawanan arah dengan gaya untuk mempertahankan posisi tendon. Akibat gaya prategang tendon akan memberikan beban aksial tekan dan beban terbagi rata keatas. Akibat eksentrisitas tendon pada komponen prategang tersebut mengakibatkan adanya momen negatif yang akan mengimbangi momen-momen eksternal, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11: Balok dengan tendon parabola**

Besarnya perimbangan gaya yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata keatas adalah sebagai berikut:

$$W_{\text{imbang}} = \frac{8 \cdot P \cdot e}{L^2} \quad (2.13)$$

$$W_{\text{netto}} = W_{\text{tot kebawah}} - W_{\text{imbang}} \quad (2.14)$$

$$M_{\text{netto}} = \frac{1}{8} \cdot W_{\text{netto}} \cdot L^2 \quad (2.15)$$

Sehingga tegangan-tegangan yang terjadi pada serat penampang adalah

$$f = -\frac{P}{A_c} \pm \frac{M_{\text{netto}} \cdot C}{I_{cp}} \quad (2.16)$$

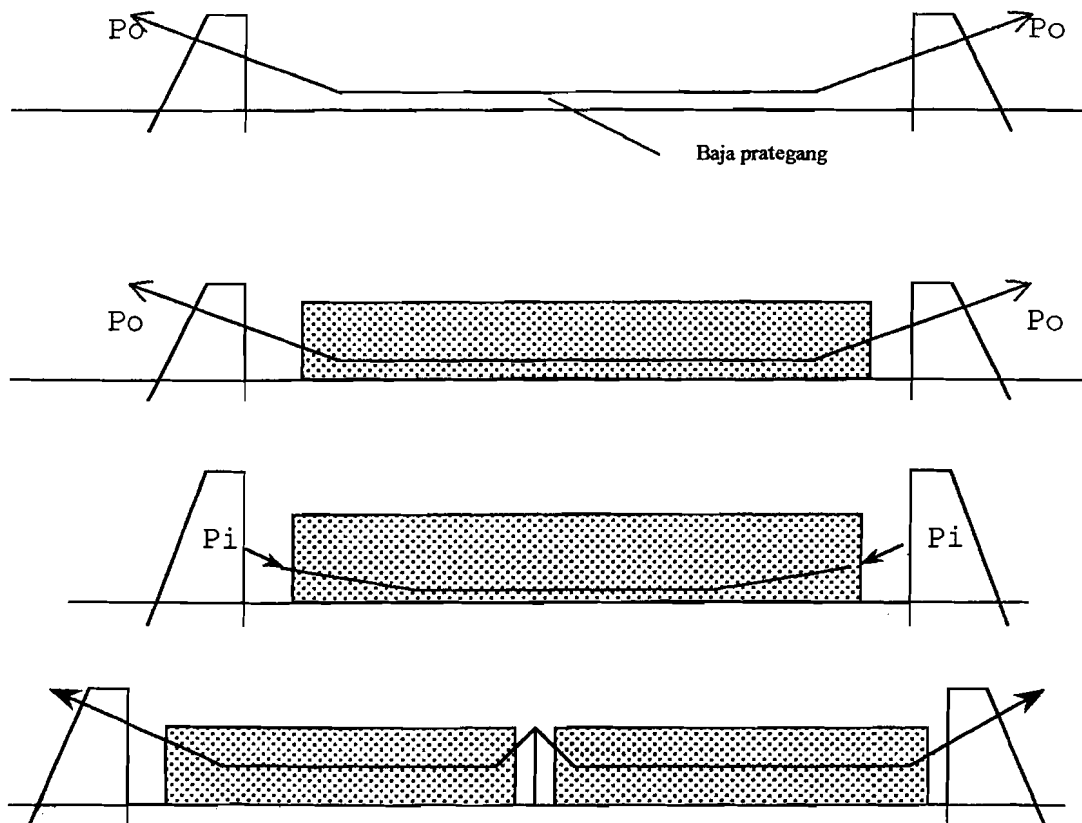
## 2.3 Sistem-Sistem Prategang

### 2.3.1 Beton Prategang Sistem Pratarik (Pretensioning)

Pada sistem prategang pratarik, tendon baja ditegangkan terlebih dahulu diantara blok-blok angkur yang dicetak di atas tanah atau pada perangkat cetakan



pratarik. Dinding tersebut harus dapat menahan gaya tarik tendon dan untuk menahan gaya tersebut dinding diangkurkan ke tanah. Penarikan tendon menggunakan dongkrak hidrolis atau sekrup yang besar. Setelah mencapai umur atau kekuatan tertentu, baja dipotong pada bagian ujung komponen sehingga akan menekan komponen tersebut.



Sistem Hoyer

**Gambar 2.12:** Sistem prategangan secara pratarik

Pada sistem prategangan pratarik, transfer tegangan melalui lekatan yang ditimbulkan antara kawat tendon

dengan dinding disekeliling kawat sepanjang bentang. Untuk produksi massal komponen struktur pratarik, perluasan cara penegangan digunakan beberapa cara, seperti sistem Hoyer yang menggunakan penjepit Dorland di Amerika Serikat dan penjepit Weinberg di Perancis seperti pada gambar 2.12 dan sistem Shorer, sistem Chalos serta sistem-sistem yang lain.

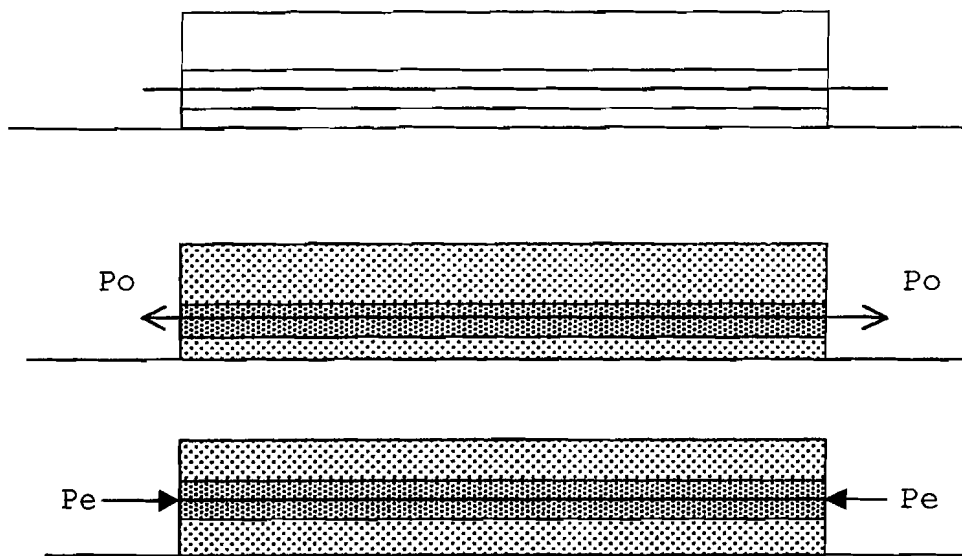
### **2.3.2 Beton prategang Sistem Pasca tarik (Post-tensioning)**

Pada sistem pasca tarik unit-unit beton dicetak terlebih dahulu dengan menempatkan selongsong tendon sesuai koordinat yang direncanakan di dalam beton pracetak. Apabila beton pracetak telah mencapai kekuatan yang disyaratkan maka tendon ditegangkan. Gaya prategang disalurkan dengan ankur-ankur yang berada pada ujung batang. Jika selongsong tendon diisi dengan pasta (grouting) maka gaya prategang disalurkan pada lekatan kawat dengan beton sepanjang bentang tersebut.

Cara penegangan pasca tarik cocok untuk pekerjaan yang dilaksanakan ditempat, dengan bentang menengah sampai bentang yang panjang. Pada sistem pasca tarik memungkinkan pemakaian kabel-kabel melengkung atau dengan eksentrisitas yang bervariasi yang membantu

perencana untuk merubah distribusi tegangan tampang sehingga dapat menahan beban luar secara efisien.

Pada gambar 2.13, pemberian gaya prategang (penarikan tendon) dilakukan dengan menarik tendon kearah longitudinal.



**Gambar 2.13:** *Penarikan tendon secara longitudinal pada sistem pasca tarik*

## 2.4 Beban dan Persyaratan Tegangan

### 2.4.1 Macam-macam Beban

Pada umumnya beban yang diterima atau ditahan oleh suatu elemen struktur adalah sebagai berikut ini.

#### 1. Beban mati

Beban mati adalah beban yang terus menerus membebani elemen struktur atau beban yang tetap membebani elemen struktur. Berat sendiri dari

elemen struktur adalah beban mati yang harus selalu diperhitungkan karena merupakan beban yang selalu terjadi. Atau beban lainnya yang direncanakan untuk membebani elemen struktur secara tetap dan terus menerus juga diperhitungkan sebagai beban tetap.

## 2. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban utama yang diterima elemen struktur, baik pada bangunan gedung atau lalu lintas kendaraan pada jembatan. Beban-beban ini bersifat sementara tetapi dalam perencanaan dimasukkan sebagai beban tetap.

### 2.4.2 Faktor beban dan faktor reduksi

Pada kekuatan batas, beban-beban yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah seperti yang telah ditetapkan pada ACI-Code. Beban-beban karakteristik tersebut telah dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan kondisi pembebanan. Nilai-nilai faktor beban dan kondisi pembebanan pembebanan menurut ACI-Code dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kombinasi beban dan faktor-faktor beban

KOMBINASI BEBAN	FAKTOR BEBAN
Akibat beban hidup dan mati	$U = 1.4D + 1.7L$
Akibat beban hidup, mati dan beban angin	$U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W)$ $U = 0.9D + 1.3L$ $U = 1.4D + 1.7L$
Akibat beban hidup, mati dan beban tekanan tanah	$U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.87E)$ $U = 0.9D + 1.43L$ $U = 1.4D + 1.7L$
Akibat beban khusus:	$U = 0.75(1.4D + 1.4D + 1.7L)$
- Penurunan	$U = 1.4D + 1.7L$
- Rangkak dan susut	
- Perbedaan suhu	

Pembebanan yang digunakan selanjutnya dalam perencanaan balok adalah menggunakan peraturan ACI CODE '89:

$$U = 1,4 D + 1,7L$$

Selain itu koefisien lain yang menentukan dalam perencanaan adalah faktor reduksi kekuatan ( $\Phi$ ). Faktor reduksi ini digunakan untuk menentukan nilai Momen Nominal. Momen nominal terjadi diperoleh dari momen ultimit dibagi dengan faktor reduksi. Nilai momen nominal balok komposit yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan momen nominal rencana (lihat pada analisa kapasitas lentur). Menurut peraturan ACI-Code, besarnya faktor reduksi tergantung pada komponen yang direncanakan, seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2: faktor reduksi

Komponen struktur	Faktor reduksi( $\Phi$ )
Balok atau pelat: Lentur atau momen	0,9
Kolom dengan sengkang biasa	0,7
Kolom dengan sengkang spiral	0,75
Kolom yang menahan beban aksial yang kecil	0,7-0,9
Balok : Geser dan torsi	0,85

### 2.4.3 Tahap-tahap Pembebanan Balok Sistem Pasca Tarik

Tahap-tahap pembebanan balok sistem pasca tarik terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap awal, tahap antara dan tahap akhir.

#### 1. Tahap Awal

Pada tahap awal, sebelum diberi tegangan beton cukup lemah memikul beban sehingga harus dicegah kehancuran pada perletakan. Jika diijinkan untuk memperkecil atau menghilangkan retak-retak pada beton prategang, pemeliharaan yang seksama sebelum terjadi peralihan gaya prategang sangat penting. Pengeringan secara mendadak harus dihindarkan.

Pada saat diberi gaya prategang kadang-kadang kabel putus disebabkan oleh cacat sewaktu pembuatan, sering kali tegangan maksimal kabel pada saat penarikan mencapai  $0,8f_{pu}$  atau  $0,94f_{py}$ . Pada saat penarikan kekuatan beton harus mencapai maksimal untuk menghindari retak pada beton.

Pada saat peralihan gaya prategang pada sistem pasca tarik dilakukan secara bertahap. Pada keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendiri.

## 2. Tahap Antara

Tahap ini merupakan tahapan selama pengangkat dan pengangkutan beton pracetak. Hal ini terjadi bila komponen struktur pracetak yang diangkut kelapangan dan dipasang pada tempatnya.

## 3. Tahap Akhir

Pada tahap ini bila beban kerja yang sesungguhnya telah bekerja. Beban-beban tersebut adalah beban lateral, seperti beban angin dan gaya gempa. Selain itu ada pula beban yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperatur lingkungan.

### 2.4.4 Dasar Analisa Tegangan

Pada tahap pembebanan balok beton prategang komposit secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga tahap, yang seluruh tahapan harus diperhatikan terhadap tegangan-tegangan yang diijinkan untuk struktur.

Berikut ini syarat-syarat tegangan beton yang dikeluarkan oleh ACI 318-89 untuk komponen struktur

lentur. Tegangan ijin beton sesuai dengan kondisi gaya prategang dan pada tahap beban kerja tidak boleh melebihi nilai rata-rata berikut ini.

1. Tegangan beton sesaat setelah transfer gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan, yang merupakan fungsi dari waktu).

a. Serat terluar tegangan mengalami tegangan tekan .....  $0,6f'_{ci}$

b. Serat terluar mengalami tegangan tarik .....  $3\sqrt{f'_{ci}}$

c. Serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana, akan mengalami tegangan tarik .....  $6\sqrt{f'_{ci}}$

Bila tegangan tarik yang dihitung melampaui nilai tersebut diatas, maka harus ditambah dengan memasang tulangan non-prategang pada daerah tarik, untuk menahan gaya tarik total pada beton, yang diasumsikan sebagai suatu penampang yang utuh.

2. Tegangan beton pada tingkat beban kerja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut ini.

a. Serat terluar mengalami tegangan tekan ...  $0,45\sqrt{f'_c}$



b. Tegangan terluar pada daerah tarik yang awalnya mengalami tekan .....  $6\sqrt{f'_c}$

c. Tegangan serat terluar pada daerah tarik yang awalnya mengalami tekan dari komponen struktur .....  $12\sqrt{f'_c}$

3. Tegangan ijin beton dalam butir 1 dan 2 boleh melampaui bila dapat ditunjukkan dengan pengujian dan analisis bahwa penampang strukturnya tidak berkurang.

Sedangkan tegangan tarik ijin baja prategang boleh terjadi menurut ACI Building 318-89 adalah sebagai berikut ini.

1. Gaya dongkrak tendon tidak lebih dari  $0,85 f_{pu}$  atau nilai maksimum yang telah ditetapkan pabrik tendon angkur prategang .....  $0,94 f_{py}$

2. Tendon pratarik setelah tegangan transfer tidak lebih dari  $0,74 f_{pu}$  .....  $0,82 f_{py}$

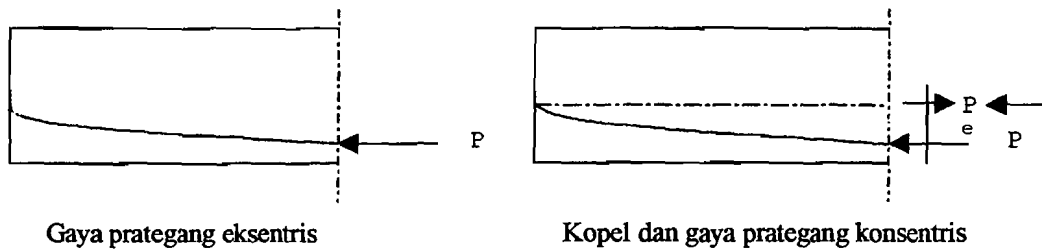
3. Tendon pasca tarik setelah tendon diangkur .....  $0,70 f_{pu}$

Untuk tendon prategang dengan relaksasi rendah digunakan  $f_{py} = 0,90 f_{pu}$  dan tendon prategang dengan relaksasi tinggi digunakan  $f_{py} = 0,85 f_{pu}$ .

## 2.5 Analisa Tegangan Lentur pada Struktur Beton

### Prategang

Pada analisa tegangan lentur struktur beton komposit gaya prategang  $P$  bekerja dengan eksentrisitas sebesar  $e$ , maka dimungkinkan untuk memecah gaya menjadi gaya yang konsentris  $P$  yang melalui titik berat dan momen  $P \cdot e$  seperti pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14:** Gaya prategang pada balok

Dengan teori elastis, tegangan serat pada setiap titik akibat  $P_e$  diberikan oleh persamaan.

$$f = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{P \cdot e \cdot y}{I} \quad (2.17)$$

Resultan tegangan akibat gaya prategang eksentris diberikan oleh persamaan.

$$f = \frac{P}{A_c} \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{I} \quad (2.18)$$

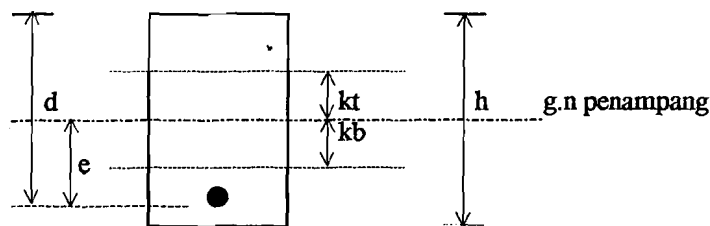
### 2.5.1 Pola Tegangan Beton Prategang.

Kelebihan beton prategang adalah pada tingkat beban kerja dan besarnya tegangan yang biasanya ditentukan dengan tegangan ijin. Maka bagian utama

perencanaan dan analisa menggunakan beban kerja dan tegangan ijin (Elastis), selain itu juga harus memenuhi syarat-syarat kekuatan sehingga beberapa bagian struktur juga dilakukan analisa dengan metoda kekuatan batas.

Pola tegangan yang terjadi pada sistem prategang pratarik maupun pasca tarik ditinjau pada dua kondisi yaitu pada saat awal dan pada saat layan.

Gambar 2.15 menunjukkan tampang geometris balok prategang.



**Gambar 2.15: Penampang geometris balok prategang**

Dari gambar diperoleh hasil:

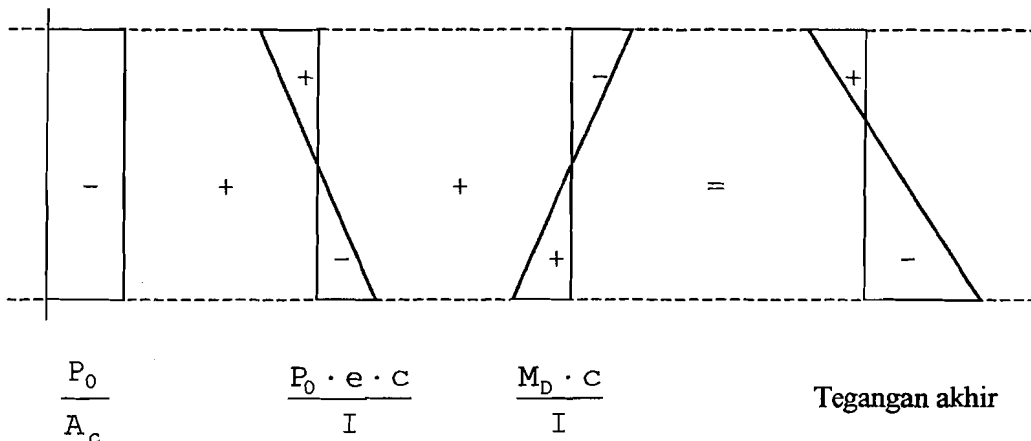
$$k_t = \frac{r^2}{C_b} \quad (2.19)$$

$$k_b = \frac{r^2}{C_t} \quad (2.20)$$

$$r^2 = \frac{I}{A_c} \quad (2.21)$$

## 1. Saat awal.

Distribusi tegangan balok prategang pada saat awal ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16: Diagram tegangan pada saat awal ( $P_0$ )

Tegangan akhir yang terjadi:

## a. Serat atas

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e \cdot c_t}{I} - \frac{M_D \cdot c_t}{I}, \text{ dengan } s_t = \frac{I}{c_t}$$

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e \cdot A_c}{s_t \cdot A_c} - \frac{M_D}{s_t}$$

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 - \frac{e \cdot A_c}{s_t} \right) - \frac{M_D}{s_t}, \text{ dengan } r^2 = \frac{I}{A_c}$$

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 - \frac{e \cdot c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{s_t} \quad (2.22)$$

b. Serat bawah

$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e \cdot c_b}{I} + \frac{M_D \cdot c_b}{I}, \text{ dengan } s_b = \frac{I}{c_b}$$

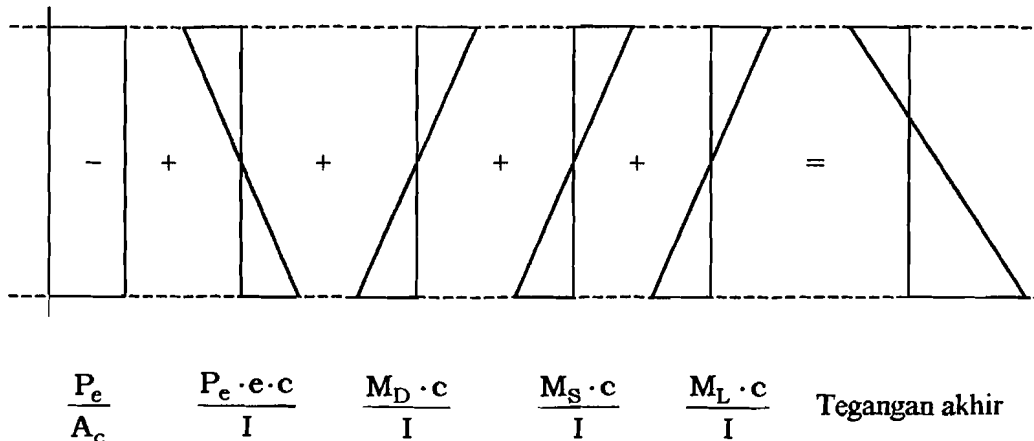
$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e \cdot A_c}{s_b \cdot A_c} + \frac{M_D}{s_b}$$

$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 + \frac{e \cdot A_c}{s_b} \right) + \frac{M_D}{s_b}, \text{ dengan } r^2 = \frac{I}{A_c}$$

$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 + \frac{e \cdot c_b}{r^2} \right) + \frac{M_D}{s_b} \quad (2.23)$$

2. Saat layan

Gambar 2.17 menunjukkan distribusi tegangan balok prategan pada saat layan.



**Gambar 2.17:** Diagram tegangan pada saat layan ( $P_e$ )

Tegangan akhir:

a. Serat atas:

$$f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left( 1 - \frac{e \cdot c_t}{s_t} \right) - \frac{M_t}{s_t}, \text{ dengan } M_t = M_D + M_S + M_L \quad (2.23)$$

b. Serat bawah:

$$f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left( 1 + \frac{e \cdot c_b}{s_b} \right) + \frac{M_t}{s_b}, \text{ dengan } M_t = M_D + M_S + M_L \quad (2.24)$$

## 2.6 Kehilangan Gaya Prategang

Analisis keseluruhan dan rancangan dari komponen struktur beton prategang akan menyertakan pertimbangan gaya-gaya efektif dari tendon prategang pada setiap tahap pembebanan. Adapun tahap-tahap tersebut diberikan menurut T.Y.Lin dan H.Burn 1988 adalah sebagai berikut ini.

1. Sesaat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan-tegangan di evaluasi sebagai acuan perilaku. Pengecekan ini termasuk gaya terbesar pada tendon yang bekerja pada beton yang mungkin jauh di bawah kekuatannya pada umur 28 hari,  $f'_c$ . Peraturan ACI menunjuk kekuatan beton sebagai  $f'_{ci}$  pada tahap permulaan ini dan memberikan tegangan ijin dan tegangan pada beton.
2. Pada beban kerja, setelah semua kehilangan gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang telah tercapai, tegangan-tegangan diperiksa lagi sebagai tolak ukur kekuatan. Tegangan efektif pada baja,  $f_{pe}$ , setelah terjadi kehilangan

gaya, diasumsikan untuk tendon sementara komponen struktur memikul beban hidup dan beban mati. Juga kekuatan beton kemudian dianggap bertambah menjadi  $f'_c$ .

Sulit untuk menyamakan jumlah kehilangan gaya prategang, karena tergantung dari banyak faktor, seperti, sifat-sifat baja dan beton, pemeliharaan dan keadaan kelembaban, besar dan waktu penggunaan gaya prategang.

Kehilangan gaya prategang yang diizinkan untuk pascatarik sebesar 20% dan untuk beton pratarik sebesar 25%. Gaya prategang efektif merupakan gaya prategang awal dikalikan dengan faktor reduksi. Sedangkan faktor reduksi adalah pengurangan dari besarnya kehilangan gaya prategang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$P_e = R \cdot P_o$$

$$R = 1 - (\text{Kehilangan gaya prategang})$$

Dengan :

$P_e$  = prategang efektif (KN).

$P_o$  = gaya prategang awal (KN)

R = faktor reduksi gaya prategang

## 2.7 Karakteristik Bahan

### 2.7.1 Beton

Beton yang merupakan unsur utama dari struktur beton komposit adalah beton prategang dan beton cor langsung ditempat. Kekuatan masing-masing beton tersebut berbeda satu sama lain. Untuk beton prategang umumnya membutuhkan mutu beton yang tinggi atau kekuatan beton pada beton pracetak prategang lebih tinggi dari pada beton bertulang (cor ditempat). Kekuatan yang disyaratkan adalah kekuatan silinder beton umur 28 hari sebesar 28 sampai dengan 55 Mpa. Mutu beton yang disyaratkan ini merupakan keharusan karena beberapa alasan, baik teknis maupun ekonomis. Seperti, pengangkutan yang direncanakan berdasarkan mutu beton yang tinggi dan penghematan biaya. Untuk beton pracetak prategang spesifikasi kekuatan yang disyaratkan biasanya antara 41 sampai 55 Mpa. Regangan juga terjadi pada beton prategang. Hal ini perlu diperhatikan untuk memperhitungkan kehilangan gaya prategang yang terjadi. Adapun macam-macam yang tersebut antara lain adalah:

#### 1. Regangan elastis

Sebagai nilai rata-rata untuk beton umur 28 hari dan untuk tegangan sampai kira-kira  $0,4f'_c$  modulus



sekan akan dapat dihitung dengan rumus empiris. Peraturan ACI untuk beton bertulang merumuskan rumus empiris sebagai berikut ini.

$$E_c = W^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c}$$

Dimana berat jenis  $W$  bervariasi antara 1450 dan 2500  $\text{kg/m}^3$ . Untuk berat beton normal persamaan menjadi sederhana dimana

$$E_c = 4730 \sqrt{f'_c}.$$

## 2. Regangan Lateral.

Dihitung dengan angka Poisson (Poisson Ratio). Karena pengaruh angka Poisson, kehilangan angka prategang berkurang sedikit pada prategang biaksial. Angka Poisson bervariasi dari 0,15 sampai 0,22 untuk beton, rata-rata sekitar 0,17.

## 3. Regangan rangkak

Rangkak didefinisikan sebagai deformasi yang dipengaruhi waktu yang diakibatkan oleh adanya tegangan. Regangan total akibat rangkak dapat diperkirakan sekitar 0,25 terjadi pada dua minggu pertama setelah penegangan, 0,25 dalam dua sampai tiga bulan, 0,25 dalam satu tahun dan 0,25 terakhir pada tahun-tahun berikutnya.

#### 4. Regangan susut

Berbeda dengan rangkai, susut pada beton adalah kontraksi akibat pengeringan dan perubahan kimiawi yang tergantung pada waktu dan keadaan kelembaban tetapi tidak tergantung pada tegangan. Sebagian dari susut diakibatkan oleh kekeringan beton. Besarnya regangan susut bervariasi terhadap beberapa faktor dan berkisar dari 0.0000 sampai 0,0010 atau lebih besar.

#### 2.7.2 Baja

1. Sebagai salah satu unsur dari beton prategang selain digunakan beton mutu tinggi juga diperlukan baja mutu tinggi untuk menghasilkan gaya prategang dan gaya tarik pada beton prategang. Baja mutu tinggi yang digunakan pada sistem prategang adalah kawat (wire), untaian kawat (strand) dan batang (bar). Untuk sistem pasca tarik, banyak dipakai kawat yang digabungkan secara paralel menjadi kabel. Strand dibuat pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama, jadi mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada pelaksanaan penarikan. Strand seperti juga batang baja mutu tinggi, digunakan pada sistem prategang pascatarik.

2. Pada beton komposit tegangan geser yang terjadi pada permukaan antara dua beton (pracetak dan beton cor langsung ditempat) akan ditahan oleh dowel (stud connector), selain itu oleh kekasaran permukaan unit pracetak. Dowel dibuat dari baja yang terdiri dari beberapa bentuk, bentuk "n", bentuk "u" atau bentuk "I". Dowel tersebut terbuat dari baja dan dapat dilihat pada tabel tulangan pada halaman lampiran.

### **2.7.3 Bahan Pelengkap**

Untuk bahan pelengkap diperlukan pada beton pracetak prategang, bahan ini diperlukan sebagai bahan pengisi untuk selubung tendon. Bahan tambah ini berupa adukan semen, air dan pasir halus atau kombinasinya. Pada sistem pratarik tidak diperlukan selubung tendon. Sementara pada sistem pascatarik ada dua macam selubung, yaitu sistem prategang dengan rekatan (grouting) dan sistem prategang tanpa rekatan (un-grouting).

Selubung yang digunakan biasanya terbuat dari logam yang telah digalvanisasi atau jalur dari baja yang disambung memanjang dengan sambungan yang fleksibel atau semi kaku.

Bila digunakan sistem prategang tanpa rekatan dan sistem prategang pratarik maka biasanya digunakan plastik atau kertas tebal sebagai pembungkus dan digunakan tendon yang telah diberi minyak untuk mempermudah penarikan dan mencegah terjadinya karat. Sedangkan bila menggunakan sistem prategang dengan rekatan maka untuk merekatkan tendon ke beton setelah penarikan semen untuk grout disuntikkan, hal ini untuk mencegah terjadinya karat pada baja. Jika tidak menggunakan pasir sebagai bahan grouting bisa digunakan pula *Fly-ash* dan pozzolan kadang-kadang digunakan sebagai bahan pengisi. Tekanan grouting umumnya berkisar antara 550 sampai 700 Kpa dengan tekanan maksimum ditentukan sebesar 1700 Kpa.

## BAB III

### ANALISA STRUKTUR BALOK KOMPOSIT PRATEGANG

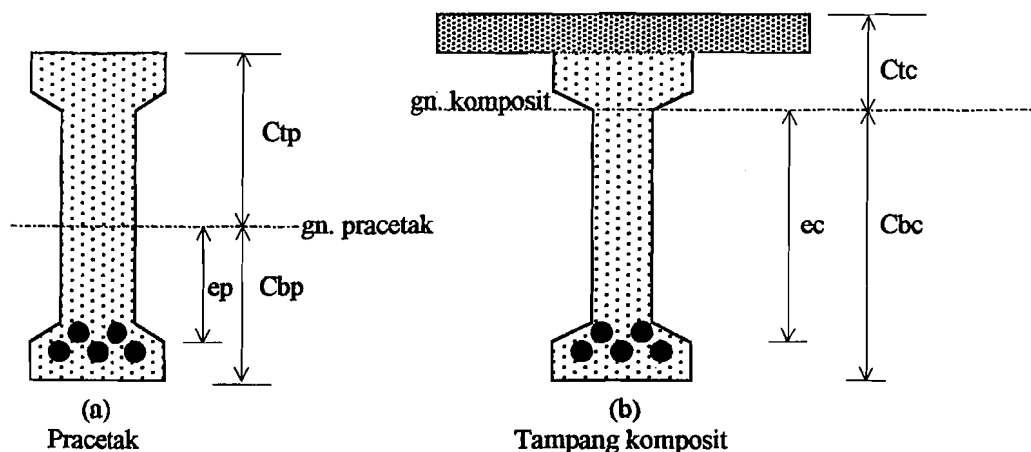
#### 3.1 Pengertian Umum

Pada perhitungan dan perencanaan struktur beton komposit dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja pada batang balok dan tegangan-tegangan yang bekerja seperti tegangan lentur dan tegangan geser. Seperti dijelaskan diatas bahwa struktur beton komposit dapat dibuat dengan menggunakan perancah atau tidak menggunakan perancah. Penggunaan perancah mempengaruhi dalam masa pembebanan. Pada pembuatan beton komposit yang menggunakan perancah, pada waktu pengecoran beton cor ditempat, beban yang terjadi akan dipikul oleh perancah, sedangkan bila tanpa perancah beban tersebut dipikul langsung oleh pracetak.

Struktur beton dapat dikatakan aman atau dapat dipakai bila tegangan tegangan yang terjadi tidak melebihi batas-batas atau syarat-syarat yang diijinkan.

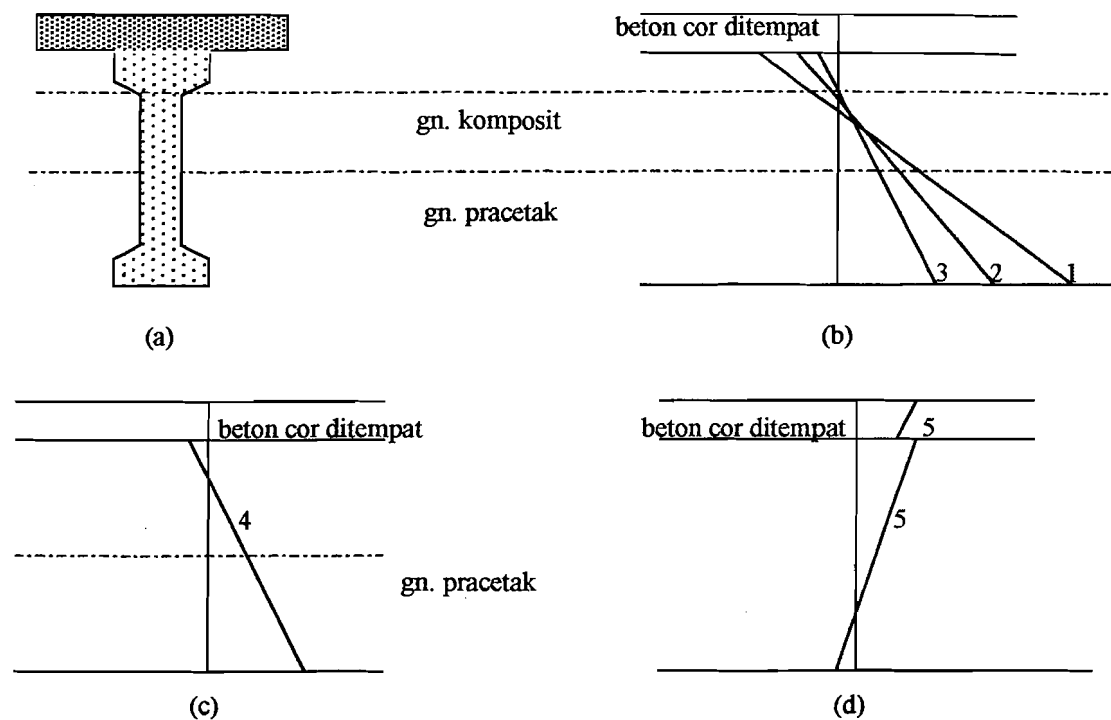
### 3.2 Metode Elastis pada Struktur Balok Komposit Menggunakan Perancah

Pada perhitungan tegangan perlu dibedakan antara beban kerja pada balok pracetak dan beban setelah bagian pelat cor ditempat, ketika seluruh gaya komposit terbentuk. Tegangan akibat tekuk (bending) elemen komposit terjadi setelah pengecoran pelat. Jelasnya momen terjadi akibat perubahan garis netral dari tampang elemen pracetak ke tampang komposit.



**Gambar 3.1:** Tampang pracetak dan komposit

Gambar 3.1a menunjukkan geometris balok pracetak, sedangkan gambar 3.1b menunjukkan geometris tampang I yang menjadi tampang T komposit dengan penambahan pelat cor beton. Pada notasi gambar terdapat indeks  $p$  menunjukkan geometris penampang pracetak sedangkan  $c$  menunjukkan geometris penampang komposit.



Dimana :

- (1)  $P_o$
- (2)  $P_o + M_D$
- (3)  $P_e + M_D$
- (4)  $P_e + M_D + M_{SD}$
- (5)  $P_e + M_D + M_{SD} + M_{CSD} + M_L$

**Gambar 3.2.** Diagram Tegangan pada tampang komposit. (a) Penampang beton komposit. (b) Tegangan awal (1), tegangan awal dan momen berat sendiri (2), dan tegangan efektif dan momen akibat berat sendiri (3). (c) Tegangan akibat beban pelat (balok dipasang perancah), tidak menimbulkan perubahan tegangan pada balok. (d) Tegangan akibat gaya prategang efektif dan momen total.

Gambar 3.2a menunjukkan suatu tampang komposit. Distribusi tegangan pada serat atas dan bawah pracetak sesaat setelah transfer dimana bekerja tegangan awal dan momen akibat berat sendiri dari balok pracetak.



Distribusi tegangan pada serat atas dan bawah balok pracetak diperlihatkan pada gambar 3.2b.

$$f_t = -\frac{P_0}{A_{cp}} \left( 1 - \frac{e_p C_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} \quad (3.1)$$

$$f_b = -\frac{P_0}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_p C_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} \quad (3.2)$$

Dengan asumsi terjadi kehilangan tegangan, tegangan beton berangsur-angsur berubah pada keadaan distribusi (3) ketika P efektif bekerja bersama-sama dengan beban berat sendiri. Biasanya beban mati selain dari balok pracetak adalah beban mati akibat pelat cor beton. Beban-beban mati tersebut menyebabkan terjadinya lentur dari unit pracetak. Lentur tersebut tidak terjadi pada balok yang menggunakan perancah. Sehingga tegangan yang terjadi diperlihatkan pada gambar 3.2c.

Setelah pelat mengeras dan mencapai kekuatan yang direncanakan maka garis netral akan bergeser keatas sesuai dengan tampang komposit yang terjadi dan seluruh beban kerja akan mengakibatkan terjadinya momen dari garis netral baru, termasuk momen akibat beban mati setelah beton mengeras seperti halnya permukaan perkerasan, trotoar pada struktur jembatan, atau finishing lantai dan langit-langit pada bangunan. Beban hidup bekerja pada saat perlakuan komposit terjadi.



Pada gambar 3.2d diperlihatkan tegangan akibat berat sendiri, beban pelat, beban mati diatas pelat dan beban hidup. Catatan bahwa, karena tidak terjadinya tegangan pada pelat sebelumnya distribusi tegangan (5) memperlihatkan tegangan terputus pada pertemuan permukaan antara elemen pracetak dan pelat cor langsung di tempat. Tegangan pada beton pracetak pada tahap (5) adalah sebagai berikut :

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 - \frac{e_{pC_{tP}}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tP}} - \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{tC}} \quad (3.3)$$

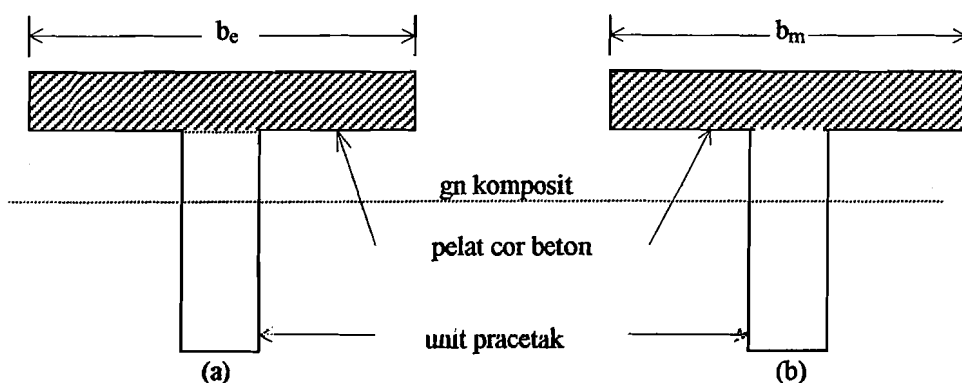
$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left( 1 + \frac{e_{pC_{bP}}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bP}} + \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{bC}} \quad (3.4)$$

Pada persamaan ini  $M_{SD}$  dan  $M_{CSD}$  adalah momen yang diakibatkan oleh beban mati setelah komposit terjadi,  $M_L$  adalah momen akibat beban hidup diatasnya.

Karena kekuatan masing-masing beton berbeda, dimana kekuatan beton pracetak lebih tinggi dari pada beton cor langsung ditempat, mempengaruhi kekuatan elastis beton komposit. Maka untuk mendapatkan tegangan elastis pada balok komposit, kekuatan beton cor ditempat di-transformasikan sama dengan nilai modulus beton pracetak. Gambar 3.3a memperlihatkan tampang beton yang menjadi komposit (monolit), dan gambar 3.3b memper-

lihatkan transformasi pada saat pelat beton telah mempunyai kekuatan dan elastisitas yang sama dengan beton pracetak. Jika  $f_{cp}$  adalah tegangan beton pracetak dan  $f_c$  adalah tegangan beton cor ditempat, dan jika  $E_c$  dan  $E_{cp}$  adalah modulus elastisitas dari beton biasa dan modulus elastis pada pracetak, maka persamaan faktor modifikasi dari sayap adalah sebagai berikut :

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{f_{cp}}{E_{cp}} = n \quad (3.5)$$



**Gambar 3.3: Lebar efektif sayap dan lebar modifikasi sayap**

Modulus perbandingan ( $n$ ) antara kekuatan beton cor dan beton pracetak, nilainya  $< 1$ .

Persamaan dengan mensubstitusikan  $nf_c$  untuk  $f_{cp}$  :

$$\frac{E_c}{E_{cp}} = n \quad (3.6)$$

$$b_m = n \cdot b \quad (3.7)$$

Lebar modifikasi ( $b_m$ ) berdasar pada modulus ratio  $n$ , yang disubstitusikan sebagai lebar sebenarnya  $b_e$  dalam

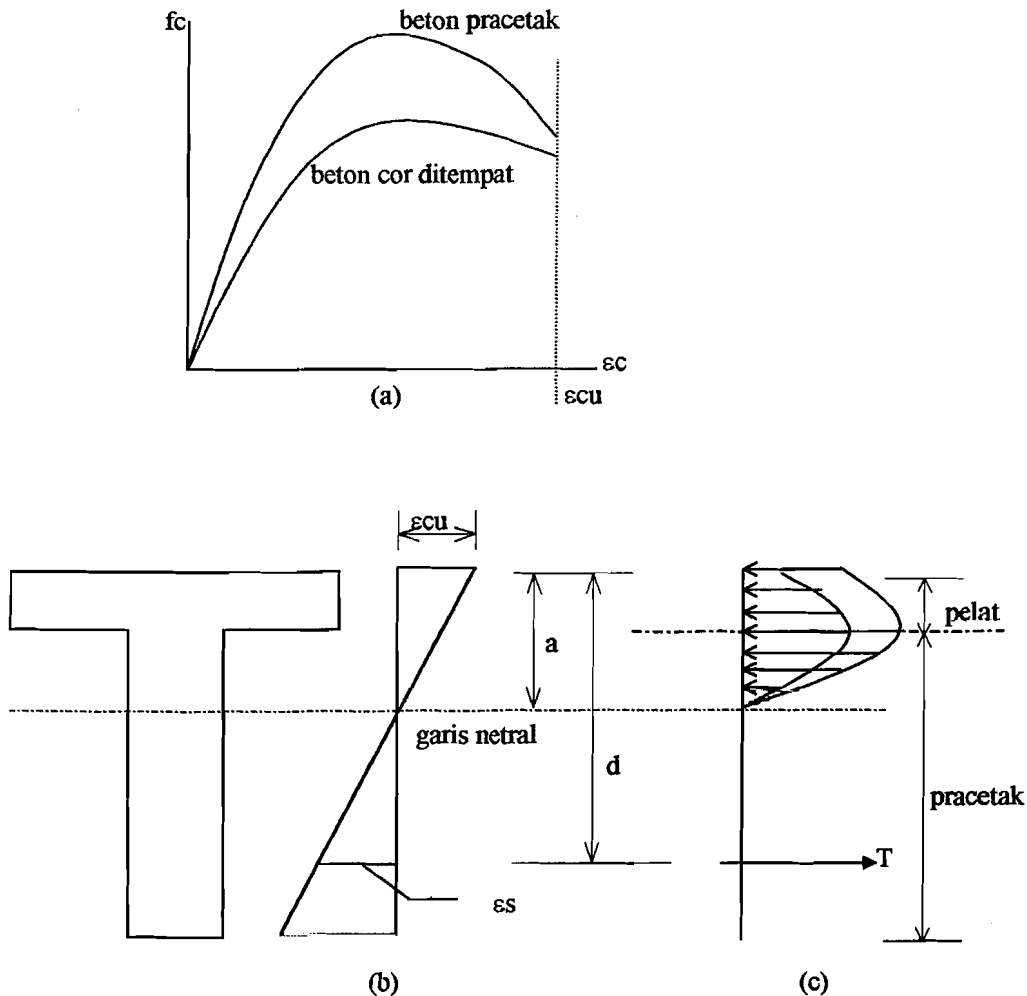
perhitungan tampang. Setelah perubahan itu, sayap mempunyai kekuatan yang sama dengan balok. Dari ketentuan atau persamaan yang disajikan pada bab ini untuk tegangan lentur pada pracetak dan beton cor akibat pengaruh susut diferensial dan efek rangkai antara dua komponen yang ada diabaikan. Pada umumnya setelah pelat mengeras dan merekat dengan beton pracetak, susut dan regangan rangkai pada serat bawah pelat akan melebihi susut dan rangkai serat atas balok pracetak.

### **3.3 Kapasitas Lentur Struktur Balok Komposit Tampang T**

Pada metoda elastis karena perbedaan modulus elastisitas antara pelat beton cor dan beton pracetak, dalam perhitungannya digunakan lebar modifikasi sayap ( $b_m$ ).

Akibat dari momen tampang non komposit dapat diabaikan tanpa kesalahan yang fatal pada saat tahap pembebanan berlebih. Perbedaan kuat desak beton saat pemberian tegangan pada kedua material akan mengakibatkan tegangan tidak menerus pada permukaan singgung. Gambar 3.4 diagram tegangan regangan pracetak dan beton cor di tempat. Gambar 3.4a menunjukkan gambar tegangan dan regangan pada tampang komposit. Distribusi

regangan beton sesaat waktu akan runtuh digambarkan pada gambar. Pada gambar 3.4c merupakan distribusi tegangan.



**Gambar 3.4.** Distribusi tegangan dan regangan pada saat runtuh. (a) Perbandingan tegangan dan regangan. (b) Regangan saat runtuh. (c) Tegangan saat runtuh.

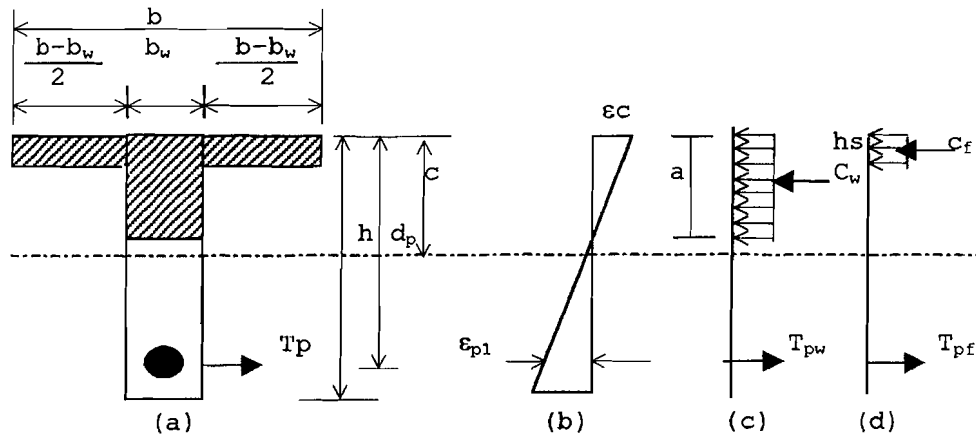
Dengan anggapan bahwa distribusi tegangan seperti pada desain akan mengakibatkan banyak kemungkinan runtuh, adalah tidak perlu untuk melakukan pada beberapa kasus, sebab pada tampang T, garis netral

ultimit berada pada bagian atas permukaan senggung. Sebagai tambahan momen tahan dipengaruhi oleh baja dan bukan oleh beton. Pada kebanyakan kasus yang terjadi, kekuatan didasarkan pada bagian yang terlemah dari penampang komposit, beton (pelat) cor langsung ditempatkan.

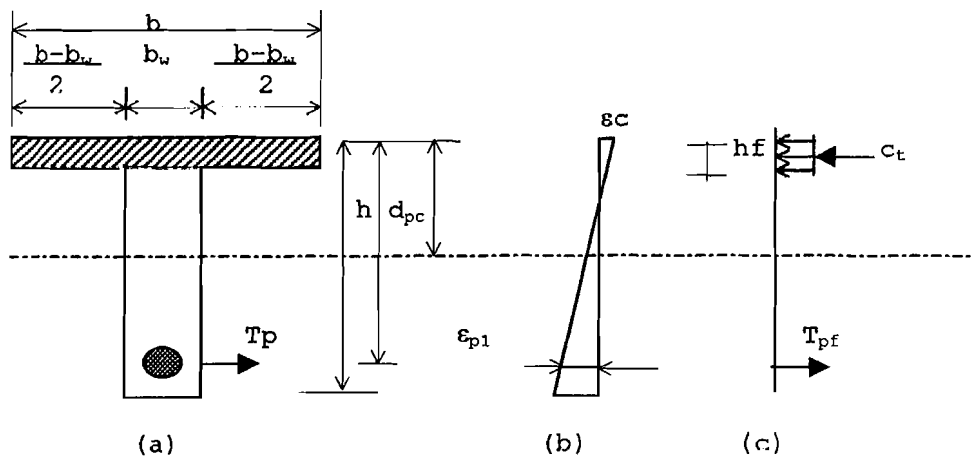
Salah satu perbedaan dasar antara beton bertulang dan beton prategang adalah lengan momen pada gaya dalam. Pada beton prategang akibat adanya pertambahan beban tidak mempengaruhi tegangan  $f_{pe}$  pada baja prategang ( $f_{pe}$  tetap). Karena pengaruh beban mati dari pelat cor beton dan beban hidup, momen lentur yang terjadi akan semakin besar. Tegangan beton pada serat tulangan bagian bawah pada balok sederhana diharapkan mencapai nol saat beban mencapai beban maksimal. Pada tahap ini disebut sebagai daerah batas dekompresi, adanya beban tambahan dan kelebihan beban akan mengakibatkan terjadinya retak pada serat bawah balok.

Kekuatan balok untuk menahan momen beban yang dipikul oleh tampang disebut momen nominal. Momen nominal ini harus lebih besar atau sama dengan momen nominal yang terjadi akibat beban. Untuk kapasitas lentur pada balok tampang T, momen ini akan ditahan

oleh baja prategang untuk gaya tarik dan bagian sayap dan mungkin sebagian dari badan untuk daerah desak.



**Gambar 3.5:** Diagram tegangan dan gaya dalam (a pada badan). (a) Tampang balok T. (b) regangan yang terjadi. (c) tegangan dan gaya pada badan. (d) tegangan dan gaya pada sayap.



**Gambar 3.6:** Diagram tegangan, regangan dan gaya pada sayap.

Pada gambar 3.5 diperlihatkan bahwa gaya prategang total ( $T_p$ ) adalah :

$$T_p = T_{pw} + T_{pf} \quad (3.8)$$

$T_{pw}$  adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima oleh badan =  $A_{pw}f_{ps}$ .

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left( \rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right) \right) \quad (3.9)$$

Sedangkan  $T_{pf}$  adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima atau ditahan oleh bagian sayap yang sama dengan  $C_f$ .

$$T_{pf} = C_f = 0,85 f'_c (b - b_w) h_s. \quad (3.10)$$

Substitusi persamaan (3.10) pada persamaan (3.8), didapat tegangan total yang terimaampang adalah :

$$A_{ps} f_{ps} = A_{pw} f_{ps} + 0,85 f'_c (b - b_w) h_s. \quad (3.11)$$

Pada gambar 3.5 juga diperlihatkan bahwa gaya desak yang terjadi pada bagian sayap dan sebagian badan akan diimbangi oleh baja (tarik).

$$T_{pw} + T_{pf} = C_w + C_f. \quad (3.12)$$

Substitusi persamaan (3.10) pada persamaan (3.12) didapat:

$$T_{pw} = C_w \quad (3.13)$$

$$A_{ps} f_{ps} = 0,85 f'_c \cdot b_w \cdot a \quad (3.14)$$

$$\text{Sehingga } a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \quad (3.15)$$

atau

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} - 0,85 f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_s}{0,85 f'_c \cdot b_w} \quad (3.16)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut :

$$M_{n2} = A_{pw} \cdot f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \cdot f'_c (b_m - b_w) h_s \left( d_p - \frac{h_s}{2} \right) \quad (3.17)$$

Sedangkan pada gambar 3.6 diperlihatkan bahwa gaya prategang total adalah  $T_p = T_{pf}$ .  $T_{pf}$  adalah bagian dari gaya tarik yang diterima oleh bagian sayap yang sama dengan  $C_f$ .

$$T_{pf} = C_f = 0,85 f'_c b_m h_s \quad (3.18)$$

Pada gambar diperlihatkan gaya desak yang terjadi pada bagian sayap dimbangi oleh baja (gaya tarik).

$$T_{pf} = C_f \quad (3.19)$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot h_s \quad (3.20)$$

$$\text{maka, } a = \frac{A_{ps} \cdot F_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_m} \quad (3.21)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut ini.

$$M_{n2} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_m \cdot a \left( d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (3.22)$$

### 3.4. Gaya Geser Horisontal Pada Balok Komposit

Pada balok komposit terjadi dua gaya geser, yaitu gaya geser pada badan dan gaya geser pada permukaan singgung antara bagian atas balok pracetak dan bagian bawah pelat beton. Gaya geser badan diakibatkan oleh beban yang diterima oleh balok, sedangkan geser yang terjadi pada bagian singgung antara permukaan balok



pracetak dan pelat diakibatkan adanya gaya gesek atau kekasaran permukaan keduanya. Gaya geser badan dapat ditahan oleh tulangan badan atau sengkang sedangkan gaya geser yang terjadi pada permukaan singgung kedua beton tersebut ditahan oleh dowel atau stud connector yang juga berfungsi sebagai penyatu antara balok pracetak dan beton cor ditempat (pelat) sehingga menjadi satu tampang yang komposit.

#### 3.4.1. Gaya Geser Badan

Prinsip dasar perhitungan gaya geser pada badan adalah, bahwa gaya geser yang terjadi harus lebih kecil dari gaya geser rencana.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3.23)$$

Dimana  $V_n = V_c + V_s$

$$\text{Sehingga } V_u = \phi V_c + \phi V_s \quad (3.24)$$

$\phi V_c$  adalah kekuatan beton yang menahan gaya geser, dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

Bila  $f_{pe} > 0,4f_{pu}$  digunakan

$$V_c = \left( 0,6\sqrt{f'_c} + 700 \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (3.25)$$

$$\text{atau } (2\sqrt{f'_c} b_w \cdot d) \leq V_c < (5\sqrt{f'_c} b_w \cdot d)$$

Bila  $0,4f_{pu} < f_{pe}$  digunakan harga yang terkecil dari hasil persamaan dibawah ini.

$$V_{ci} = \left( 0,6\sqrt{f'c}b_w + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}} \right) \quad (3.26)$$

atau

$$V_{cw} = \left( \left( 3,5\sqrt{f'c} + 0,3f_{pc} \right) b_w d + V_p \right) \quad (3.27)$$

### 3.4.2 Gaya Geser Horizontal pada Permukaan Singgung dan Perencanaan Dowel

Perencanaan dowel pada permukaan singgung komposit dapat menggunakan persamaan dasar gaya geser horizontal  $v_{uh}$ .

$$v_{uh} = \frac{V}{b_v d_{pc}} \quad (3.28)$$

Pada batas runtuh, persamaan (3.28) dapat dimodifikasi dengan mengubah  $V$  dengan faktor beban  $V_u$ .

$$v_{uh} = \frac{V_u}{b_v d_{pc}} \quad (3.29)$$

atau dengan menggunakan gaya geser vertikal nominal,  $V_n$ .

$$v_{nh} = \frac{V_u / \phi}{b_v d_{pc}} = \frac{V_n}{b_v d_{pc}} \quad (3.30)$$

Dimana  $\phi=0,85$ . Jika  $V_{nh}$  adalah gaya geser horizontal nominal, dengan  $V_u \leq V_{nh}$ , maka gaya geser horizontal total adalah:

$$V_{nh} = v_{nh} \cdot b_v \cdot d_{pc} \quad (3.31)$$

Menurut ketentuan ACI-CODE, jika tanpa dowel atau begel vertikal,  $v_{nh} \leq 80$  psi atau dapat menggunakan begel vertikal minimum jika  $v_{nh} \geq 350$  psi dengan asumsi sebagai berikut.

1.  $V_{nh} \leq 80 A_c \leq 80 b_v d_{pc}$

Jika tanpa menggunakan begel vertikal dan permukaan elemen pracetak kasar.

2.  $V_{nh} \leq 80 b_v d_{pc}$

Jika menggunakan begel vertikal, dengan  $A_v = 50 (b_w \cdot s) / f_y$ , tetapi permukaan elemen pracetak tidak kasar.

3.  $V_{nh} \leq 350 b_v d_{pc}$

Jika kekasaran permukaan elemen pracetak hingga 0,25 in dan dapat menggunakan baja vertikal minimum dalam (b).

4.  $V_{nh} = \mu A_v f_y$

Jika faktor geser  $V_u > \phi (350 b_v d_p)$ . Teori gesekan dapat digunakan untuk merencanakan tulangan dowel, dalam hal

ini seluruh geser horisontal harus menggunakan dowel tegak lurus.

**BAB IV**

**PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT PRATEGANG MENGGUNAKAN**

**PERANCAH**

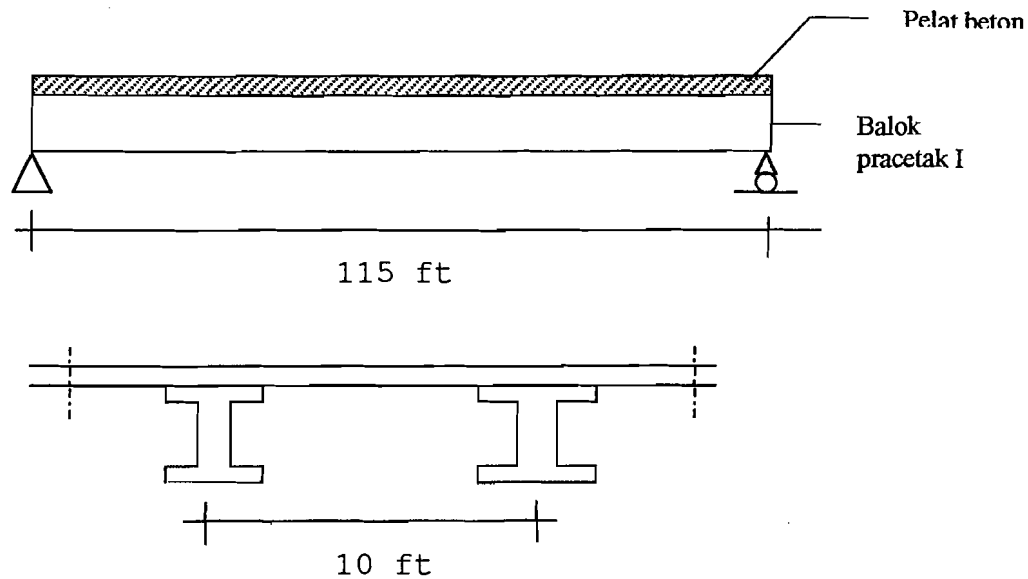
**4.1 Pendahuluan**

Untuk membuktikan dan memperjelas uraian yang telah diungkapkan sebelumnya, pada bab ini akan diberikan contoh perencanaan balok prategang komposit menggunakan perancah. Pembahasan yang akan dilakukan meliputi perhitungan kapasitas penampang balok terhadap perilaku-perilaku struktur seperti lentur, geser dan defleksi.

Kondisi tumpuan diasumsikan bahwa balok menumpu sederhana pada kolom . Kondisi struktur tumpuan tidak termasuk dalam analisis dan perencanaan.

Panjang bentang balok yang dianalisis bervariasi, yaitu 66 ft, 82 ft, 98,5 ft dan 115 ft. Balok pracetak yang digunakan adalah tampang I simetris dan beton cor ditempat (pelat) setebal 5 in. Panjang bentang yang diambil untuk contoh perhitungan lengkap adalah 115 ft.

#### 4.2 Perencanaan Balok Komposit Prategang



Balok prategang sederhana mendukung pelat lantai dengan panjang bentang 115 ft. Ruang digunakan untuk ruangan olah raga dan jarak antar balok 10 ft. Balok direncanakan menjadi satu (komposit) dengan pelat lantai. Tebal pelat lantai adalah 5 inci. Pelat dilapisi dengan lantai teraso.

**Data balok pracetak dan pelat lantai:**

- *Balok pracetak:*

- $f'_c = 6000$  psi.
- $f'_{ci} = 5000$  psi.
- $f_{ci} = 0,6 f'_{ci} = 0,6 \cdot 5000 = 3000$  psi.
- $f_{ti} = 3\sqrt{f'_{ci}} = 3\sqrt{5000} = 212$  psi.
- $f_{ts} = 6\sqrt{f'_c} = 6\sqrt{6000} = 465$  psi.

$$- f_{cs} = 0,45 f'c = 0,45 \cdot 6000 = 2700 \text{ psi.}$$

$$- \gamma_{bt} = 150 \text{ lb/in}^3.$$

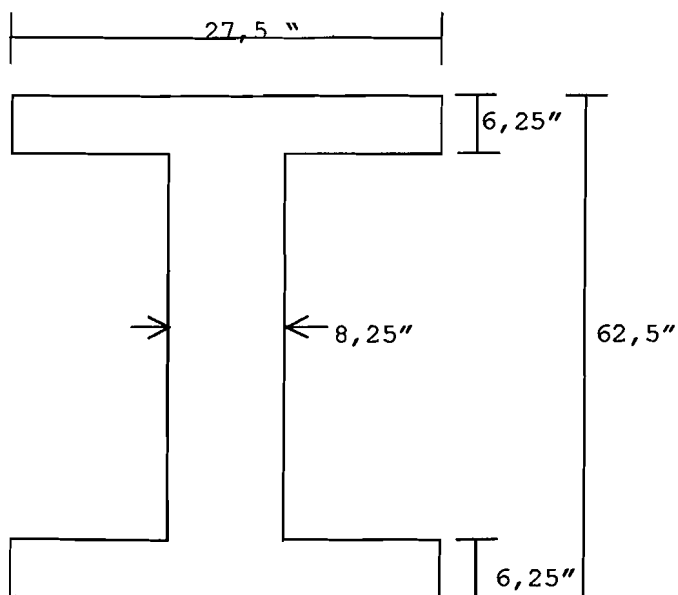
- *Baja:*

$$- f_{pu} = 270 \text{ ksi.}$$

$$- f_y = 60 \text{ ksi.}$$

- *perhitungan perencanaan:*

Dicoba profil balok pracetak seperti dibawah ini.



Data penampang balok I pracetak prategang (dari tabel pada lampiran halaman 1):

$$b = 27,5''$$

$$h = 62,5''$$

$$b_w = 0,3 \cdot b = 8,25''$$

$$h_f = 0,1 \cdot h = 6,25''$$

$$A_{cp} = 0,44 \cdot b \cdot h_f = 756,25 \text{ in}^2$$

$$c_{tp} = 0,5h = 31,25''$$

$$c_{bp} = 0,5h = 31,25''$$

$$r_p^2 = 0,121 \cdot h^2 = 472,6563 \text{ in}^2$$

$$I_{cp} = 0,0535 \cdot b \cdot h^3 = 359191,8945 \text{ in}^4$$

$$s_{tp} = I/c_{tp} = 11494,6035 \text{ in}^3$$

$$s_{bp} = I/c_{bp} = 11494,6035 \text{ in}^3$$

$$L = 115 \text{ ft}$$

- *Menentukan eksentrisitas tendon.*

Konstruksi berada pada ruang tertutup dan berhubungan langsung dengan udara, jadi penutup beton setebal 1,5" (tabel pada lampiran) dan digunakan sengkang  $\varnothing \frac{1}{2}''$ . Jarak kotor antara sengkang dengan baja prategang 1" titik berat baja prategang sebesar 6,75"

$$- d_{sp} = 1,5 + 0,5 + 1,0 + 6,75 = 9,75''$$

$$- e_{mak} = c_{bp} - d_{sp} = 31,25 - 9,75 = 21,5''$$

- *Menentukan berat gelagar/balok dan momen gelagar:*

$$- W_D = A_{cp} \cdot \gamma_{bt} = 756,25 \times 150 = 113437,5 \text{ lb/in}$$

$$= 787,7604 \text{ plf.}$$



$$\begin{aligned}
 - M_D &= \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 787,7604 \cdot 115^2 \\
 &= 1302266,4388 \text{ lb-ft.} \\
 &= 1302,2664 \text{ kips-ft}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tegangan pada pusat (sentral):

$$\begin{aligned}
 - f_{cent} &= f_{ti} - \frac{C_{tp}}{h} (f_{ti} - f_{ci}) = 212 - \frac{23,75}{47,5} (212 + 3000) \\
 &= -1393,9340 \text{ psi.}
 \end{aligned}$$

- Gaya prategang awal:

$$\begin{aligned}
 - P_o &= A_{cp} \cdot f_{cent} = 756,25 \times 1394 = 1054162,588 \text{ lb.} \\
 &= 1054,1626 \text{ kips}
 \end{aligned}$$

- Mencari jumlah kabel prategang.

Digunakan kabel untaian 7 buah kawat  $\emptyset 1/2''$ , dengan

$$P_i = 28,9 \text{ kips, } f_{pi} = 0,7 \cdot f_{pu} = 189 \text{ ksi.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kabel (strand)} &= P_o / P_i \\
 &= 1054,1626 / 28,9 \\
 &= 36,4762 \text{ strand.}
 \end{aligned}$$

Digunakan 36 buah strand.

- Sehingga  $P_o$  yang digunakan adalah:

$$P_o = 36 \times 28,9 = 1040,4000 \text{ kips.}$$

- Kehilangan gaya prategang sebesar 20%.

$$P_e = (1 - 0,2) \times 1040,4 = 832,320 \text{ kips.}$$

- Menghitung eksentrisitas akibat  $P_0$  dan momen akibat berat sendiri balok.

$$- e_1 = (f_{t1} - f_{cent}) \frac{S_{tp}}{P_0} + \frac{M_D}{P_0}$$

$$- e_1 = (212 + 1394) \frac{11494,1406}{1040400} + \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{1040400} = 32,76''$$

$$- e_2 = (f_{cent} - f_{ci}) \frac{S_{bp}}{P_0} + \frac{M_D}{P_0}$$

$$- e_2 = (-1394 + 3000) \frac{11494,1406}{1040400} + \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{1040400} = 32,76''$$

$e_{mak} < e$ , sehingga digunakan  $e_{mak} = 21,5''$ .

- Hitung tegangan ijin balok pada saat awal (transfer) dan saat akhir (layan).

- Tegangan saat awal

$$- f_t = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 - \frac{e \cdot c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S_t}$$

$$f_t = -\frac{1040400}{756,250} \left( 1 + \frac{21,25 \cdot 31,25}{472,6563} \right) - \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{11494,1406}$$

$$= -779,7240 \text{ psi} \leq 212 \text{ psi. Aman !}$$

$$- f_b = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 + \frac{e \cdot c_b}{r^2} \right) + \frac{M_D}{S_b}$$

$$f_b = -\frac{1040400}{756,250} \left( 1 + \frac{21,25 \cdot 31,25}{472,6563} \right) + \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{11494,1406}$$

$$= -1917,7471 \text{ psi} \leq -3000 \text{ psi. Aman!}$$

- Tegangan pada saat akhir

$$- f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left( 1 - \frac{e \cdot c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S_t}$$

$$f_t = -\frac{832320}{756,25} \left( 1 - \frac{21,25 \cdot 31,25}{472,6563} \right) - \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{114941406}$$

$$= -895,6951 \text{ psi} \leq -2700 \text{ psi. Aman!}$$

$$- f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left( 1 + \frac{e \cdot c_b}{r^2} \right) + \frac{M_D}{S_b}$$

$$f_b = -\frac{832320}{756,25} \left( 1 + \frac{21,25 \cdot 31,25}{472,6563} \right) + \frac{1302,2664 \cdot 12 \cdot 10^3}{114941406}$$

$$= -1305,4818 \text{ psi} \leq 465 \text{ psi. Aman!}$$

• **Balok menjadi tampang T Komposit.**

Pelat lantai dengan tebal 5 inci, dengan kekuatan beton  $f'c = 3500 \text{ psi}$ .

• *menghitung lebar efektif (be)*

$$- be = bw + 16 \cdot hf = 8,25 + 16 \cdot 5 = 88,25''$$

$$- be = 2 \cdot (0,5 \cdot Lc) = 2 \cdot (0,5 \cdot 10) \cdot 12 = 120''$$

$$- be = L/4 = (115 \cdot 12) / 4 = 345''$$

dipakai lebar efektif yang terkecil,  $be = 88,25''$ .

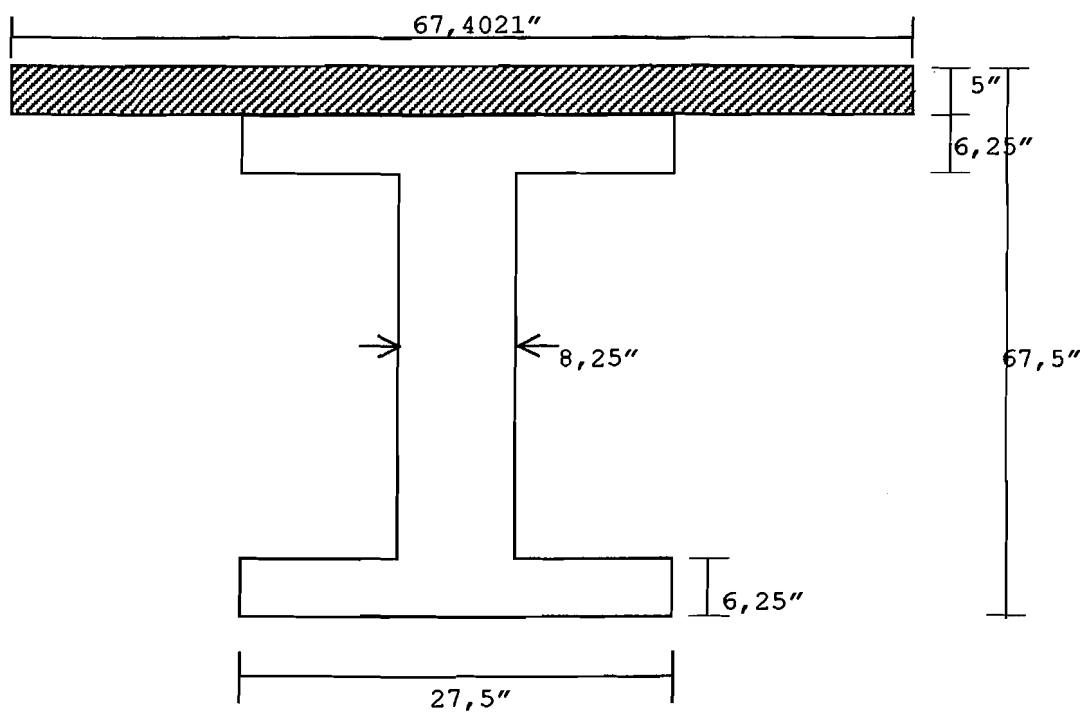
Karena kekuatan beton keduanya yang berbeda maka perlu adanya faktor modifikasi, "n" untuk lebar sayap "bm".

$$- n = \frac{4730 \sqrt{f' c_{\text{pelat}}}}{4730 \sqrt{f' c_{\text{pracetak}}}}$$

$$n = \frac{4730\sqrt{3500}}{4730\sqrt{6000}} = 0,7638$$

$$\begin{aligned} b_m &= n \cdot b_e \\ &= 0,7638 \cdot 88,25 \\ &= 67,4021'' \end{aligned}$$

- Menghitung dimensi balok komposit



$$C_{bc} = \frac{5 \cdot 67,40 \cdot 65 + 756,25 \cdot 31,25}{5 \cdot 67,40 + 756,25} = 41,6538''$$

$$C_{tc} = (62,5 + 5) - 41,6538 = 25,8462''$$

$$A_{cc} = 756,25 + (67,4021 \times 5) = 1093,2603 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned}
 I_{cc} &= 359191,89 + 756,25(41,65 - 31,25)^2 + \frac{67,40.5^3}{12} \\
 &\quad + 67,4.5.(25,85 - 2,5) \\
 &= 625435,5565 \text{ in}^4.
 \end{aligned}$$

$$r^2 = \frac{I_{cc}}{A_{cc}} = \frac{625435,5565}{1093,2603} = 572,083 \text{ in}^2$$

$$S_{tc} = \frac{I_{cc}}{C_{tc}} = \frac{625435,5565}{25,8462} = 24198,3863 \text{ in}^3$$

$$S_{bc} = \frac{I_{cc}}{C_{bc}} = \frac{625435,5565}{41,6538} = 15015,0785 \text{ in}^3$$

• Menghitung tegangan balok komposit

$$f_t = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{e.c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{Md}{S_{tp}} - \frac{M_{sd} + M_{csd} + M_l}{S_{tc}}$$

$$\begin{aligned}
 f_t &= -\frac{832320}{756,25} \left( 1 - \frac{21,5.31,25}{472,6563} \right) - \frac{1302,2664.12.10^3}{11494,1406} \\
 &\quad - \frac{(580,3334 + 204,2736 + 928,5297).12.10^3}{24198,3863}
 \end{aligned}$$

$$= -1745,2410 \text{ psi} \leq -2700 \text{ psi. Aman!}$$

$$f_b = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 + \frac{e.c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{Md}{S_{bp}} + \frac{M_{sd} + M_{csd} + M_l}{S_{bc}}$$

$$\begin{aligned}
 f_b &= -\frac{832320}{756,25} \left( 1 + \frac{21,5.31,25}{472,6563} \right) + \frac{1302,2664.12.10^3}{11494,1406} \\
 &\quad + \frac{(580,3334 + 204,2736 + 928,5297).12.10^3}{15015,0785}
 \end{aligned}$$

$$= 63,6514 \text{ psi} \leq 465 \text{ psi. Aman!}$$

- Kontrol bila balok tidak menjadi komposit

$$- f_t = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{e \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_d + M_{csd} + M_{sd} + M_1}{S_{tp}}$$

$$f_t = -\frac{832320}{756,25} \left( 1 - \frac{21,5 \cdot 31,25}{472,6563} \right) - \frac{(3015,402) \cdot 12 \cdot 10^3}{11494,1406}$$

$$= -2471,8505 \text{ psi} < -2700 \text{ psi. Aman!}$$

$$- f_t = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 + \frac{e \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_d + M_{csd} + M_{sd} + M_1}{S_{tp}}$$

$$f_t = -\frac{578,10^3}{522,5} \left( 1 + \frac{16,4 \cdot 23,75}{273} \right) + \frac{(3015,402) \cdot 12 \cdot 10^3}{6035,5}$$

$$= 483,0505 \text{ psi} > 465 \text{ psi. Tidak aman!!!}$$

Berarti tampang cukup ekonomis digunakan sebagai komponen balok komposit.

- Menghitung kapasitas momen nominal

$$M_u = 1,4 ( M_D + M_{SD} + M_{CSD} ) + 1,7 M_T$$

$$M_u = 1,4 ( 1302,2664 + 580,3334 + 204,2736 )$$

$$+ 1,7 \cdot (928,5297)$$

$$= 4500,1232 \text{ kip-ft.}$$

$$= 54001481,6188 \text{ lb-in}$$

$$M_{n1} = \frac{M_u}{0,9} = \frac{4500,1232}{0,9} = 5000,1369 \text{ kip-ft}$$

$$= 60001646,2431 \text{ lb-in.}$$

Luas kabel baja prategang,  $A_{ps}$  = jumlah kabel x luas tiap kabel.

$$A_{ps} = 36 \times 0,153 = 5,5080 \text{ in}^2$$

$$\text{Rasio tulangan} = \rho = \frac{A_{ps}}{b_m \cdot d_p} = \frac{5,5080}{67,40215 \cdot 57,75} = 0,014$$

$f'c = 6000 \text{ psi} > 4000 \text{ psi}$ , maka  $\beta_1$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 4000)}{1000} = 0,85 - 0,05 \frac{(6000 - 4000)}{1000} = 0,75$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{229500}{270000} = 0,85, \text{ maka } \gamma_p = 0,4$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{0,75 \cdot f'c} \right)$$

$$f_{ps} = 270000 \left( 1 - \frac{0,4 \cdot 0,0014 \cdot 270000}{0,75 \cdot 6000} \right) = 260830,5384 \text{ psi}$$

Persamaan Keseimbangan Gaya Dalam  $C = T$ .

$$\begin{aligned} T &= A_{ps} \cdot f_{ps} \\ &= 5,5080 \cdot 260830,5384 \\ &= 1436654,6053 \text{ lb.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \cdot f'c \cdot b_m \cdot h_s \\ &= 0,85 \cdot 6000 \cdot 67,40215 \\ &= 1718752,2966 \text{ lb.} \end{aligned}$$

$C > T$ , maka gaya desak ditahan oleh sayap (pelat).

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'c \cdot b_m} = \frac{1436654,6053}{0,85 \cdot 6000 \cdot 67,40215} = 4,1794 \text{ in} < h_s = 5 \text{ in}$$

Karena  $a < h_s$ , maka analisa momen nominal didasarkan pada tampang persegi.

$$M_{n2} = A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - a/2)$$

$$= 1436654,6053 \cdot (57,75^{-4,1794} / 2)$$

$$= 79964659,8970 \text{ lb-in} > 60001646,2431 \text{ lb. Aman!}$$

- *Perhitungan Tegangan geser dan perencanaan begel.*

$$W_U = 1,4 ( W_D + W_{SD} + W_{CSD} ) + 1,7 W_L.$$

$$W_U = 1,4 ( 787,7604 + 351,0523 + 123,5682 )$$

$$+ 1,7 \cdot 561,6815$$

$$= 2722,1919 \text{ plf}$$

$$V_u = \frac{W_U L}{2} = \frac{2722,1919 \cdot 115}{2} = 156526,0343 \text{ lb}$$

$$V_n = \frac{V_u}{0,85} = \frac{156526,0343}{0,85} = 184148,2749 \text{ lb}$$

Diasumsikan  $V_u$  terjadi pada setengah tinggi tampang.

$$0,5d_p = 0,5 \cdot (57,75/12) = 2,4062 \text{ ft}$$

$$V_{nh} = V_n \left( \frac{\frac{L}{2} - \frac{d_p}{2}}{\frac{L}{2}} \right)$$

$$V_{nh} = 184148,2749 \left( \frac{\frac{115}{2} - 2,4062}{\frac{115}{2}} \right) = 176442,42 \text{ lb}$$

$$V_u = 0,85 \cdot V_{nh}$$

$$= 0,85 \cdot 176442,23 = 149975,8955 \text{ lb}$$

$$f_{pe} = 0,8 \cdot f_{pi} = 0,8 \cdot 189000$$

$$f_{pe} = 151200 \text{ psi}$$

$$0,4 f_{pu} = 0,4 \cdot 270000 = 108000 \text{ psi}$$



$$f_{pe} > 0,4 \cdot f_{pu}$$

$$M_u = 156526,0337 \times 2,4063 - \left( \frac{2722,1919 \times (2,4063)^2}{2} \right)$$

$$= 368767,4687 \text{ ft-lb}$$

$$= 4425209,624 \text{ in-lb}$$

$$V_c = b_w \cdot d_p \left( 0,6 \lambda \sqrt{f_c} + 700 \frac{V_u d_p}{M_u} \right)$$

$d_p = 57,75$  } syarat, bila  $d_p > 0,8h$  maka yang dipakai  
 $0,8h = 54$  } adalah  $d_p = 57,75''$ .

$$\frac{V_u d_p}{M_u} = \frac{149975,8955 \cdot 57,75}{4425209,624} = 1,96 > 1, \text{ maka digunakan } \frac{V_u d_p}{M_u} = 1$$

$$V_c = 8,75 \cdot 57,75 (0,6 \cdot 1 \sqrt{6000} + 700 \cdot 1) = 377203,553 \text{ lb}$$

$$V_{cmin} = 2 \lambda \cdot \sqrt{6000} \cdot 8,25 \cdot 57,75 = 73809,380 \text{ lb.}$$

$$V_{cmax} = 5 \lambda \cdot \sqrt{6000} \cdot 8,25 \cdot 57,75 = 184523,4503 \text{ lb.}$$

$$V_c > V_{cmax}, \text{ maka digunakan } V_c = 184523,4503 \text{ lb.}$$

$V_u / \emptyset = V_n = 176422,42 > 0,5 \cdot V_c = 88527,3645 \text{ lb}$ , maka perlu digunakan tulangan geser.

Tulangan geser minimum, dengan jarak maksimum antar tulangan 24 in.

$$A_v = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot s}{80 \cdot f_y \cdot d_p} \sqrt{\frac{d_p}{b_w}}, \quad \text{atau } A_v = \frac{50 \cdot b_w \cdot s}{f_y}$$

$$A_v = \frac{5,508 \cdot 270000 \cdot 24}{80 \cdot 60000 \cdot 57,75} \sqrt{\frac{57,75}{8,25}} = 0,03407 \text{ in}^2/\text{in} \text{ atau}$$

$$A_v = \frac{50 \cdot 8,25 \cdot 24}{60000} = 0,1650 \text{ in}^2$$

digunakan  $A_v$  minimum =  $0,1650 \text{ in}^2$

Digunakan tulangan geser #3 dengan  $A_v = 0,11 \text{ in}^2 \times 2 = 0,22 \text{ in}^2 > 0,1650 \text{ in}^2$

Maka digunakan tulangan geser #3-24 in.

- Perhitungan Tegangan Geser Horisantal dan Perencanaan dowel

$$b_v = 27,5 \text{ in}$$

$$L_{vh} = \frac{115 \times 12}{2} = 690 \text{ in}$$

$$C_c = 0,85 \cdot 3500 \cdot 5 \cdot 67,4021 = 1002606,2380 \text{ lb}$$

$$C_c < A_p \cdot f_{ps}, \text{ digunakan } F_h = 1002606,2380 \text{ lb}$$

$$80b_v l_{vh} = 80 \cdot 27,5 \cdot 690 = 1518000 \text{ lb} > F_h, \text{ maka}$$

permukaan senggung dianggap halus ( $\mu = 0,6$ ) dan untuk

itu diperlukan dowel minimum dengan luasan dowel,

$$V_{nh} = \frac{V_u}{0,85} = \frac{149975,8955}{0,85} = 176442,23 \text{ lb}$$

$$V_{nh} = 80 \cdot b_v \cdot d_{pc} = 80 \cdot 27,75 \cdot 57,75 = 128205 \text{ lb} < 176442,23 \text{ lb}$$

$$V_{nh} < F_h.$$

$$\text{Total } A_{vf} = \frac{F_h}{0,6f_y} = \frac{176422,23}{0,6 \cdot 60000} = 4,9 \text{ in}^2$$

$$\text{Min } A_{vf} = \frac{50 \cdot b_v \cdot l_{vh}}{f_y} = \frac{50 \cdot 27,75 \cdot 57,75}{60000} = 1,33 \text{ in}^2$$

Digunakan  $A_{vf} = 4,9 \text{ in}^2$  dan menggunakan dowel #3 dengan

$A_v = 0,22 \text{ in}^2$ , jarak antar dowel:

$$s = \frac{l_{vh} \cdot A_v}{A_{vf}} = \frac{690 \cdot 0,22}{4,9} = 30,98 \text{ in, jarak maksimum antar}$$

dowel = 24 in

Digunakan dowel #3-24.

• Defleksi yang terjadi :

$$\Delta_1 = \frac{1}{8} \frac{P \cdot e_e \cdot L^2}{EI} + \frac{5}{48} \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{EI}$$

$$\Delta_1 = \frac{1}{8} \frac{832,320 \times 10^3 \times 4,2 \times 115^2 \times 12^2}{3663842264 \times 625435,5565} + \frac{5}{48} \frac{832,320 \times 10^3 \times 31,9038 \times 115^2 \times 12^2}{3663842264 \times 625435,5565}$$

$$= 26,6190 \text{ in}$$

$$\Delta_2 = \frac{5}{48} \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{EI}$$

$$= \frac{5}{48} \frac{1040,4 \times 10^3 \times 31,9038 \times 115^2 \times 12^2}{3663842264 \times 625435,5565}$$

$$= 22,9870 \text{ in}$$

Defleksi total:

$$\Delta_t = \Delta_1 - \Delta_2 \leq \frac{L}{360}$$

$$= 26,6190 - 22,9870$$

$$= 3,632 \text{ in} \leq \frac{115 \times 12}{240} = 5,75 \text{ in Aman.}$$

- *Tata letak tendon*

$$P_o = 1040,4000 \text{ kip}$$

$$P_e = 0,8 \cdot P_o = 832,3200 \text{ kip.}$$

$$M_D = 25042,4808 \text{ kip-in.}$$

$$M_T = 36184,8372 \text{ kip-in.}$$

- *Momen pada  $\frac{1}{4}$  bentang.*

$$M_D = 0,75 \cdot 25042,4808 = 18781,8606 \text{ kip-in.}$$

$$M_T = 0,75 \cdot 36184,8372 = 27138,6279 \text{ kip-in.}$$

$$k_b = r_c^2 / c_{tc} = 22,1341 \text{ in.}$$

$$k_t = r_c^2 / c_{bc} = 13,7342 \text{ in.}$$

- *Daerah bawah (lower envelope)*

- *tengah bentang*

$$a_{\min} = \frac{M_D}{P_o} = \frac{25042,4808}{1040,4} = 24,0701 \text{ in.}$$

$$e_1 = k_b + a_{\min} = 22,1341 + 24,0701 = 46,2042 \text{ in.}$$

- $\frac{1}{4}$  bentang

$$a_{\min} = \frac{M_D}{P_o} = \frac{18781,8608}{1040,4} = 18,0526 \text{ in.}$$

$$e_2 = 22,1341 + 18,0526 = 40,1867 \text{ in.}$$

- *dukungan*

$$e_3 = k_b = 22,1341 \text{ in.}$$

- Daerah atas (upper envelope)

- setengah bentang

$$a_{\text{mak}} = \frac{M_T}{P_e} = \frac{36184,8372}{832,32} = 43,4747 \text{ in.}$$

$$e_1 = a_{\text{mak}} - k_t = 43,4747 - 13,7342 = 29,7405 \text{ in.}$$

- ¼ bentang

$$a_{\text{mak}} = \frac{M_T}{P_e} = \frac{36184,8372}{832,32} = 32,6060 \text{ in.}$$

$$e_2 = 32,6060 - 13,7342 = 18,8718 \text{ in.}$$

- dukungan

$$e_3 = k_t = 13,7342 \text{ in.}$$

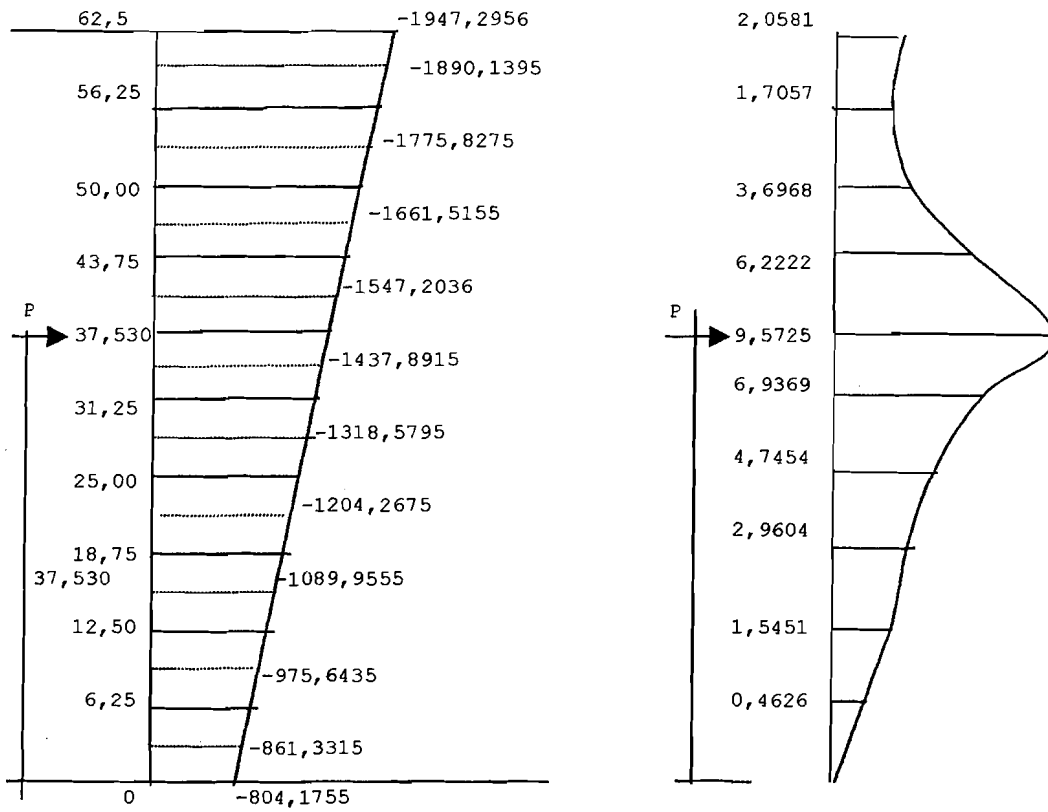
- Pengangkuran ujung (end block)

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 - \frac{e_e \cdot C_t}{r^2} \right)$$

$$f_t = -\frac{1040,4 \cdot 10^3}{756,25} \left( 1 - \frac{-6,2038 \cdot 31,25}{472,6563} \right) = -1947,2956 \text{ psi}$$

$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} \left( 1 + \frac{e_e \cdot C_t}{r^2} \right)$$

$$f_b = -\frac{1040,4 \cdot 10^3}{756,25} \left( 1 + \frac{-6,2038 \cdot 31,25}{472,6563} \right) = -804,1755 \text{ psi}$$



**Tabel 4.1: Perhitungan tegangan dan momen pada blok ujung**

jarak (in)	b (in)	tegangan (psi)	Kekuatan beton (lb) 10 <sup>-4</sup>	momen akibat Po (lb in) 10 <sup>-6</sup>	momen akibat tegangan beton (lb-in) 10 <sup>-6</sup>	selisih momen (lb-in) 10 <sup>-6</sup>
0	27,5	-804,1755	-13,8217	0	0	0
6,25	27,5	-861,3315	-14,8041	0	0,4626	0,4626
12,50	8,25	-975,6435	-5,0307	0	1,5451	1,5451
18,75	8,25	-1089,9555	-5,6021	0	2,9604	2,9604
25,00	8,25	-1204,2675	-6,2095	0	4,7454	4,7454
31,25	8,25	-1318,5795	-6,7989	0	6,9369	6,9369
37,50	8,25	-1437,8915	-7,4141	0	9,5725	9,5725
43,75	8,25	-1547,2036	-7,9777	-6,4670	12,6892	6,2222
50,00	8,25	-1661,5155	-8,5672	-12,9698	16,6666	3,6968
56,25	27,25	-1775,8275	-30,5220	-19,4723	21,1780	1,7057
62,50	27,50	-1947,2956	-33,4691	-25,9748	28,0329	2,0581

- Perhitungan penulangan ujung dan pelat ujung

$$h = 62,5 \text{ in.}$$

$$h/4 = 15,625 \text{ in.}$$

$$M_{\text{mak}} = 9,5725 \cdot 10^6 \text{ lb-in}$$

$$T_1 = 9,5725 \cdot 10^6 / (62,5 - 15,625) = 204213,3333 \text{ lb.}$$

$$f_s = 20000 \text{ psi.}$$

$$A_t = T/f_s = 204213,3333/20000 = 10,2107 \text{ in}^2.$$

$$\text{dicoba stirrup \#8 dengan } A_s = 2 \times 0,76 = 1,58 \text{ in}^2.$$

$$\text{jumlah stirrup} = 10,2107/1,58 = 6,46 \approx 7 \text{ buah.}$$

$$\text{Dipasang sepanjang } h/2 = 33,75 \text{ in.}$$

- *Kontrol pelat*

- Saat transfer

$$f_b = 0,8 \times f'_{ci} \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 0,2 \leq 1,25f'_{ci}$$

$$\text{dipakai } A_1 = 3,5'' \times 10'' = 35 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 8,25'' \times 10'' = 82,5 \text{ in}^2$$

$$f'_{ci} = 5000 \text{ psi}$$

$$1,25f'_{ci} = 6250 \text{ psi}$$

$$f_b = 0,8 \times 5000 \times \sqrt{\frac{82,5}{35}} - 0,2 = 5874,8860 \text{ psi} \leq 6250 \text{ psi. Aman}$$

- Saat layan/akhir

$$f_b = 0,6 \times f'_{ci} \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq f'_{ci}$$

$$f_b = 0,6 \times 5000 \times \sqrt{\frac{82,5}{35}} = 4605,8968 \text{ psi} \leq 5000 \text{ psi}$$

Jadi digunakan pelat bantalan dengan ukuran:

$$A = 3,5'' \times 10'' = 35 \text{ in}^2.$$

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Analisa Hitungan

Dari hasil perhitungan analisa balok beton prategang komposit dengan perancah pasca tarik dengan tendon terekat dapat diperoleh kapasitas penampang beton terhadap kekuatan lentur. Kapasitas penampang akan diketahui secara pasti, sehingga akan membantu dalam perancangan. Hal ini dapat dijadikan referensi dalam merencanakan balok prategang komposit yang dapat menahan lenturan, gaya geser dan defleksi yang terjadi. Dengan demikian dalam perencanaan selanjutnya dapat menghasilkan suatu penampang balok prategang yang ekonomis.

Dalam analisis kapasitas penampang yang mampu menahan lenturan, geser dan lendutan dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap-tahap tertentu, seperti tahap penarikan (transfer) dan tahap akhir (layan) sebelum balok menjadi komposit serta pada



saat balok telah komposit (layan). Kekuatan lentur suatu penampang balok prategang komposit tergantung pada beberapa parameter, seperti dimensi penampang jumlah tulangan prategang, karakteristik dan kekuatan bahan, penarikan tendon, kehilangan gaya prategang dan faktor modifikasi dari balok prategang komposit.

Untuk kehilangan gaya prategang total dalam analisis ini ditetapkan sebesar 20% yang bekerja sesaat setelah tranfer. Kehilangan gaya prategang tersebut disebabkan oleh gesekan, slip ankur dan deformasi elastis beton. Kehilangan gaya prategang total ini menyebabkan tereduksinya gaya prategang awal  $P_o$ , sehingga pada tahap akhir (layan) gaya prategang akan menjadi gaya prategang efektif  $P_e$ .

Untuk penampang balok prategang komposit adanya faktor modifikasi "n" dimaksudkan untuk menyamakan kekuatan bahan yang berbeda antara balok pracetak dan beton cor ditempat.

Pada dua keadaan, sebelum menjadi komposit dan setelah menjadi komposit penampang didesain ekonomis serta mampu menahan lentur, geser dan lendutan dengan menggunakan material beton yang berbeda, baja prategang yang berbeda dan ukuran panjang yang berbeda-beda.

## 5.2 Pembahasan

Beberapa perencanaan balok prategang komposit dengan panjang yang berbeda tetapi menggunakan material beton, baja prategang dan penutup beton yang sama akan menghasilkan suatu tampang yang bervariasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5.1:** Hasil perhitungan untuk  $bw/b=0,3$ ;  $hf/h=0,1$  dan  $f'_{cp}=6000$  psi,  $f'_{cs}=3500$  psi

Notasi	$L = 115$ ft	$L = 98,5$ ft	$L = 86$ ft	$L = 66$ ft
h (in)	62,5000	52,5000	42,5000	32,5000
b (in)	27,5000	25,0000	22,0000	20,0000
bw (in)	8,2500	7,5000	6,6000	6,0000
hf (in)	6,2500	5,2500	4,2500	3,2500
Ic (in <sup>4</sup> )	359191,8945	193540,4297	90353,1406	36731,0938
Ac (in <sup>2</sup> )	756,2500	577,5000	411,4000	286,0000
r <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	472,6563	333,5063	218,5563	127,8063
Ct (in)	31,2500	26,2500	21,2500	16,2500
Cb (in)	31,2500	26,2500	21,2500	16,2500
St (in <sup>3</sup> )	11494,1406	7372,9688	4251,9125	2260,3750
Sb (in <sup>3</sup> )	11494,1406	7372,9688	4251,9125	2260,3750
Lc (ft)	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000
f'c (psi)	6000,0000	6000,0000	6000,0000	6000,0000
F'ci (psi)	5000,0000	5000,0000	5000,0000	5000,0000
Fci (psi)	3000,0000	3000,0000	3000,0000	3000,0000
Fti (psi)	212,1320	212,1320	212,1320	212,1320
Fts (psi)	464,7580	464,7580	464,7580	464,7580
Fcs (psi)	2700,0000	2700,0000	2700,0000	2700,0000
Wd (plf)	787,7604	601,5625	428,5417	297,9167
Md (lb-in)	1302266,4388	729563,7207	360189,2708	162215,6250
Fcent (psi)	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340
P (lb)	1054162,5745	804996,8751	573464,4405	398665,1191
Pi (lb)	28900,0000	28900,0000	28900,0000	28900,0000
x (strand)	36,4762	27,8546	19,8431	13,7946
Po (lb)	1040400,0000	780300,0000	549100,0000	375700,0000
Pe (lb)	832320,0000	624240,0000	439280,0000	300560,0000
e (in)	21,5000	18,9250	15,5000	10,7500
ft (psi)	-779,7240	-525,9207	-339,7837	-379,3175
fb (psi)	-1971,7471	-2176,4170	-2329,6378	-2247,9552
ft (psi)	-895,6951	-658,2193	-475,1364	-475,6898
fb (psi)	-1305,4818	-1503,6509	-1660,4007	-1626,1284
f'cs (psi)	3500,0000	3500,0000	3500,0000	3500,0000

n	0,7638	0,7638	0,7071	0,7071
hs (in)	5,0000	5,0000	5,0000	5,0000
beff <sub>1</sub> (in)	88,2500	87,5000	86,6000	86,0000
beff <sub>2</sub> (in)	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000
beff <sub>3</sub> (in)	345,0000	295,5000	246,0000	198,0000
bm (in)	67,4021	66,8292	61,2354	60,8112
As (in <sup>2</sup> )	337,0103	334,1461	306,1772	304,0559
y (in)	65,0000	55,0000	45,0000	35,0000
Acc (in <sup>2</sup> )	1093,2603	911,6461	717,5772	590,0559
Cbc (in)	41,6538	36,7878	31,3837	25,9119
Ctc (in)	25,8462	20,7122	16,1163	11,5881
Icc (in <sup>4</sup> )	625435,5565	369196,1934	190004,8172	89176,3657
r <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	572,0830	404,9775	264,7866	151,1321
Stc (in <sup>3</sup> )	24198,3863	17825,0186	11789,6022	7695,4978
Sbc (in <sup>3</sup> )	15015,0785	10035,8452	6054,2525	3441,5246
W <sub>sd</sub> (kip/ft)	351,0523	348,0689	318,9346	316,7249
W <sub>csd</sub> (kips/ft)	123,5682	122,5180	112,2629	111,4851
W <sub>l</sub> (kips/ft)	561,6815	556,9080	510,2934	506,7578
M <sub>sd</sub> (lb-in)	580333,4131	422131,4362	268064,5490	172456,7148
M <sub>csd</sub> (lb-in)	204273,6473	148587,5639	94357,0056	60703,6599
M <sub>l</sub> (lb-in)	928529,7467	675407,5962	428901,5628	275929,6400
ft (psi)	-1745,2410	-1497,1255	-1280,5816	-1269,5410
fb (psi)	63,6514	-13,6399	-91,9367	148,9803
ftnc (psi)	-2471,8505	-2445,9029	-2444,4288	-2860,3217
fbnc (psi)	483,0505	524,5036	572,9184	1076,5560
Mu (lb-in)	54001481,6188	35623064,6716	20889453,7505	12271281,4502
Wu (plf)	2722,1919	2447,7528	2071,1336	1878,0657
Mn1(lb-in)	60001646,2431	39581182,9684	23210504,1672	13634757,1668
Ø (in <sup>2</sup> )	0,1530	0,1530	0,1530	0,1530
dp(in)	57,7500	50,1750	41,7500	32,0000
Aps (in <sup>2</sup> )	5,5080	4,1310	2,9070	1,9890
ρ	0,0014	0,0012	0,0011	0,0010
β	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500
F <sub>py</sub> /F <sub>pu</sub>	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500
Fps (psi)	260830,5384	262016,8118	263684,4108	264322,8605
c <sub>1</sub> (lb)	1718752,2966	1704145,3366	1821754,5557	1809132,6997
T (lb)	1436654,6053	1082391,4494	766530,5822	525738,1695
a (in)	4,1794	3,1758	2,1038	1,4530
Mn2(lb-in)	79964659,8970	52590283,0313	31196328,6767	16441669,5872
Vu (lb)	156526,0337	120551,8263	84916,4787	61976,1689
Vn1 (lb)	184148,2749	141825,6780	99901,7396	72913,1399
0,5dp (in)	2,4063	2,0906	1,7396	1,3333
0,4fpu (psi)	108000,0000	108000,0000	108000,0000	108000,0000
Vn2 (lb)	176442,0699	138815,4820	97782,3810	71440,1472
Vu0,5h(lb)	149975,7594	111052,3856	78225,9048	57152,1178
0,8h (in)	54,0000	46,0000	38,0000	30,0000
Mu 0,5dp (lb-in)	4425119,6382	2960153,3935	1735026,1238	971586,0020

(Vu.dp)/Mu	1,9573	1,8824	1,8824	1,8824
Vc(lb)	355649,0640	280908,1745	206717,5002	144038,3235
Vcmin(lb)	73809,3801	58298,0818	46108,3341	32127,7450
Vcmak(lb)	184523,4503	145745,2045	115270,8352	80319,3625
Vs(lb)	-8081,3804	-6929,7226	-17488,4541	-8879,2153
8lamda (lb)	295237,5205	233192,3273	184433,3362	128510,9801
Av1 (in <sup>2</sup> )	0,3407	0,2875	0,2364	0,1938
Av2 (in <sup>2</sup> )	0,1650	0,1500	0,1320	0,1200
Begel	#3-24	#3-24	#3-24	#3-24
Cc (lb)	1002605,5063	994084,7797	910877,2779	904566,3498
80b <sub>v</sub> l <sub>vh</sub> (lb)	128205,0000	1482200,0000	1672800,0000	1029600,0000
Avft(in2)	4,9000	3,3600	1,6650	1,2152
Avfm(in2)	1,3300	1,3010	1,4250	1,2500
S (in)	24	24	24	24
Dowel	#3-24	#3-24	#3-24	#3-24
kt (in)	13,7342	11,0085	16,4297	13,0420
kb (in)	22,1341	19,5526	31,2199	26,6084
e <sub>1</sub> (in)	29,7405	26,9709	15,0266	13,7602
e <sub>2</sub> (in)	18,8718	17,4761	7,1625	7,0597
e <sub>3</sub> (in)	13,7342	11,0085	16,4297	13,0420
e <sub>4</sub> (in)	46,2042	39,5492	47,0118	39,2369
e <sub>5</sub> (in)	40,1867	34,5501	43,0639	36,0798
e <sub>6</sub> (in)	22,1341	19,5526	31,2199	26,6084
e <sub>e</sub> (in)	4,2000	4,2000	4,3000	4,3000
Δ <sub>1</sub> (in)	26,6195	23,1726	19,5984	15,3704
Δ <sub>2</sub> (in)	22,9880	19,7877	16,3144	12,2689
Δ <sub>3</sub> (in)	3,6315	3,3849	3,2840	3,1015
L/240 (in)	5,7500	4,9250	4,1000	3,3000
Jumlah Stirrups	7#8	5#8	4#8	3#8
Daerah(in)	31,25	26,25	21,25	16,25
Pelat (in x in)	3,5 x 10	3,5 x 9	3,5 x 7	3,5 x 6
fb awal (psi)	5874,8860	5907,2191	4821,7196	4922,2526
fb akhir (psi)	4605,8968	4629,1005	3857,1429	3927,9220

**Tabel 5.2:** Hasil perhitungan untuk  $bw/b=0,3$ ;  $hf/h=0,2$  dan  $f'_{cp}=6000$  psi,  $f'_{cs}=3500$  psi

Notasi	L = 115 ft	L = 98,5 ft	L = 82 ft	L = 66 ft
h (in)	65,0000	55,0000	45,0000	35,0000
b (in)	15,0000	15,0000	15,0000	15,0000
bw (in)	4,5000	4,5000	4,5000	4,5000
hf (in)	13,0000	11,0000	9,0000	7,0000
Ic (in <sup>4</sup> )	291239,8125	176440,6875	96638,0625	45468,9375

Ac (in <sup>2</sup> )	565,5000	478,5000	391,5000	304,5000
r <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	515,4500	369,0500	247,0500	149,4500
Ct (in)	32,5000	27,5000	22,5000	17,5000
Cb (in)	32,5000	27,5000	22,5000	17,5000
St (in <sup>3</sup> )	8961,2250	6416,0250	4295,0250	2598,2250
Sb (in <sup>3</sup> )	8961,2250	6416,0250	4295,0250	2598,2250
Lc (ft)	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000
f'c (psi)	6000,0000	6000,0000	6000,0000	6000,0000
F'ci (psi)	5000,0000	5000,0000	5000,0000	5000,0000
Fci (psi)	3000,0000	3000,0000	3000,0000	3000,0000
Fti (psi)	212,1320	212,1320	212,1320	212,1320
Fts (psi)	464,7580	464,7580	464,7580	464,7580
Fcs (psi)	2700,0000	2700,0000	2700,0000	2700,0000
Wd (plf)	589,0625	498,4375	407,8125	317,1875
Md (lb-in)	973793,9453	604495,6543	342766,4063	172708,5938
Fcent (psi)	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340
P (lb)	788269,6673	666997,4108	545725,1543	424452,8978
Pi (lb)	28900,0000	28900,0000	28900,0000	28900,0000
x (strand)	27,2758	23,0795	18,8832	14,6870
Po (lb)	780300,0000	664700,0000	520200,0000	404600,0000
Pe (lb)	624240,0000	531760,0000	416160,0000	323680,0000
e (in)	25,2500	19,7500	16,2500	12,0000
ft (psi)	-487,0677	-475,3667	-319,9207	-259,3209
fb (psi)	-2272,6140	-2302,8987	-2337,5506	-2398,1503
ft (psi)	-650,4562	-606,4130	-447,4697	-366,9890
fb (psi)	-1557,2892	-1616,1993	-1678,5074	-1758,9880
f'cs (psi)	3500,0000	3500,0000	3500,0000	3500,0000
N	0,7638	0,7638	0,7638	0,7638
hs (in)	5,0000	5,0000	5,0000	5,0000
Beff <sub>1</sub> (in)	84,5000	84,5000	84,5000	84,5000
Beff <sub>2</sub> (in)	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000
Beff <sub>3</sub> (in)	345,0000	295,5000	246,0000	198,0000
bm (in)	64,5379	64,5379	64,5379	64,5379
As (in <sup>2</sup> )	322,6897	322,6897	322,6897	322,6897
y (in)	67,5000	57,5000	47,5000	37,5000
Acc (in <sup>2</sup> )	888,1897	801,1897	714,1897	627,1897
Cbc (in)	45,2159	39,5829	33,7957	27,7900
Ctc (in)	24,7841	20,4171	16,2043	12,2100
Icc (in <sup>4</sup> )	543591,7164	350562,9167	207866,5850	108807,4246
r <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	612,0221	437,5529	291,0523	173,4841
Stc (in <sup>3</sup> )	21933,0909	17170,0600	12827,8325	8911,3510
Sbc (in <sup>3</sup> )	12022,1339	8856,4244	6150,6891	3915,3418
W <sub>sd</sub> (kip/ft)	336,1351	336,1351	336,1351	336,1351
W <sub>csd</sub> (kips/ft)	118,3174	118,3174	118,3174	118,3174
W <sub>l</sub> (kips/ft)	537,8140	537,8140	537,8140	537,8140
M <sub>sd</sub> (lb-in)	555673,3530	407658,3584	282521,5596	183025,5672
M <sub>csd</sub> (lb-in)	195593,4639	143493,1331	99445,7808	64423,8283
M <sub>l</sub> (lb-in)	889073,8085	652250,7644	452032,6872	292839,7361
ft (psi)	-1547,9169	-1447,4600	-1227,6482	-1094,5408

fb (psi)	80,0314	14,3489	-51,3726	-103,0740
Ftnc (psi)	-2586,3227	-2590,3520	-2501,9427	-2568,1510
Fbnc (psi)	639,2953	634,5443	651,6305	736,3577
Mu (lb-in)	47118126,4995	32720787,6418	21396993,7634	13032584,8346
Wu (plf)	2375,2049	2248,3299	2121,4549	1994,5799
Mn1(lb-in)	52353473,8884	36356430,7131	23774437,5148	14480649,8163
Ø (in <sup>2</sup> )	0,1530	0,1530	0,1530	0,1530
dp(in)	62,7500	52,2500	43,7500	34,5000
Aps (in <sup>2</sup> )	4,1310	3,5190	2,7540	2,1420
ρ	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
β	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500
F <sub>py</sub> /F <sub>pu</sub>	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500
Fps (psi)	263390,0014	263237,7243	263679,5823	263766,0937
c <sub>1</sub> (lb)	1645717,4965	1645717,4965	1645717,4965	1645717,4965
T (lb)	1088064,0960	926333,5519	726173,5697	564986,9727
a (in)	3,3057	2,8144	2,2063	1,7165
Mn2(lb-in)	66477591,4287	47097402,6456	30969032,6578	19007140,0546
Vu (lb)	136574,2797	110730,2458	86979,6494	65821,1355
Vn1 (lb)	160675,6232	130270,8774	102328,9993	77436,6300
0,5dp (in)	2,6146	2,1771	1,8229	1,4375
0,4fpu (psi)	108000,0000	108000,0000	108000,0000	108000,0000
Vn2 (lb)	157022,5814	127391,5825	100054,1550	75750,0368
Vu0,5h(lb)	125618,0651	101913,2660	80043,3240	60600,0294
0,8h (in)	56,0000	48,0000	40,0000	32,0000
Mu 0,5dp (lb-in)	4187595,9675	2828889,3279	1860381,9441	1110684,9141
(Vu.dp)/Mu	1,8824	1,8824	1,8824	1,8824
Vc(lb)	210786,1041	175515,1225	146962,4232	115890,3680
Vcmin(lb)	43745,3469	36425,4084	30499,7439	24051,2266
Vcmak(lb)	109363,3672	91063,5209	76249,3596	60128,0664
Vs(lb)	47659,2142	36328,0615	23804,7953	15621,9703
8lamda (lb)	174981,3876	145701,6335	121998,9754	96204,9063
S (in)	17,3796	18,9853	24,2598	29,1513
Begel	#3-17	#3-18	#3-24	#3-24
Cc (lb)	960001,8729	960001,8729	960001,8729	960001,8729
80b <sub>v</sub> l <sub>vn</sub> (lb)	3588000,0000	2600400,0000	1771200,0000	1108800,0000
350b <sub>v</sub> d <sub>p</sub> (lb)	1427562,5000	1005812,5000	689062,5000	422625,0000
Avft(in <sup>2</sup> )	16,0000	16,0000	16,0000	1,2906
Avfm(in <sup>2</sup> )	8,6250	7,3875	6,1500	4,9500
S (in)	18,9750	16,2525	13,5300	35,2000
Dowel	#3-17	#3-9	#3-12	#3-24
kt (in)	13,5355	11,0541	8,6121	6,2427
kb (in)	24,6942	21,4307	17,9614	14,2084
e <sub>1</sub> (in)	36,7169	29,7440	25,3200	20,1908
e <sub>2</sub> (in)	24,1538	19,5445	16,8370	13,5824
e <sub>3</sub> (in)	13,5355	11,0541	8,6121	6,2427
e <sub>4</sub> (in)	51,2233	42,2939	34,6796	26,6698
e <sub>5</sub> (in)	44,5910	37,0781	30,5000	23,5545

$e_6$ (in)	24,6942	21,4307	17,9614	14,2084
$e_e$ (in)	3,5000	3,5000	3,5000	3,5000
$\Delta_1$ (in)	25,9377	21,7409	16,6970	12,8863
$\Delta_2$ (in)	23,3263	19,2103	14,3822	10,6581
$\Delta_3$ (in)	2,6114	2,5306	2,3148	2,2282
L/240 (in)	5,7500	4,9250	4,1000	3,3000
Jumlah Stirrups	4#8	4#8	3#8	2#8
Daerah (in)	32,5	27,5	22,5	17,5
Pelat (in x in)	3,5 x 9	3,5 x 9	3,5 x 6	3,5 x 6
fb awal (psi)	4433,6377	4433,6377	4922,2527	4922,2527
fb akhir (psi)	3585,6858	3585,6858	3925,9220	3925,9220

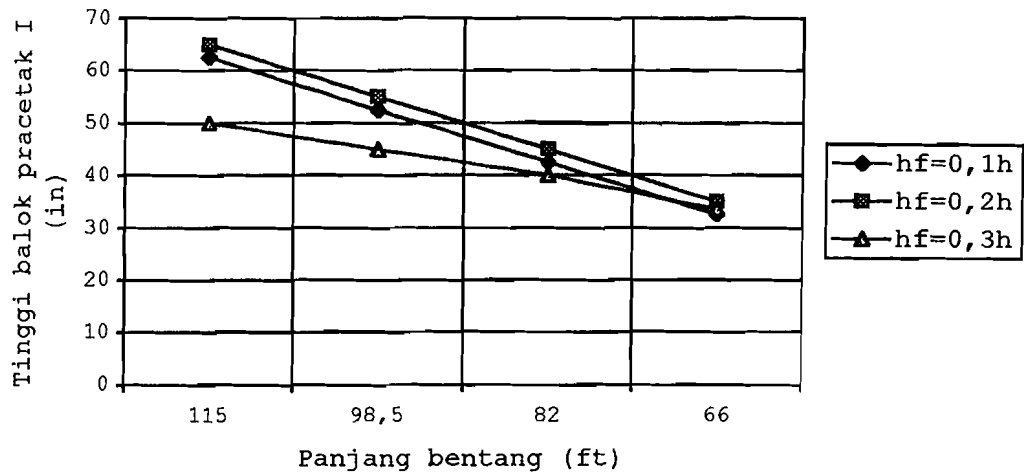
**Tabel 5.3:** Hasil perhitungan untuk  $bw/b=0,3$ ;  $hf/h=0,3$  dan  $f'_{cp}=6000$  psi,  $f'_{cs}=3500$  psi

Notasi	$L = 115$ ft	$L = 98,5$ ft	$L = 82$ ft	$L = 66$ ft
h (in)	50,0000	45,0000	40,0000	33,5000
b (in)	29,0000	21,0000	18,0000	15,0000
bw (in)	8,7000	6,3000	5,4000	4,5000
hf (in)	15,0000	13,5000	12,0000	10,0500
$I_c$ (in <sup>4</sup> )	288550,0000	152324,5500	91699,2000	44888,8778
$A_c$ (in <sup>2</sup> )	1044,0000	680,4000	518,4000	361,8000
$r^2$ (in <sup>2</sup> )	277,5000	224,7750	177,6000	124,5698
$C_t$ (in)	25,0000	22,5000	20,0000	16,7500
$C_b$ (in)	25,0000	22,5000	20,0000	16,7500
$S_t$ (in <sup>3</sup> )	11542,0000	6769,9800	4584,9600	2679,9330
$S_b$ (in <sup>3</sup> )	11542,0000	6769,9800	4584,9600	2679,9330
$L_c$ (ft)	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000
$f'_c$ (psi)	6000,0000	6000,0000	6000,0000	6000,0000
$F'_{ci}$ (psi)	5000,0000	5000,0000	5000,0000	5000,0000
$F_{ci}$ (psi)	3000,0000	3000,0000	3000,0000	3000,0000
$F_{ti}$ (psi)	212,1320	212,1320	212,1320	212,1320
$F_{ts}$ (psi)	464,7580	464,7580	464,7580	464,7580
$F_{cs}$ (psi)	2700,0000	2700,0000	2700,0000	2700,0000
Wd (plf)	1087,5000	708,7500	540,0000	376,8750
Md (lb-in)	1797773,4375	859558,7109	453870,0000	205208,4375
$F_{cent}$ (psi)	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340	-1393,9340
P (lb)	1455267,0781	948432,6819	722615,3767	504325,3150
$P_i$ (lb)	28900,0000	28900,0000	28900,0000	28900,0000
x (strand)	50,3553	32,8177	25,0040	17,4507
$P_o$ (lb)	1445000,0000	924800,0000	722500,0000	491300,0000
$P_e$ (lb)	1156000,0000	739840,0000	578000,0000	393040,0000
e (in)	17,0000	15,5000	12,7500	8,0000
ft (psi)	-1133,4186	-773,9254	-580,4981	-816,0677
fb (psi)	-1634,7806	-1944,4755	-2206,9248	-1899,7974
ft (psi)	-1280,5571	-923,8592	-701,9770	-836,6275
fb (psi)	-934,0023	-1250,8615	-1527,9613	-1336,0646

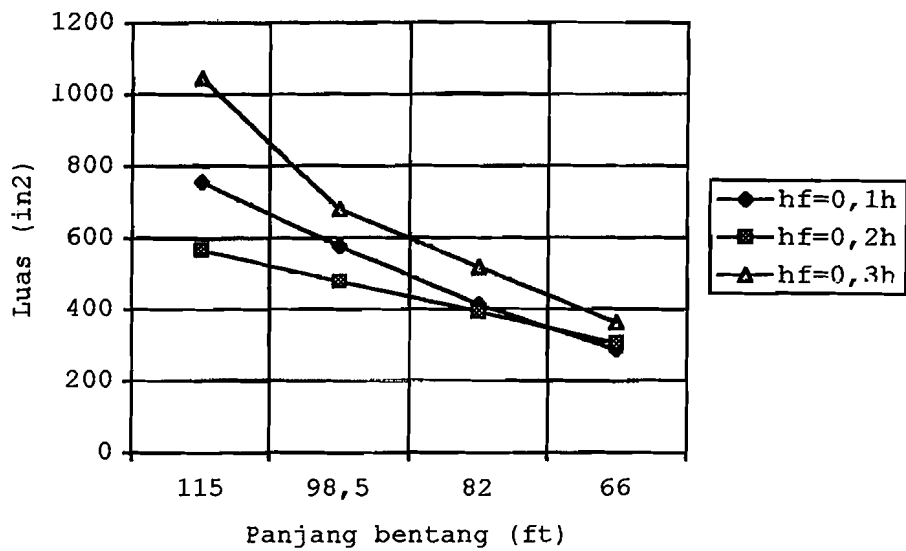
$f'_{cs}$ (psi)	3500,0000	3500,0000	3500,0000	3500,0000
N	0,7638	0,7638	0,7638	0,7638
hs (in)	5,0000	5,0000	5,0000	5,0000
$Beff_1$ (in)	88,7000	86,3000	85,4000	84,5000
$Beff_2$ (in)	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000
$Beff_3$ (in)	345,0000	295,5000	246,0000	198,0000
bm (in)	67,7457	65,9127	65,2253	64,5379
As (in <sup>2</sup> )	338,7287	329,5636	326,1266	322,6897
y (in)	52,5000	47,5000	42,5000	36,0000
Acc (in <sup>2</sup> )	1382,7287	1009,9636	844,5266	684,4897
Cbc (in)	31,7367	30,6578	28,6887	25,8250
Ctc (in)	23,2633	19,3422	16,3113	12,6750
Icc (in <sup>4</sup> )	482666,5751	291775,4605	193723,7756	108765,6800
$r^2$ (in <sup>2</sup> )	349,0682	288,8970	229,3874	158,9004
Stc (in <sup>3</sup> )	20747,9912	15084,9224	11876,6700	8581,1511
Sbc (in <sup>3</sup> )	15208,4638	9517,1663	6752,6130	4211,6352
$W_{sd}$ (kip/ft)	352,8424	343,2954	339,7152	336,1351
$W_{csd}$ (kips/ft)	124,1983	120,8378	119,5776	118,3174
$W_1$ (kips/ft)	564,5456	549,2704	543,5422	537,8140
$M_{sd}$ (lb-in)	583292,6203	416342,2050	285530,6650	183025,5672
$M_{csd}$ (lb-in)	205315,2693	146549,7916	100504,9667	64423,8283
$M_1$ (lb-in)	933264,4593	666144,8635	456847,2365	292839,7361
ft (psi)	-2276,4351	-1901,5535	-1553,6125	-1592,1753
fb (psi)	424,6141	298,8059	-30,0827	203,3541
Ftnc (psi)	-2858,3283	-2844,3342	-2647,1967	-2970,8041
Fbnc (psi)	856,1960	927,6445	678,0764	1083,2010
$\mu$ (lb-in)	62489801,2643	37486527,1018	23430098,2369	13578582,2096
$W_u$ (plf)	3150,0845	2575,7961	2323,0318	2078,1424
$M_{n1}$ (lb-in)	69433112,5159	41651696,7798	26033442,4854	15087313,5663
$\emptyset$ (in <sup>2</sup> )	0,1530	0,1530	0,1530	0,1530
dp (in)	47,0000	43,0000	37,7500	29,7500
$A_{ps}$ (in <sup>2</sup> )	7,6500	4,8960	3,9780	2,6010
$\rho$	0,0024	0,0017	0,0016	0,0014
$\beta$	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500
$f_{py}/f_{pu}$	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500
$f_{ps}$ (psi)	254431,1489	258806,1685	259530,9672	261221,6421
$c_1$ (lb)	1727516,4726	1680774,2005	1663245,8485	1645717,4965
T (lb)	1946398,2888	1267115,0008	1032414,1875	679437,4912
a (in)	5,6335	3,7694	3,1036	2,0643
$M_{n2}$ (lb-in)	85998186,7586	52097788,9912	37371528,6854	19511997,8219
$V_u$ (lb)	181129,8587	126857,9597	95244,3018	68578,6980
$V_{n1}$ (lb)	213093,9515	149244,6585	112052,1197	80680,8212
$0,5dp$ (in)	1,9583	1,7917	1,5729	1,2396
$0,4f_{pu}$ (psi)	108000,0000	108000,0000	108000,0000	108000,0000
$V_{n2}$ (lb)	205836,4038	143815,2843	107753,3723	77650,1969
$V_{u0,5h}$ (lb)	164669,1231	115052,2274	86202,6978	62120,1575
$0,8h$ (in)	44,0000	40,0000	36,0000	30,8000
$\mu_{0,5dp}$ (lb-in)	348672,2436	223152,9356	146937,6818	83412,4088
$(V_u \cdot dp) / \mu$	0,1603	0,1712	0,1805	0,1768
Vc (lb)	305233,9547	202220,2943	152169,0919	99934,4477



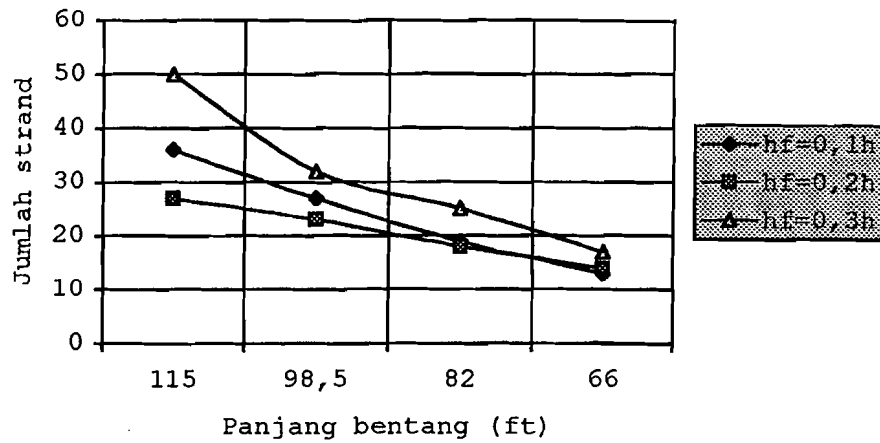
Vcmin (lb)	63346,5156	41967,6475	31580,3062	20739,8258
Vcmak (lb)	158366,2890	104919,1188	78950,7655	51849,5645
Vs (lb)	47470,1148	38896,1655	28802,6067	25800,6324
8lamda (lb)	253386,0624	167870,5902	126321,2248	82959,3033
s (in <sup>2</sup> )	13,0693	14,5927	17,3005	15,2206
Begel	#3-12	#3-14	#3-13	#3-15
Cc (lb)	1007717,9424	980451,6170	970226,7449	960001,8729
80b <sub>v</sub> l <sub>vh</sub> (lb)	1600800,0000	992880,0000	708480,0000	475200,0000
350b <sub>v</sub> d <sub>p</sub> (lb)	477050,0000	316050,0000	237825,0000	156187,5000
Avft (in <sup>2</sup> )	16,7953	16,3409	16,1704	1,3447
Avfm (in <sup>2</sup> )	16,6750	10,3425	7,3800	4,9500
S (in)	9,0382	15,9135	13,3874	17,6000
Dowel	#3-8	#3-14	#3-13	#3-15
kt (in)	15,0051	14,9361	14,0631	12,5366
kb (in)	10,9989	9,4233	7,9957	6,1530
e <sub>1</sub> (in)	21,5310	18,9403	12,8591	10,2244
e <sub>2</sub> (in)	12,3970	10,4712	6,1285	4,5342
e <sub>3</sub> (in)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
e <sub>4</sub> (in)	32,4775	27,8807	21,9457	17,2091
e <sub>5</sub> (in)	27,1078	23,2663	18,4582	14,4451
e <sub>6</sub> (in)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
e <sub>e</sub> (in)	3,0000	3,5000	2,8000	2,8000
Δ <sub>1</sub> (in)	30,7809	23,8282	17,6086	11,0040
Δ <sub>2</sub> (in)	26,1126	19,5980	14,8489	8,8387
Δ <sub>3</sub> (in)	4,6683	4,2302	2,7597	2,1653
L/240 (in)	5,7500	4,9250	4,1000	3,3000
Jumlah Stirrups	5#8	4#8	4#8	3#8
Daerah (in)	25,0	22,5	20,0	17,5
Pelat (in x in)	3,5 x 19	3,5 x 14	3,5 x 9	3,5 x 6
fb awal (psi)	4420,0500	4506,6844	4684,3203	4922,2527
fb akhir (psi)	3576,2374	3636,5492	3760,6990	3927,9220



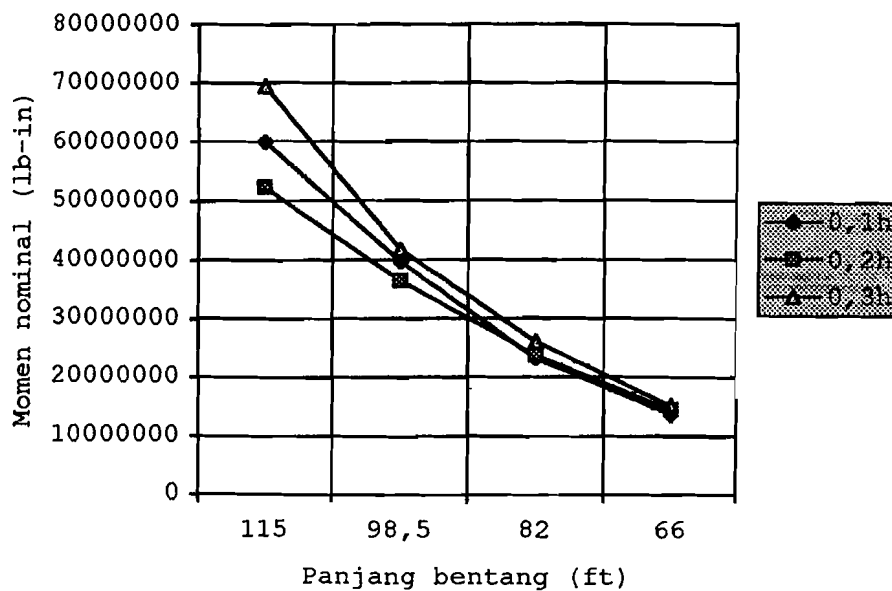
Grafik 5.1. Hubungan antara tinggi balok dan panjang bentang terhadap perbandingan  $h_f/h$ .



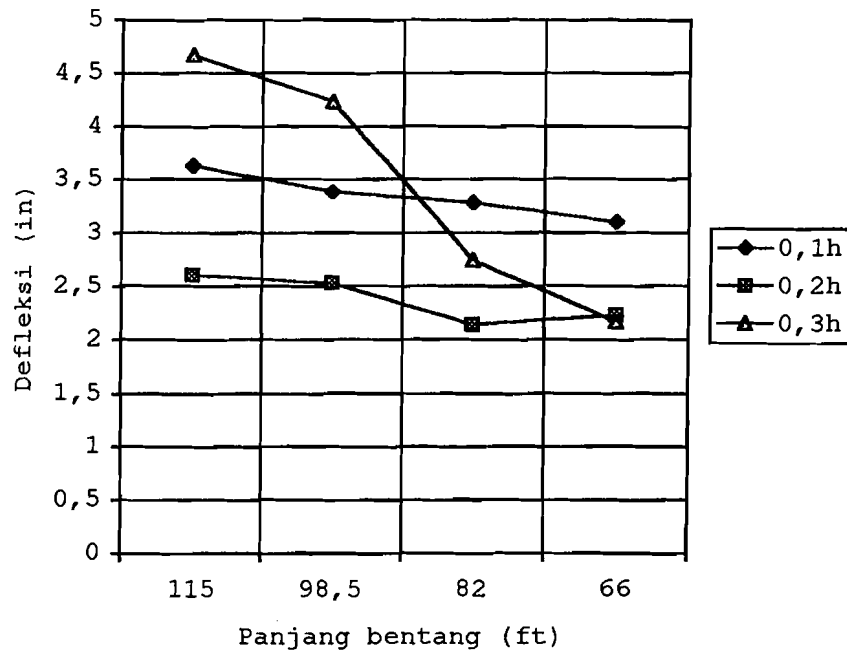
Grafik 5.2. Hubungan antara luas balok pracetak dan panjang bentang terhadap perbandingan  $h_f/h$ .



Grafik 5.3. Hubungan antara jumlah strand dan panjang bentang terhadap perbandingan  $hf/h$



Grafik 5.4. Hubungan antara momen nominal dan panjang bentang terhadap perbandingan  $hf/h$ .



Grafik 5.5. Hubungan antara defleksi dan panjang bentang terhadap perbandingan  $h_f/h$ .

Dari analisa diatas dapat diketahui :

1. pada  $h_f/h=0,2$  luas balok pracetak yang digunakan lebih kecil dari perbandingan  $h_f/h$  yang lain,
2. jumlah strand yang digunakan pada  $h_f/h=0,2$  relatif lebih sedikit dibanding dengan perbandingan  $h_f/h$  yang lain,
3. momen nominal yang terjadi pada  $h_f/h=0,2$  lebih kecil dari perbandingan  $h_f/h$ , kecuali pada bentang

82 ft dan 66 ft lebih besar atau sama dengan  $h_f/h=0,1$ ,

4. defleksi yang terjadi perbandingan  $h_f/h=0,2$  lebih kecil dari perbandingan  $h_f/h$  yang lain, kecuali untuk bentang 66 ft , karena pada bentang tersebut momen inersia  $h_f/h=0,3$  semakin besar walaupun masih lebih kecil dari inersia  $h_f/h=0,2$
5. secara umum menggunakan tampang balok pracetak dengan perbandingan  $h_f/h=0,2$  lebih ekonomis dibandingkan menggunakan balok pracetak dengan perbandingan  $h_f/h=0,1$  atau  $h_f/h=0,3$  untuk panjang bentang lebih besar dari 82ft,
6. penggunaan balok komposit lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan balok pracetak biasa pada bentang yang panjang, karena digunakannya dua macam kekuatan beton yang berbeda,
7. penggunaan struktur balok komposit dapat dijadikan salah satu alternatif dalam penggunaan struktur balok dengan bentang yang panjang.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari uraian pembahasan tentang perencanaan balok komposit prategang dengan metode konstruksi menggunakan perancah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Pada struktur balok komposit dengan unit pracetak yang memiliki perbandingan  $h_f/h=0,2$ , lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan unit pracetak yang memiliki perbandingan  $h_f/h=0,1$  atau  $h_f/h=0,3$ , untuk bentang 66 ft - 115 ft.
2. Semakin tebal sayap pada unit balok pracetak tidak menjamin bahwa struktur dapat menahan momen nominal lebih besar.
3. Penggunaan balok komposit lebih ekonomis dibandingkan menggunakan balok prategang biasa pada panjang bentang lebih dari 66 ft, karena konstruksi balok komposit dapat menggunakan dua jenis kekuatan beton yang berbeda, yaitu beton pracetak dan beton cor ditempat.

4. Penggunaan struktur balok komposit dapat dijadikan alternatif pada konstruksi dengan bentang yang panjang.

## 6.2 Saran

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan dalam studi lebih lanjut mengenai balok komposit prategang seperti hal-hal berikut:

1. Untuk memperoleh tampang yang benar-benar ekonomis perlu dicarikan perbandingan antara  $hf/h$  dan  $bw/b$ .
2. Untuk memperoleh tampang ekonomis yang mampu menahan lentur, geser dan defleksi dapat digunakan kombinasi baja prategang dan baja non-prategang.
3. Perlu adanya penelitian untuk membandingkan metode menggunakan perancah dengan metode tanpa perancah, untuk mengetahui metode yang lebih efisien.
4. Dari analisa ini diharapkan dapat diteruskan dengan anggapan balok sebagai balok menerus.

## PENUTUP

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Dalam laporan ini, kami telah berusaha sebaik-baiknya menyampaikan permasalahan dari hasil studi literatur ini. Mengingat keterbatasan pengetahuan kami dan literatur yang mendukung, kami menyadari dengan sesungguhnya bahwa masih ada kekurangan dan mungkin kesalahan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu kami mohon maaf bila kekurangan dan kesalahan tersebut tidak memuaskan dari para pembaca.

Kami berharap agar Laporan tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat dan membuka wawasan lebih jauh bagi semua pihak yang ingin mengetahui dan mempelajari makalah kami ini.



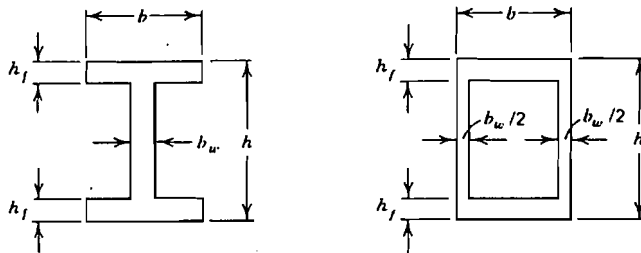
## DAFTAR PUSTAKA

1. \_\_\_\_\_, 1989, **ACI-CODE**, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
2. Arthur H. Nilson, 1987, "**DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE**", John Wiley and Sons Inc, Second Edition, New York.
3. Edward G. Nawy, 1996, "**PRESTRESSED CONCRETE**", A **Fundamental Approach**, Prentice Hall Inc, New Jersey.
4. Istimawan Dipohusodo, 1994, "**STRUKTUR BETON BERTULANG**", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
5. Lin, T.Y, Burn, Ned H, 1982, "**DESAIN STRUKTUR BETON PRATEGANG**", jilid 1 dan 2, Edisi ketiga, Jakarta.
6. N. Krishna Raju, 1989, "**BETON PRATEGANG**", Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

**Table 4.2** ACI Code Requirements for Concrete Protection for Prestressed and Non-prestressed Reinforcement, Ducts, and End Fittings

Exposure condition and class of member	Minimum cover	
	in.	mm
(a) Concrete cast against and permanently exposed to earth	3	70
(b) Concrete exposed to earth or weather:		
Wall panels, slabs, joists	1	30
Other members	1½	40
(c) Concrete not exposed to weather or in contact with ground:		
Slabs, walls, joists	¾	20
Beams, columns		
Primary reinforcement	1½	40
Ties, stirrups, spirals	1	20
Shells, folded plates:		
No. 5 bar, W31 or D31 wire and smaller	¾	10
Other reinforcement $d_b$ , but not less than	¾	20



**Table A.8** Section Properties of Symmetrical I-and Box Beams

$b_w/b$	$h_f/h$	$A_c$	$I_c$	$c_1$	$c_2$	$r^2$
0.1	0.1	$0.280bh$	$0.0449bh^3$	$0.500h$	$0.500h$	$0.160h^2$
0.1	0.2	0.460	0.0671	0.500	0.500	0.146
0.1	0.3	0.640	0.0785	0.500	0.500	0.123
0.2	0.1	0.360	0.0492	0.500	0.500	0.137
0.2	0.2	0.520	0.0689	0.500	0.500	0.132
0.2	0.3	0.680	0.0791	0.500	0.500	0.117
0.3	0.1	0.440	0.0535	0.500	0.500	0.121
0.3	0.2	0.580	0.0707	0.500	0.500	0.122
0.3	0.3	0.720	0.0796	0.500	0.500	0.111
0.4	0.1	0.520	0.0577	0.500	0.500	0.111
0.4	0.2	0.640	0.0725	0.500	0.500	0.113
0.4	0.3	0.760	0.0801	0.500	0.500	0.105

Table A.1 Properties of Prestressing Steels<sup>a</sup>

Seven-Wire Strand, $f_{pu} = 270$ ksi						
Nominal Diameter (in.)	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.75 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
$\frac{3}{8}$ (0.375)	0.085	0.29	16.1	17.2	18.4	23.0
$\frac{7}{16}$ (0.438)	0.115	0.40	21.7	23.3	24.8	31.0
$\frac{1}{2}$ (0.500)	0.153	0.53	28.9	31.0	33.0	41.3
$\frac{9}{16}$ (0.563)	0.192	0.65	36.3	38.9	41.4	51.8
$\frac{3}{4}$ (0.600)	0.215	0.74	40.7	43.5	46.5	58.1

Seven-wire strand, $f_{pu} = 250$ ksi						
Nominal Diameter (in.)	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)	
$\frac{1}{4}$ (0.250)	0.036	0.12	6.3	7.2	9.0	
$\frac{5}{16}$ (0.313)	0.058	0.20	10.2	11.6	14.5	
$\frac{3}{8}$ (0.375)	0.080	0.27	14.0	16.0	20.0	
$\frac{7}{16}$ (0.438)	0.108	0.37	18.9	21.6	27.0	
$\frac{1}{2}$ (0.500)	0.144	0.49	25.2	28.8	36.0	
$\frac{3}{4}$ (0.600)	0.215	0.74	37.6	43.0	53.8	

Table A--Tendon Characteristics

STRAND SIZE	$\frac{1}{2}$ " DIAMETER				0.8" DIAMETER			
	41,300 lbs. 0.1531 in <sup>2</sup>				58,600 lbs. 0.217 in <sup>2</sup>			
Ultimate Strength of One Strand								
Nominal Steel Area of One Strand								
Number of Strands in Tendon	6	8	9	12	6	8	9	12
Nominal Steel Area (in <sup>2</sup> )	0.92	1.22	1.38	1.84	1.30	1.74	1.95	2.60
Ultimate Tendon Strength (Kips)	247.8	330.4	371.7	495.6	351.8	468.8	527.4	703.2
Maximum Jacking Force — 80% $f_u$ (Kips)	198.2	264.3	297.4	396.5	281.3	375.0	421.9	562.6
Maximum Force After Anchoring — 70% $f_u$ (Kips)	173.5	231.3	260.2	346.9	248.1	328.2	369.2	492.2
Maximum Effective Force — 60% $f_u$ (Kips)	148.7	198.2	223.0	297.4	211.0	281.3	316.4	421.9
Tendon Weight — Without Sheath (lbs/ft)	3.15	4.20	4.73	6.30	4.38	5.84	6.57	8.76
Tendon Weight — With Sheath (lbs/ft)	3.15	4.20	4.73	6.30	4.38	5.84	6.57	8.76
Sheath Diameter — I.D. (in)	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{3}{4}$	3
A (IN)	9	9 $\frac{1}{2}$	10	10	10	10	10	12
B (IN)	9	10 $\frac{1}{2}$	11	13 $\frac{1}{2}$	10	13	14 $\frac{1}{2}$	15
C (IN)	1	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$
D (IN)	6 $\frac{1}{2}$	7	7	8	—	—	—	—
E (IN)	9	9	10	11	—	—	—	—
F (No.)	5	6	6	7	—	—	—	—
G (IN)	2	1 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	—	—	—	—

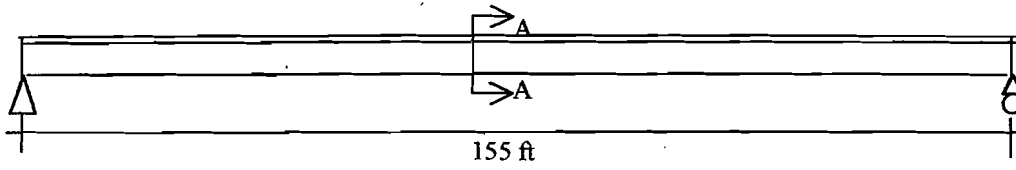
**METAL REINFORCEMENT****Reinforcing Bars**

Bar size	U.S. Customary			Metric		
	Nominal diameter (in.)	Nominal area (in. <sup>2</sup> )	Nominal weight (lb/ft)	Nominal diameter (mm)	Nominal area (mm <sup>2</sup> )	Nominal mass (kg/m)
3	0.375	0.11	0.376	9.525	71	0.560
4	0.500	0.20	0.668	12.700	129	0.994
5	0.625	0.31	1.043	15.875	200	1.552
6	0.750	0.44	1.502	19.050	284	2.235
7	0.875	0.60	2.044	22.225	387	3.042
8	1.000	0.79	2.670	25.400	510	3.973
9	1.128	1.00	3.400	28.651	645	5.060
10	1.270	1.27	4.303	32.258	819	6.404
11	1.410	1.56	5.313	35.814	1,006	7.907
14	1.693	2.25	7.650	43.002	1,452	11.385
18	2.257	4.00	13.600	57.328	2,581	20.240

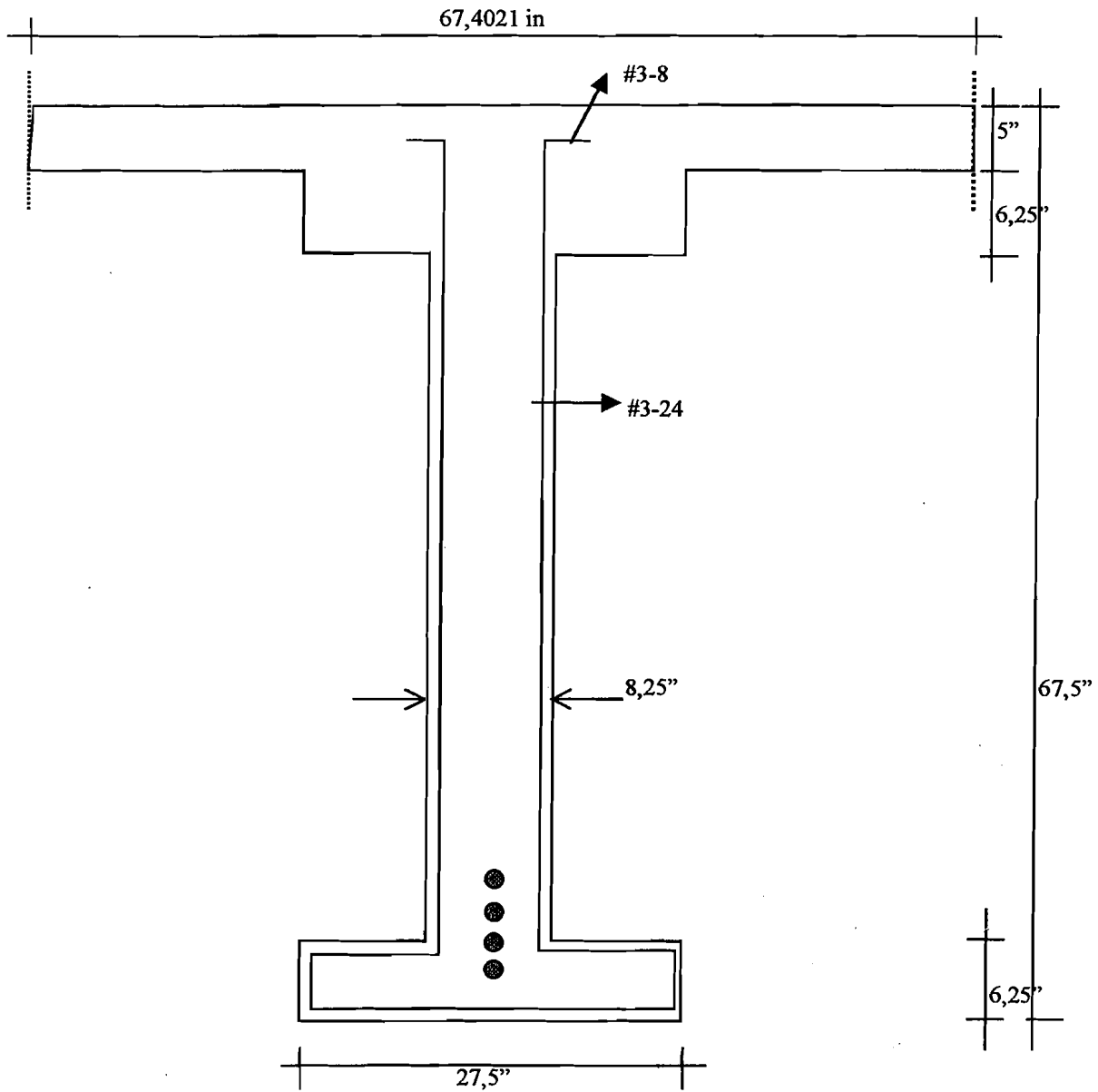
TABLE B-2 RECOMMENDED MINIMUM FLOOR LIVE LOADS\*

Uniformly distributed loads		Uniformly distributed loads	
Occupancy or use	Live load (psf)	Occupancy or use	Live load (psf)
Apartments ( <i>see Residential</i> )		Grandstands ( <i>see Stadium and arena bleachers</i> )	
Armories and drill rooms	150	Gymnasiums, main floors and balconies	100
Assembly halls and other places of assembly:		Hospitals:	
Fixed seats	60	Operating rooms, laboratories	60
Movable seats	100	Private rooms	40
Platforms (assembly)	100	Wards	40
Balcony (exterior)	100	Corridors, above first floor	80
On one- and two-family residences only and not exceeding 100 sq ft	60	Hotels ( <i>see Residential</i> )	
Bowling alleys, poolrooms, and similar recreational areas	75	Libraries:	
Corridors:		Reading rooms	60
First floor	100	Stack rooms (books & shelving at 65 pcf) but not less than	150
Other floors, same as occupancy served except as indicated		Corridors, above first floor	80
Dance halls and ballrooms	100	Manufacturing:	
Dining rooms and restaurants	100	Light	125
Dwellings ( <i>see Residential</i> )		Heavy	250
Fire escapes	100	Marquees and canopies	75
On multi- or single-family residential buildings only	40	Office buildings:	
Garages (passenger cars only)	50	Offices	50
For trucks and buses use AASHTO lane loads (1)		Lobbies	100
Residential:		File and computer rooms require heavier loads based upon anticipated occupancy	
Dwellings (one- and two-family)		Penal institutions:	
Uninhabitable attics without storage	10	Cell blocks	40
Uninhabitable attics with storage	20	Corridors	100
Habitable attics and sleeping areas	30	Elevator machine room grating (on area of 4 sq in)	300
All other areas	40	Finish light floor plate construction (on area of 1 sq in)	200
Hotels and multifamily houses:		Garages	(4)
Private rooms and corridors serving them	40	Office floors	2000
Public rooms and corridors serving them	100	Scuttles, skylight ribs, and accessible ceilings	200
Schools:		Sidewalks	8000
Classrooms	40	Stair treads (on area of 4 sq in at center of tread)	300
Corridors above first floor	80	(1) American Association of State Highway and Transportation Officials.	
Sidewalks, vehicular driveways, and yards, subject to trucking (2)	250	(2) AASHTO lane loads should also be considered where appropriate.	
Stadiums and arena bleachers (3)	100	(3) For detailed recommendations, see <i>Assembly Seating, Tents and Air Supported Structures</i> , ANSI/NFPA 102-1978 [Z20.3].	
Stairs and exitways	100	(4) Floors in garages or portions of buildings used for storage of motor vehicles shall be designed for the uniformly distributed live loads shown or the following concentrated loads: (1) for passenger cars accommodating not more than nine passengers, 2000 pounds acting on an area of 20 sq in; (2) mechanical parking structures without slab or deck, passenger cars only, 1500 pounds per wheel; (3) for trucks or buses, maximum axle load on an area of 20 sq in.	
Storage warehouse:			
Light	125		
Heavy	250		
Stores:			
Retail:			
First floor	100		
Upper floors	75		
Wholesale, all floors	125		
Walkways and elevated platforms (other than exitways)	60		

\* Source: American National Standard ANSI A58.1-1982.  
Local building codes take precedence.



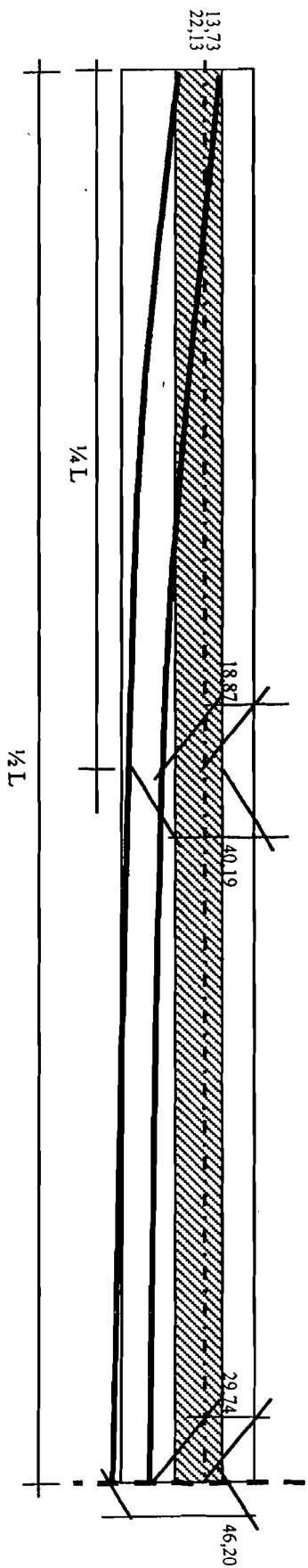
Balok dengan tumpuan sederhana



Potongan A-A







Gambar tata letak tendon