

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN BALOK MENERUS
BETON PRATEGANG
DENGAN CARA BEBAN BERIMBANG



Oleh :

H U D A

No. Mhs. : 84310269

NIRM : 844330262

ANANG SETYO PRIONO

No. Mhs. : 88310181

NIRM : 885014330266

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

1998

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN BALOK MENERUS BETON PRATEGANG
DENGAN CARA BEBAN BERIMBANG**

Disusun Oleh:

HUDA

No. Mhs. : 84310269

NIRM : 844330262

ANANG SETYO PRONO

No. MHS : 88310181

NIRM : 885014330226


Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

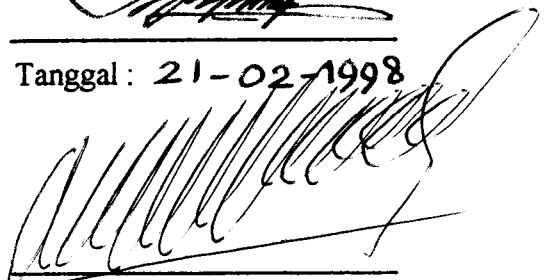
Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I

Ir. A. Kadir Aboe, MS

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 21-02-1998


Tanggal : 21/02/98

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

.....Tuhanku karunialah aku kesadaran untuk bersyukur atas nikmat-Mu yang Kau anugerahkan kepadaku dan atas kedua orang tuaku dan agar aku beramal salih yang Kau ridhoi dan masukkanlah aku dengan rahmat kedalam golongan hamba-hamba-Mu yang salih.

(al-Quran, surat an-Nami ayat 19)

Assalammu'alaikum Wr.Wb

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT, atas berkah dan rahmat-Nya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat memperoleh jenjang kesarjanaan Srata satu (S_1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah perancangan struktur balok prategang dengan cara beban berimbang.

Tugas akhir ini belumlah sempurna walaupun sudah diupayakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Untuk itu diharapkan usaha ini terus berlanjut, sebab masih banyak hal-hal yang belum ditinjau dalam perancangan balok beton prategang khususnya pada struktur menerus.

Terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada:

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. Ir. M. Subhan, Haryanto, Ir. Subur Budihardjo dan Enur Mutakin yang telah memberi dorongan baik moril maupun materiil.

Semoga Allah SWT membalas amal baiknya dan semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, amin.

Wassalamu'alikum wr. wb.

Yogyakarta, Januari 1998

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sejarah Perkembangan Beton Prategang.....	2
1.3 Permasalahan.....	5
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Beton Prategang.....	8
2.1.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton	

	Menjadi Bahan yang Elastis	9
	2.1.2 Prategang Sebagai Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton	10
	2.1.3 Sistem Prategang untuk Mencapai peng- imbangan Beban.....	12
	2.2 Balok Sederhana dan Balok Menerus Beton - Prategang.....	15
BAB III	LANDASAN TEORI	
	3.1 Analisis Lentur Metode Elastis	20
	3.2 Tendon Prategang	24
	3.3 Analisis Tampang Berdasarkan Keadaan Batas.....	26
	3.4 Analisis Keadaan Batas Tendon Terekat.....	28
	3.5 Disain Balok Prategang Struktur Menerus.....	34
BAB IV	DISAIN BALOK MENERUS	
	4.1 Data dan Asumsi Disain	39
	4.2 Disain.....	43
BAB V	PEMBAHASAN.....	68
BAB VI	SIMPULAN DAN SARAN	
	6.1 Simpulan	72
	6.2 Saran-saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA..... 74

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

a	= tinggi balok desak menurut Whitney (mm).
A_c	= luas bruto tampang beton (mm^2).
A_{net}	= luas netto tampang beton (mm^2).
A_{ps}	= luas tulangan prategang dalam daerah tarik (mm^2).
A_f	= luas beton tampang T pada daerah sayap (mm^2).
A_s	= luas selongsong baja prategang (mm^2).
A_w	= luas beton tampang T pada daerah badan (mm^2).
B_e	= lebar efektif sayap beton tampang T (mm).
b_f	= lebar sayap beton tampang T (mm).
b_{tr}	= lebar sayap beton transformasi (mm).
b_w	= lebar badan beton tampang T (mm).
C	= Gaya tekan beton (N).
C_b	= jarak titik berat tampang ke serat bawah beton (mm).
$c.g.c$	= titik berat beton.
$c.g.s$	= titik berat baja tulangan prategang.
$C\text{-line}$	= garis tekan beton.
C^t	= jarak titik berat tampang ke serat atas beton (mm).
d	= jarak antara gaya tarik baja terhadap gaya desak beton (mm).
d'	= jarak tulangan prategang ke serat terluar terdekat dari tampang T (mm).
d_p	= jarak tulangan prategang ke serat tekan terluar dari tampang T (mm).
e	= eksentrisitas tulangan prategang terhadap titik berat tampang beton (mm).
e_c	= eksentrisitas garis tekan beton terhadap titik berat beton (mm).
E_c	= modulus elastis beton (MPa).
E_p	= modulus elastis baja prategang (MPa).
f_b	= tegangan yang terjadi pada serat bawah beton (MPa).
f'_c	= kuat tekan beton karakteristik (MPa).
f_{cci}	= tegangan pada titik berat tendon (MPa).
f_{ci}	= tegangan tekan pada serat bawah beton setelah tahap transfer (MPa).
f_{cs}	= tegangan tekan pada serat beton pada saat beban layan (MPa).
f_{ps}	= tegangan baja prategang sampai beban layan (MPa).
f_{pu}	= kuat tarik batas baja prategang (MPa).
f_{py}	= kuat leleh baja prategang (MPa).
f^t	= tegangan yang terjadi pada serat atas beton (MPa).
f_u	= tegangan tarik serat atas beton setelah tahap transfer (MPa).
f_{ts}	= tegangan tarik pada serat bawah beton pada saat beban layan (MPa).

h	= tinggi penampang T (mm).
h'	= jarak tulangan prategang ke serat terluar terdekat dari tampang T (mm).
h_f	= tinggi sayap penampang T (mm).
I_c	= inersia tampang beton (mm^4).
L	= panjang bentangan (m).
M_D	= momen akibat beban mati (kN-m).
M_L	= momen akibat beban hidup (kN-m).
M_O	= momen akibat berat sendiri balok (kN-m).
M_n	= kapasitas momen tampang nominal (kN-m).
M_{net}	= momen netto (kN-m).
M_u	= kapasitas momen tampang ultimit (kN-m).
P_e	= gaya prategang efektif (N).
P_i	= gaya prategang awal (N).
S_b	= modulus tampang beton terhadap serat bawah (mm^3).
S^t	= modulus tampang beton terhadap serat atas (mm^3).
T	= gaya tarik baja (N).
W_D	= beban mati merata (kN/m).
W_L	= beban hidup merata (kN/m).
W_O	= berat sendiri balok (kN/m).
ω_p	= indeks penulangan prategang.
ρ_p	= rasio tulangan prategang.
ϕ	= faktor reduksi.
β	= faktor yang didefinisikan dalam ayat 3.3.2 butir 7.
γ	= faktor jenis baja prategang.

DAFTAR TABEL

No	Nama Tabel	Hal
4.1	Hasil hitungan persamaan dan panjang segmen kurva.....	56
4.2	Hasil Hitungan Titik Berat Tampang, Statis Momen dan Momen Inersia Pada Saat Awal dengan Tampang Netto Dihitung dengan Program MS-EXCEL.....	56
4.3	Distribusi Momen.....	58
4.4	Kontrol Tegangan Pada Saat Awal Dihitung dengan Program MS-EXCEL.....	59
4.5	Hasil Hitungan Titik Berat Tampang, Statis Momen dan Momen Inersia Pada Saat Akhir Dihitung dengan Program MS-EXCEL.....	60
4.6	Distribusi Momen.....	63
4.7	Kontrol Tegangan Pada Saat Akhir Dihitung dengan Program MS-EXCEL.....	64
4.8	Hasil Hitungan Momen Nominal dengan Program MS-EXCEL.....	66
5.1.a	Tegangan Beton dengan Luasan Transformasi dan Tinggi Tampang yang Bervariasi pada Tumpuan Ujung.....	70
5.1.b	Tegangan Beton dengan Luasan Transformasi dan Tinggi Tampang yang Bervariasi pada Tengah Bentang.....	71
5.1.c	Tegangan Beton dengan Luasan Transformasi dan Tinggi Tampang yang Bervariasi pada Tumpuan Tengah.....	65
5.2.a	Momen Nominal dengan Tinggi Tampang yang Bervariasi Pada Tumpuan Ujung.....	66
5.2.b	Momen Nominal dengan Tinggi Tampang yang Bervariasi Pada Tengah Bentang.....	66

DAFTAR GAMBAR

NO.	Nama Gambar	Hal
1.1	Prinsip sistem prategang yang digunakan pada konstruksi beton.....	3
1.2	Lengkungan beton (batu buatan) yang diperkuat dengan batang baja.....	3
2.1	Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang eksentris.....	9
2.2	Konsep gaya-dalam pada balok beton prategang.....	11
2.3	Lengan momen (j_d) yang konstan pada konsep gaya-dalam pada balok beton bertulang.....	11
2.4	Lengan momen (a) yang bervariasi pada konsep gaya-dalam balok beton prategang	12
2.5	Gaya-gaya yang bekerja pada lengkungan tendon	13
2.6	Balok beton prategang yang direntangkan parabolis	14
2.7	Gaya-gaya yang bekerja pada balok beton prategang akibat gaya prategang.....	14
2.8	Kapasitas memikul beban dari balok sederhana.....	15
2.9	Kapasitas memikul beban dari balok menerus.....	16
3.1	Diagram tegangan akibat gaya prategang.....	21
3.2	Diagram tegangan akibat gaya prategang dan berat sendiri balok.....	21
3.3	Diagram tegangan superposisi gaya prategang pada beban layan.....	22
3.4	Momen batas.....	30

3.5	Analisi balok tampang T.....	33
3.6	Tata letak tendon untuk balok menerus penuh.....	35
3.7	Tata letak tendon untuk balok menerus sebagian.....	36
4.1	Denah bangunan.....	40
4.2	Potongan A - A.....	40
4.3	Potongan B - B.....	41
4.4	Momen akibat pembebanan.....	48
4.5	Tata letak tendon ideal	50
4.6	Tata letak tendon dengan kurva parabolik	51

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Nama
1.	Lembar konsultasi Tugas Akhir
2.	Grafik Perencanaan dimensi tampang
3.	Daftar <i>stressing anchorage, stressing jacks, coupling anchorage</i> dan <i>dead end anchorage</i> dari VSL
4.	Data struktur dan hasil hitungan momen dari <i>microfeap</i>
5.	Perhitungan perancangan balok beton prategang tampang T dengan $h = 1000$ mm dan $h = 1200$ mm.

ABSTRAK

Pada gedung bertingkat dengan beberapa bentangan balok yang lebar, struktur diasumsikan sebagai portal statis tak tentu, karena itu umumnya pada tumpuan eksternal dan tumpuan internal balok akan terjadi momen. Jika balok didisain sebagai balok menerus prategang dengan metode elastis atau kuat batas maka hitungan gaya-gaya tambahan yang bekerja pada balok dan tata cara peletakan tendonnya akan cenderung rumit. Untuk kasus seperti ini, metode beban berimbang menawarkan hitungan dan tata cara peletakan tendon yang sederhana bagi balok menerus prategang. Dari hitungan disain, cara ini memiliki ketelitian yang bisa diterima dilihat dari aspek keamanannya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur beton bertulang telah lama dikenal dan digunakan di Indonesia. Kenyataan di lapangan memperlihatkan bahwa struktur menjadi tidak efisien lagi ketika dipakai sebagai struktur dengan bentangan yang panjang. Ini diakibatkan oleh besarnya beban layan yang dipikul yang mengharuskan perancang untuk mendisain tampang yang luas, sehingga beban mati struktur menjadi besar. Hal ini menimbulkan masalah efisiensi dan lendutan dengan retakan yang pada batas tertentu berbahaya bagi struktur.

Struktur beton prategang adalah salah satu alternatif pemecahan bagi masalah tersebut di atas. Berbagai hal yang dahulu menjadi kendala teknis pembuatan beton prategang, saat ini sudah mampu diatasi seperti; keharusan memakai beton mutu tinggi, pengadaan kawat baja tarik (tendon) mutu tinggi dan tersedianya sumber daya manusia yang mampu melaksanakan pembuatan beton prategang tersebut. Di antara keuntungan pemakaian struktur beton prategang adalah :

1. struktur dapat didisain tanpa mengalami lendutan atau dibatasi lendutannya pada beban kerja sehingga struktur terbebas dari retakan,

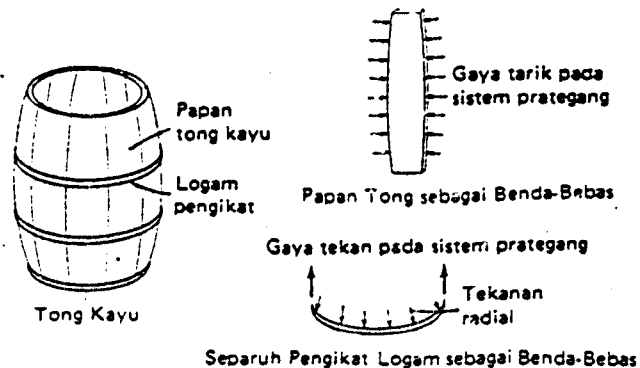
2. struktur lebih langsing jika dibandingkan dengan beton konvensional, sehingga lebih menghemat biaya terutama pada penggunaan dengan volume yang cukup besar.

Munculnya banyak proyek jembatan layang, dan gedung-gedung yang memerlukan struktur dengan bentangan yang panjang saat ini, mengisyaratkan prospek pemakaian struktur beton prategang yang lebih menggembirakan.

Ada beberapa metode yang telah dikenal dan dipergunakan untuk menganalisis dan mendisain balok beton prategang, diantaranya metode beban berimbang. Metode beban berimbang atau dikenal juga dengan metode T.Y Lin adalah metode yang relatif baru dalam perkembangan beton prategang. Dibandingkan dengan metode yang lain, metode beban berimbang memudahkan dalam peletakan kabel dan pengontrolan lendutan. Kemudahan ini akan lebih menguntungkan bila dipergunakan untuk menganalisis dan mendisain balok menerus karena akan lebih menyederhanakan perhitungan.

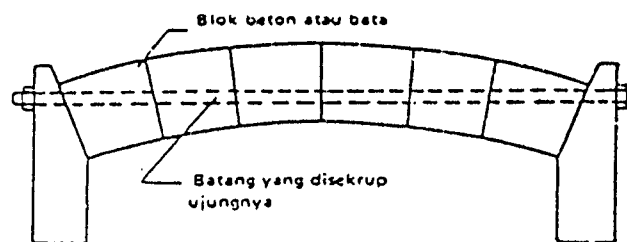
1.2 Sejarah perkembangan beton prategang

Prinsip dasar sistem prategang mungkin telah dipakai pada konstruksi sejak berabad-abad yang lalu, salah satu penerapannya adalah pada pembuatan tong kayu yang diikat dengan pita logam mengelilingi kayu yang melengkung. Pada waktu pita dikencangkan pita akan tertarik kemudian akan menekan kayu-kayu ke dalam, sehingga mampu menahan tarikan akibat tekanan cairan dari dalam.



Gambar 1.1 Prinsip sistem prategang yang digunakan pada konstruksi beton (Lin, jilid I, 1993)

Perkembangan struktur beton prategang sendiri dimulai sekitar tahun 1886 di Amerika Serikat, P.H. Jackson seorang insinyur dari San Fransisco, California, mendapatkan hak paten untuk pengikatan batang baja/pengikat ke batu buatan dan lengkungan beton yang berfungsi sebagai pelat lantai dan atap.



Gambar 1.2 Lengkungan beton (batu buatan) yang diperkuat dengan batang baja (Kadir Aboe, 1992)

Kemudian sekitar tahun 1888 C.E.W. Doebering dari Jerman secara perorangan mendapatkan hak paten untuk beton yang diperkuat dengan logam yang telah ditarik sebelum pelat dibebani. Pemakaian ini didasarkan

pada konsep bahwa beton walaupun kuat terhadap tekanan namun lemah terhadap tarikan, dengan cara menarik baja serta menahannya ke beton akan membuat beton tertekan yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengimbangi tegangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati dan atau beban hidup. Metode yang pertama diterapkan dan mendapatkan hak paten ini tidak berhasil dengan baik, karena gaya tarik prategang yang rendah dalam baja kemudian hilang akibat susut dan rangkai pada beton.

Pada tahun 1908 C.R. Steiner dari Amerika Serikat mengusulkan kemungkinan untuk meningkatkan kembali batang tulangan setelah beton menjalani penyusutan dan rangkai guna mengembalikan gaya yang hilang. Pada tahun 1925 R.E. Dill dari Nebraska Amerika Serikat, mencoba baja mutu tinggi yang dilapisi untuk mencegah rekatan pada beton. Setelah beton mengeras batang-batang baja ditarik dan diangkurkan ke beton dengan memakai baut. Cara inipun tidak banyak dipakai karena alasan ekonomis.

Eugene Freissinet, seorang warga negara Perancis yang dianggap paling berjasa dalam pengembangan beton prategang modern. Pada tahun 1928 Eugene Freissinet menggunakan baja mutu tinggi sebagai kabel dalam sistem prategang. Tahun 1939, ia menyempurnakan penemuannya dengan mengembangkan baji berbentuk konus sebagai angkur ujung dan mendisain dongkrak yang bekerja ganda guna menarik kabel dan menekan konus jantan ke dalam konus betina untuk menjangkarkan kabel tersebut.

Di Amerika Serikat perkembangan beton prategang diawali tahun 1949, pada waktu itu dibangun jembatan *Philadelphia Walnut Lane*. Survey dari *Bureau of Publik Road* memperlihatkan bahwa dari tahun 1957 – 1960, 2052 jembatan prategang dibangun dengan panjang total 109 km, dengan biaya untuk bahan sebesar US \$ 290 juta.

Sejak tahun 1960 di Amerika Serikat pemakaian jembatan beton prategang menjadi hal yang standar. Berbagai negara bagian di Amerika Serikat memakai jembatan beton prategang untuk bentangan 18 m sampai 36 m. Sejak tahun 1970-an jembatan pasca tarik dengan bentangan menegah (45 – 200 meter) banyak dipakai dalam bentuk konstruksi menerus atau kantilever.

Di Indonesia sendiri penggunaan beton prategang pada konstruksi bangunan belumlah meluas seperti halnya dinegara-negara Eropa dan Amerika. Biaya yang mahal yang menjadi salah satu pertimbangan terbatasnya penggunaan beton prategang

1.3 Permasalahan

Dalam tahap disain cara-cara yang sederhana dengan persyaratan keamanan terhadap keruntuhan total terpenuhi serta mempertimbangkan tinjauan fungsional, estetika dan ekonomi adalah cara yang paling disukai.

Dalam mendisain balok menerus beton prategang membutuhkan analisis dan perhitungan yang lebih panjang bila dibandingkan dengan balok sederhana. Semakin banyak tumpuan yang ditinjau dan banyaknya

variasi beban yang bekerja akan semakin rumit dalam meletakkan tendon dan menghitung gaya-gaya tambahan yang bekerja pada balok tersebut.

Pada metode beban berimbang, peletakan tendon dilakukan persis seperti diagram momen yang terjadi akibat beban eksternal dan proses pengimbangan beban dapat didisain tanpa lendutan atau dengan lendutan yang dibatasi. Dengan cara demikian maka gaya prategang yang dihasilkan akan lebih efektif dalam rangka mengimbangi beban-beban yang bekerja pada balok, sehingga tampang balok dapat didisain lebih langsing.

1.4 Tujuan

Merancang balok beton prategang tampang T pada struktur menerus dengan cara perhitungan beban berimbang (*balanced load method*).

1.5 Batasan Masalah

Karena banyaknya masalah yang berkaitan dengan struktur balok menerus beton prategang, maka dianggap perlu untuk dibuat batasan masalah agar sajian terfokus pada substansinya dan jelas. Batasan masalah itu meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Elemen struktur yang digunakan adalah balok tampang T monolit .
2. Balok terletak pada portal bertingkat tanpa kantilever dua bentangan dengan panjang bentangan antar tumpuan (L) 25 meter.
3. Semua tumpuan tidak mengalami penurunan.

4. Tegangan karakteristik beton yang digunakan (f'_c) 45 MPa dan tegangan tarik ultimit tendon (f_{pu}) 1860 MPa.
5. Cara penarikan adalah pasca tarik dengan *grouting*.
6. Kehilangan prategang total ditetapkan 20 %.
7. Balok dirancang sebagai prategang penuh.
8. Ferhitungan disain balok prategang hanya meninjau akibat lentur.
9. Blok ujung (*end block*) tidak ditinjau.
10. Balok dirancang hanya untuk menahan beban statis gravitasi dan beban hidup.
11. Balok hanya menerima beban merata.
12. Pembebanan dihitung berdasarkan PPI 1983.
13. Perancangan didasarkan pada SK SNI T-15-1991-03 dan peraturan-peraturan lain yang relevan.
14. Gedung Toserba diambil sebagai contoh perhitungan perancangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Beton Prategang pada dasarnya merupakan beton yang diberi tegangan dalam dengan besar dan distribusi sedemikian, sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan dari bebari-beban eksternal dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Pemberian tegangan – dalam dilakukan dengan cara menarik baja (tendon) dan menahannya ke beton dengan syarat-syarat tertentu. Gaya prategang ini dimaksudkan untuk memberikan tekanan permanen pada beton guna memperbaiki kekuatan tariknya.

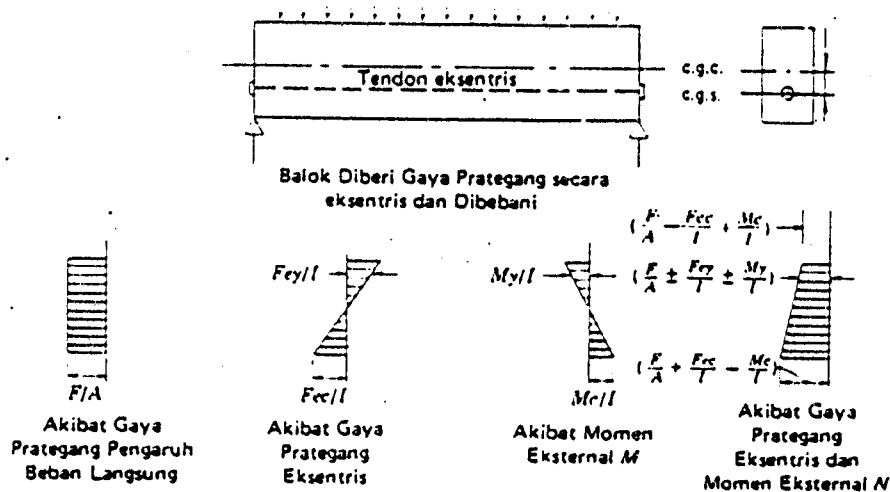
Komisi ACI mendefinisikan beton prategang sebagai berikut; beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Pada elemen-elemen beton bertulang sistem prategang biasanya dilakukan dengan cara menarik tulangnya (T.Y. Lin, jilid I, 1993).

Ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal

ini penting untuk dimengerti agar dalam mendisain beton prategang dapat dicapai hasil yang sebaik-baiknya dan seefisien mungkin.

2.1.1 Sistem Pategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis

Beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang bersifat getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pratekan). Pemberian tekanan ini dilakukan dengan menarik baja mutu tinggi dengan syarat-syarat tertentu. Dari konsep ini lahirlah kriteria bagian bawah beton tidak mengalami tegangan tarik. Konsep ini merupakan hasil pemikiran Eugene Freissinet, dari kriteria ini dapat diambil kesimpulan bahwa tidak akan terjadi retak tarik pada beton. Atas dasar inilah, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan, yaitu tegangan internal (prategang) dan beban eksternal (Lin, jilid I, 1993).



Gambar 2.1 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang eksentris (Lin, jilid I, 1993)

Dari gambar di atas diperoleh persamaan-persamaan;

akibat gaya prategang (F) eksentris, penampang dibebani:

$$\text{beban langsung : } f_1 = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1a)$$

$$\text{Momen : } f_2 = \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \dots\dots\dots (2.1b)$$

akibat momen eksternal (M), tegangan yang terjadi;

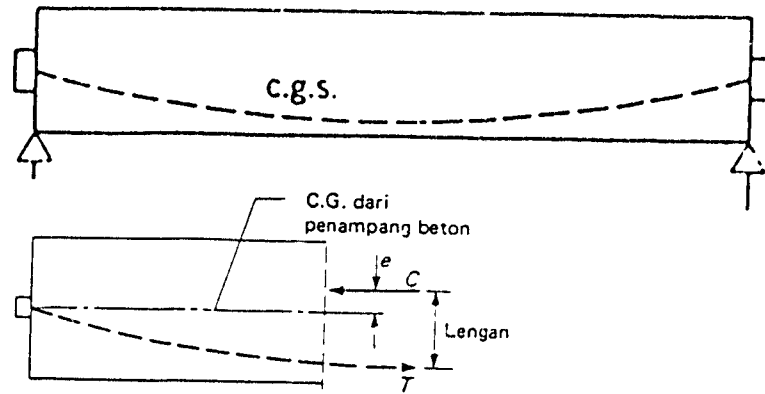
$$f_3 = \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (2.2)$$

Maka distribusi tegangan:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.1.2 Prategang Sebagai Kombinasi Baja Mutu Tinggi Dengan Beton

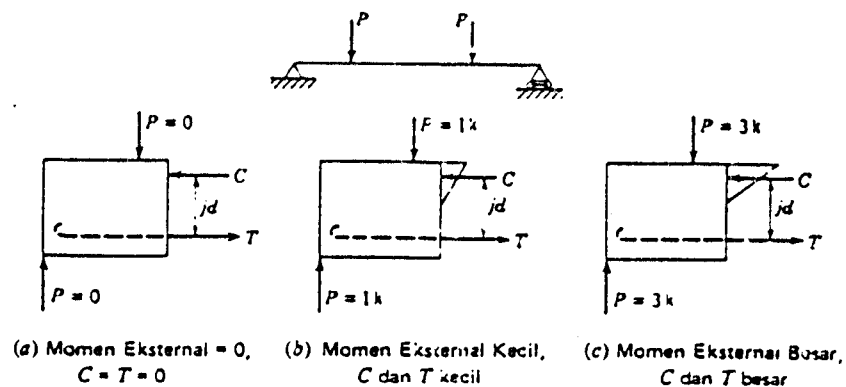
Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan tersebut membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal (Lin, jilid I, 1993). Metode ini adalah analogi dari metode kopel-dalam gaya-gaya T dan C (C=T) dalam beton bertulang. Konsep ini disebut juga konsep gaya-dalam (Wang, jilid II, 1989).



Gambar 2.2. Konsep gaya-dalam pada balok beton prategang (Wang, jilid II, 1989)

Ada perbedaan pokok antara sifat penampang balok beton prategang dengan balok beton bertulang dalam konsep analisisnya. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

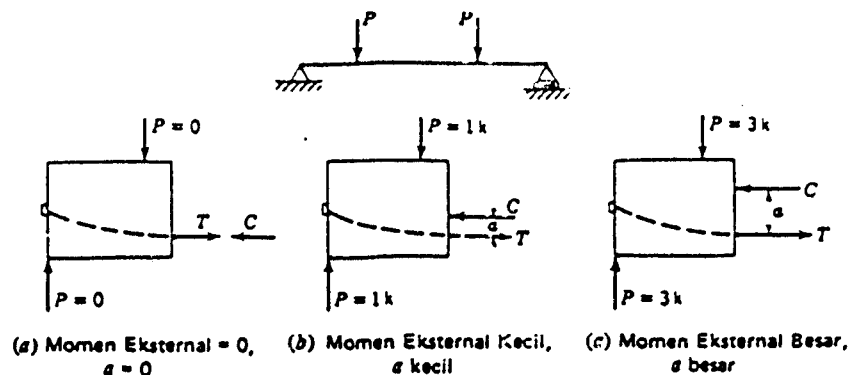
1. Pada penampang balok beton bertulang bila momen lentur bertambah, maka besarnya gaya C dan T dianggap bertambah sebanding, sedangkan lengan momen (j_d) antara dua gaya tersebut praktis tetap.



Gambar 2.3 Lengan momen (j_d) yang konstan pada konsep gaya-dalam balok beton bertulang (Lin, jilid II, 1993)

2. Pada penampang balok beton prategang, bila momen lentur bertambah besarnya C dan T praktis tetap, tetapi lengan momen (a) besarnya ber-

tambah hampir sebanding.

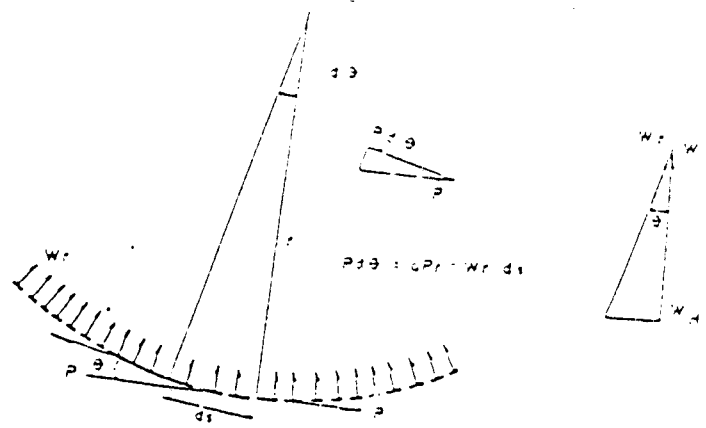


Gambar 2.4 Lengan momen (a) yang bervariasi pada konsep gaya-dalam balok beton prategang (Lin, jilid II, 1993)

Sebelum beban luar bekerja gaya tarik pada tendon (T) dan gaya tekan beton (C) bekerja pada titik yang sama, sehingga kopel gaya-dalam sama dengan nol. Ketika beban luar bekerja pusat blok gaya tekan akan terangkat akibat perubahan distribusi tegangan sejauh kemampuan kopel dalam menahan beban eksternal.

2.1.3 Sistem Prategang Untuk Mencapai Pengimbangan Beban

Sistem ini memandang prategang terutama sebagai suatu proses pengimbangan beban pada struktur. Suatu analisis yang mendasari konsep beban berimbang adalah analisis gaya-imbang. Gaya-imbang adalah gaya yang timbul akibat dari melengkungnya kabel (tendon) yang ditarik oleh suatu gaya P . Berikut ini adalah tinjauan terhadap kabel melengkung yang diberi gaya P dengan radius r , sehingga menimbulkan gaya terbagi rata ke arah pusat (Manu, 1973).



Gambar 2.5 Gaya-gaya yang bekerja pada lengkungan tendon (Manu, 1978)

$$ds = r d\theta$$

$$dP \cdot r = P d\theta$$

$$\frac{dP \cdot r}{ds} = \frac{P d\theta}{ds} = \frac{P}{r} \dots\dots\dots (2.4)$$

W_r dapat diuraikan atas:

$$W_H = W_r \sin \theta$$

$$W_b = W_r \cos \theta$$

Bila θ sangat kecil maka $d\theta$ mendekati ds , $\cos \theta$ mendekati 1, $\sin \theta$ mendekati 0 dan r konstan, didapat:

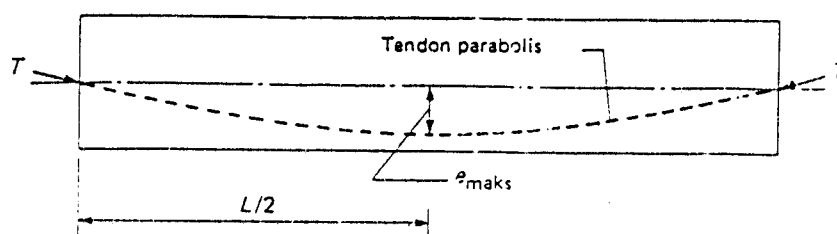
$$W_b = \frac{P}{r} \text{ dan } W_H = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana $W_b = \frac{P}{r}$ disebut gaya-imbang.

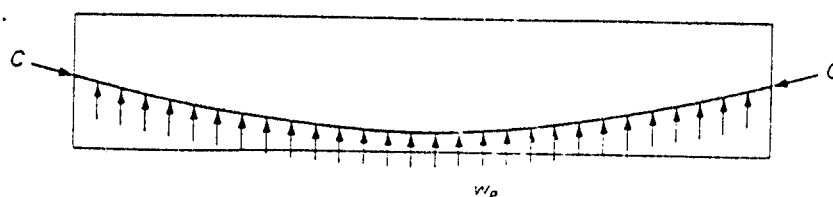
Tendon Prategang diletakkan sedemikian agar eksentrisitas dari gaya prategang bervariasi sehingga tegangan internal pada tiap titik yang ditinjau akan mengimbangi secara proporsional tegangan eksternal akibat beban-beban luar, yang jika dikerjakan persis dapat menghasilkan

tegangan lentur sama dengan nol, dan hanya tegangan aksial P/A (P adalah komponen horisontal dari gaya dalam tendon) yang bekerja. Pengaruh gaya prategang dapat dipandang sebagai beban merata ke atas. Momen prategang maksimum sebesar $T \cdot e_{maks}$ pada tengah bentang dapat disamakan dengan momen akibat balok pada beban merata ekuivalen

$$\frac{1}{8} W_b \cdot L^2 \text{ (Wang, jilid II, 1989).}$$



Gambar 2.6 Balok beton prategang dengan tendon yang direntangkan parabolis (Wang, jilid II, 1989)



Gambar 2.7 Gaya-gaya yang bekerja pada balok beton prategang akibat gaya prategang (Wang, jilid II, 1989)

$$W_b = \frac{8 \cdot T \cdot e_{maks}}{L^2} = \text{Beban merata ekuivalen ke atas (untuk tumpuan sederhana) (2.6)}$$

dengan:

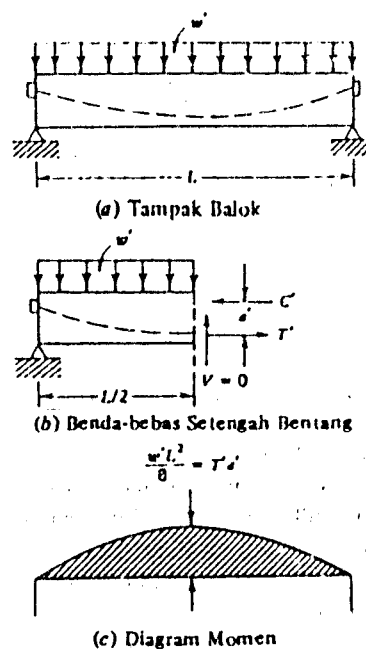
$$W_{net} = W \text{ (beban ke bawah sebenarnya) } - W_b \text{ (2.7)}$$

maka:

$$M_{\text{net}} = \frac{W_{\text{net}} \cdot l^2}{8} \dots \dots \dots (2.8)$$

2.2 Balok Sederhana dan Balok Menerus Beton Prategang

Suatu balok sederhana yang dibebani secara merata W' ditunjukkan dalam gambar 2.8(a). Beban W' total yang dapat dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas momen batas dari penampang tengah bentang. Bila T' adalah tarikan batas yang ditimbulkan oleh tendon yang bekerja dengan lengan a' , maka momen-momen batas pada tengah bentang adalah $T' \cdot a'$. Dengan setengah bentang diambil sebagai benda bebas seperti pada gambar 2.8(b), dan mengambil momen dari tumpuan kiri, diagram momen yang dihasilkan oleh beban W' ditunjukkan oleh gambar 2.8(c).



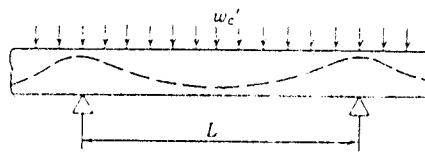
Gambar 2.8 Kapasitas memikul beban dari balok sederhana (Lin, jilid II, 1993)

Persamaan yang diperoleh dari gambar 2.8 adalah;

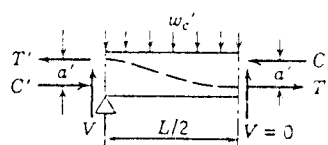
$$\frac{W' \cdot L^2}{8} = T' \cdot a'$$

$$W' = \frac{8 \cdot T' \cdot a'}{L^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

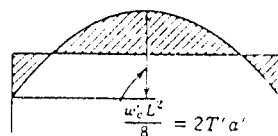
Balok menerus dengan beban seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.9(a), dengan luas penampang, panjang bentangan (L) dan baja prategang yang sama dengan yang ada pada balok sederhana dalam gambar 2.8. Sekali lagi, dengan meninjau setengah bentangan sebagai benda bebas pada gambar 2.9(b), dan dengan mengambil momen pada tumpuan kiri. Bidang momen yang dihasilkan oleh W'_c ditunjukkan oleh gambar 2.9(c).



(a) Tampak Balok



(b) Benda-bebas Setengah Bentang



(c) Diagram Momen

Gambar 2.9 Kapasitas memikul beban dari balok menerus (Lin, jilid II, 1993)

Dari gambar 2.9 diperoleh persamaan sebagai berikut;

$$\frac{W'_c \cdot L^2}{8} = 2 \cdot T' \cdot a'$$

$$W'_c = \frac{16 \cdot T' \cdot a'}{L^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Persamaan (2.10) menunjukkan bahwa ada dua momen lawan, satu ditengah bentang dan satu lagi diatas tumpuan. Kapasitas memikul beban (*load carrying capacity*) dipengaruhi oleh letak titik berat tendon (*c.g.s*) di atas tumpuan tengah.

Persamaan (2.9) yang dihasilkan dari gambar 2.8 dan persamaan (2.10) yang dihasilkan oleh gambar 2.9 memberikan suatu perbandingan yang nyata antara balok sederhana beton prategang dan balok menerus beton prategang. Persamaan tersebut memperlihatkan bahwa dua kali besar beban balok sederhana dapat dipikul oleh bentang menerus dengan jumlah beton dan baja yang sama. Perbandingan sederhana ini menunjukkan penghematan yang mendasar pada struktur menerus beton prategang, yaitu dapat digunakanya luas tampang beton yang lebih kecil dengan beban dan bentangan (L) yang sama, sehingga dapat mengurangi beban mati dari struktur (Lin, jilid II, 1993).

Pemakaian struktur menerus beton prategang menguntungkan dalam banyak hal. Keuntungan-keuntungan tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Momen lentur lebih terbagi sama antara tengah-tengah bentangan dan tumpuan.

2. Reduksi dimensi batang menghasilkan struktur yang lebih ringan
3. Kapasitas dukung beban ultimit lebih tinggi dari pada struktur statis tertentu oleh karena gejala redistribusi momen-momen.
4. Kontinuitas batang-batang pada struktur rangka mengarah pada stabilitas yang meningkat.
5. Gelagar-gelagar menerus dibentuk oleh konstruksi secara bagian-bagian dengan memakai unit-unit pracetak yang disambung dengan kabel-kabel prategang.
6. Didalam gelagar menerus beton prategang sistem pasca tarik, kabel-kabel yang melengkung dapat ditempatkan secara baik untuk menahan momen-momen lapangan dan tumpuan.
7. Pada struktur menerus beton prategang lendutannya lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur prategang dengan tumpuan sederhana (Raju, 1993).

Disamping banyaknya keuntungan-keuntungan dalam pemakaian struktur menerus beton prategang juga terdapat kerugian-kerugiannya, namun kerugian-kerugian tersebut sebenarnya masih relatif dapat diatasi dan bahkan ada yang dapat dimanfaatkan sehingga menjadi suatu keuntungan. Kerugian itu antara lain sebagai berikut.

1. Kehilangan prategang akibat gesekan dalam tendon pada struktur menerus dapat menjadi masalah yang serius jika terdapat banyak belokan kurva dan tendon sangat panjang. Kehilangan ini dapat diperkecil dengan menggunakan kabel yang relatif lurus di dalam balok

dengan penampang yang bervariasi atau balok dengan pertebalan (*haunched beam*). Metode penarikan berlebih (*over-stressing*) dapat digunakan untuk mengurangi kehilangan akibat gesekan.

2. Perpendekan balok menerus yang panjang akibat prategang dapat menimbulkan gaya lateral dan momen yang berlebihan pada kolom-kolom pendukung.
3. Timbulnya tegangan-tegangan sekunder, pengaruh rangkai dan susut, perubahan temperatur dan penurunan tumpuan, apabila tidak dikontrol atau tidak diperhitungkan dengan cermat dapat berbahaya bagi struktur. Satu hal yang menarik, dengan adanya momen sekunder bisa dimanfaatkan sedemikian sehingga dapat menambah penghematan luas tampang struktur.
4. Merencanakan struktur menerus beton prategang lebih sulit dibandingkan struktur sederhana. Tetapi dengan ditemukannya metode-metode yang lebih sederhana, disain balok menerus beton prategang dapat menjadi suatu prosedur yang kurang lebih bersifat rutin, seperti penggunaan konsep beban berimbang (*balanced load concept*) (Lin, jilid II, 1993)

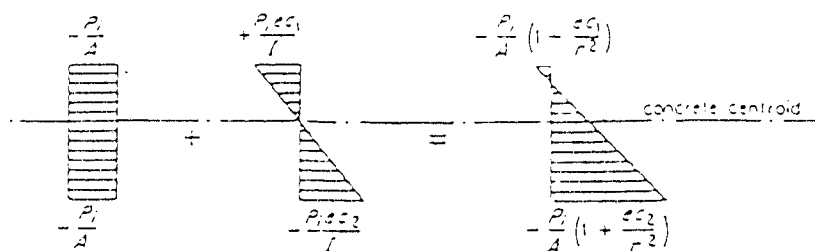
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Lentur Metode Elastis

Analisis elastis terhadap balok sederhana maupun balok menerus pada beton prategang dapat diterapkan dengan cukup teliti dalam batas beban kerja. Karena sedikitnya atau tiadanya tegangan tarik pada balok akibat beban kerja, maka retak tidak akan terjadi dan balok berperilaku sebagai bahan elastis yang homogen. Dengan mengijinkan terjadinya susut dan rangkai, sewajarnya teori elastis dapat diterapkan dalam semua tujuan praktis untuk menghitung lendutan, regangan dan tegangan sampai terjadinya awal tahap retak.

Persamaan-persamaan elastis untuk tegangan lentur, efek dari gaya prategang, momen akibat dari beban mati dan beban hidup dihitung secara terpisah. Tegangan-tegangan itu lalu disuperposisikan. Jika gaya prategang P_i dikerjakan dengan eksentrisitas e dibawah garis netral, penampang dengan luasan A_c dan jarak serat atas serta serat bawah berturut-turut adalah c_1 dan c_2 , maka akan menyebabkan terjadinya tegangan tekan sebesar $-P_i / A_c$ karena adanya eksentrisitas kabel, maka untuk serat atas $+P_i.e.c_1/I_c$ dan untuk serat bawah $-P_i.e.c_2/I_c$.



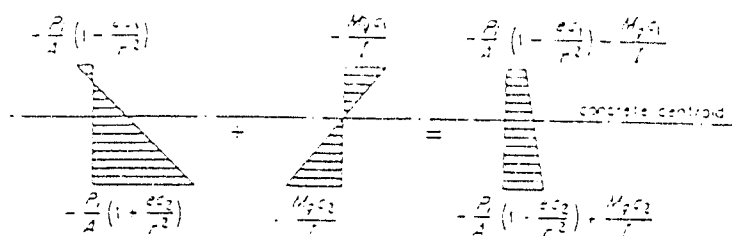
Gambar 3.1 Diagram tegangan akibat gaya prategang (Nilson, 1991)

Dari gambar di atas, tegangan yang terjadi akibat gaya prategang saja adalah;

$$f_a = -\frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e \cdot c_1}{I_c} = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 - \frac{e \cdot c_1}{r^2} \right] \dots \dots \dots (3.1a)$$

$$f_b = -\frac{P_i}{A_c} - \frac{P_i \cdot e \cdot c_2}{I_c} = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 + \frac{e \cdot c_2}{r^2} \right] \dots \dots \dots (3.1b)$$

Setelah gaya prategang bekerja dan akibat adanya eksentrisitas, maka balok akan melendut ke atas (*camber*). Akibat berat sendiri balok W_0 menyebabkan tambahan momen sebesar M_0 pada struktur balok.



Gambar 3.2 Diagram tegangan akibat gaya prategang dan berat sendiri balok (Nilson, 1991)

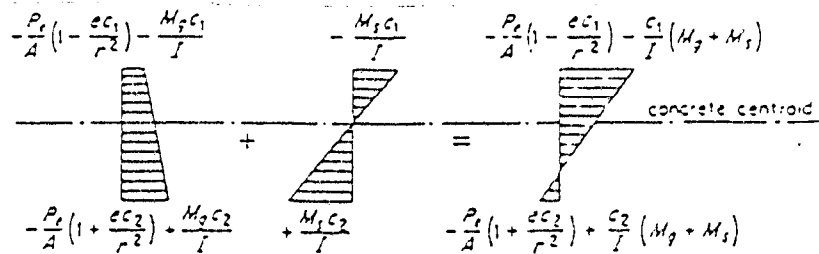
Dari gambar di 3.2 diperoleh persamaan:

$$f_a = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 + \frac{e \cdot c_1}{r^2} \right] - \left[\frac{M_0 \cdot c_1}{I_c} \right] \dots \dots \dots (3.2a)$$

$$f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 - \frac{e \cdot c_2}{r^2} \right] - \left[\frac{M_O \cdot c_2}{I_c} \right] \dots\dots\dots (3.2b)$$

Akibat waktu akan terjadi kehilangan tegangan karena susut, rayapan dan relaksasi, akibatnya gaya prategang P_i secara berangsur-angsur berkurang menjadi P_e kejadian ini disebut sebagai kehilangan gaya prategang (*loss of prestressed*).

Pada saat beban layan (beban mati + beban hidup) bekerja, maka tegangan akan berubah.



Gambar 3.3 Diagram tegangan superposisi gaya prategang pada beban layan (Nilson, 1991)

Dari gambar di atas dihasilkan persamaan;

$$f_a = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 + \frac{e \cdot c_1}{r^2} \right] - \frac{(M_O + M_D + M_L) \cdot c_1}{I_c} \dots\dots\dots (3.3a)$$

$$f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left[1 - \frac{e \cdot c_2}{r^2} \right] - \frac{(M_O + M_D + M_L) \cdot c_2}{I_c} \dots\dots\dots (3.3b)$$

Standar SNI T-15-1991-03 pada pasal 3.11.4 memberikan persyaratan terhadap tegangan ijin beton yang sesuai dengan kondisi gaya prategang dan tegangan ijin beton prategang pada tahap beban kerja untuk komponen struktur lentur, sebagai berikut ini.

1. Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya pratekan (sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut ini.

a. Serat terluar mengalami tegangan tekan $0,6 f'_d$

b. Serat terluar mengalami tegangan tarik kecuali seperti yang diijinkan dalam (3) $\sqrt{f'_d} / 4$

c. Serat terluar pada komponen struktur yang didukung sederhana mengalami tegangan tarik $\sqrt{f'_d} / 2$

Bila tegangan tarik terhitung melampaui nilai tersebut di atas maka harus dipasang tulangan tambahan (non-pratekan atau pratekan) dalam daerah tarik untuk memikul gaya-gaya tarik total dalam beton yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh.

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

a. Serat terluar mengalami tegangan tekan $0,45 f'_c$

b. Tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan $\sqrt{f'_c} / 2$

c. Tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan dari komponen (kecuali pada sistem pelat dua arah), dimana analisis yang didasarkan pada transformasi penampang retak dan hubungan bilinear dari momen-lendut menunjukkan

bahwa lendutan sesaat dan lendutan jangka panjang memenuhi persyaratan ayat 3.2.5 butir 4, dan dimana persyaratan penutup beton memenuhi ayat 3.16.7 butir 3 sub butir (2). $\sqrt{f'_c}$

3. Tegangan ijin beton yang dicantumkan dalam ayat 3.11.4 butir 1 dan 3.11.4 butir 2 boleh dilampaui bila dapat ditunjukkan dengan pengujian atau analisis bahwa kemampuan strukturnya tidak berkurang.

3.2 Tendon Prategang

Prinsip dasar semua konsep analisis prategang tidak dipatenkan tetapi rincian pemakaian sistem prategang yang dipatenkan. Hal ini dimaksudkan untuk menggalakkan pemakaian dan persaingan penawaran pada sistem beton prategang. Tipe tendon, sistem penarikan dan pengangkuran ujung adalah elemen-elemen sistem prategang yang dipatenkan.

Dewasa ini telah banyak sistem prategang yang diproduksi dan dipasarkan oleh perusahaan tertentu. Setiap perusahaan yang memproduksi elemen-elemen sistem prategang biasanya memiliki kekhususan sendiri-sendiri, misalnya dalam penggunaan tendon untuk menghasilkan gaya prategang.

Sistem pasca tarik *DYWIDAG*, menggunakan batang ulir *DYWIDAG* yang tersedia dalam diameter nominal 5/8 in, 1 in, 1 1/4 in, 1 3/8 in. Sistem ini memungkinkan angkur dan perangkat (*coupler*) menyusup ke dalam batang ulir pada setiap titik. Lain halnya dengan

sistem pasca tarik BBRV (yang dikembangkan oleh empat orang insinyur berkebangsaan Swis Birkenmeier, Brandestini, Ros dan Vogt) yang menggunakan beberapa kawat bahkan banyak kawat berkekuatan tinggi diameter 1/4 in yang ditempatkan sejajar dimana setiap ujung dari tiap kawat berakhir didalam sebuah "kepala" berbentuk setengah bola yang dibuat dengan cara cetak dingin (*cold-formed-buttonhead*), setelah kawat tersebut dimasukkan secara terpisah melalui sebuah alat pengangkur bermesin. Sistem ini memungkinkan penarikan semua kawat secara bersamaan didalam suatu tendon dan "kepala" -nya memungkinkan dicapainya gaya tendon batas (*ultimate tendon force*). Berbeda dengan tendon Freissinet atau yang dikenal dengan *The Freissinet Monogroup K System*, yang menggunakan untuaian kawat (*strand*). Setiap sistem tersebut disampaing memiliki rincian baja prategang yang berbeda, juga memiliki rincian dalam hal pengangkur, perangkat dan selongsong baja prategang pada masing-masing sistem.

Dalam perencanaan tugas akhir ini digunakan tendon VSL (*Vorspann System Lonsinger*) yang dikenal dengan *VSL Multistrand* (sistem kawat untuaian VSL) beberapa kekhususan dari sistem ini adalah sebagai berikut.

1. Sederhana dan praktis dalam perencanaan maupun pelaksanaan.
2. Tersedia dalam berbagai ukuran angkur hidup maupun angkur mati, sesuai dengan gaya yang diperlukan.

3. Pemasangan kepala angkur dan tendon dapat dilakukan bertahap sesuai dengan pembebanan pada struktur.
4. Cara kerja penarikan yang cepat dan aman dengan peralatan yang mudah dikendalikan.

Standar SNI T-15-1991-03 pasal 3 11.5 memberikan batas-batas untuk tarik baja prategang (f_{ps}) yang diijinkan dalam beton prategang sebagai berikut ini.

1. Akibat gaya penjangkaran tendon $0,94 f_{ps}$
tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon pratekan atau jangkar.
2. Sesaat setelah pemindahan gaya pratekan $0,82 f_{ps}$
tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.
3. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon $0,70 f_{pu}$

3.3 Analisis Tampang Berdasarkan Keadaan Batas

Analisis adalah penentuan secara matematis tegangan dan regangan yang terjadi pada beton dan baja bila diketahui mutu bahannya, beban yang bekerja dan dimensi tampang. Tujuan dari analisis adalah menentukan harga nominal momen perlawanan dari suatu tampang yang ditinjau.

Tegangan-regangan baja dan beton dalam keadaan batas sebenarnya sudah tidak lineir lagi sehingga analisis terhadap distribusi

tegangan-regangan yang eksak dan teliti pada keadaan batas ini sudah tidak efisien lagi. Untuk penyederhanaan dan mempercepat perhitungan harga nominal momen perlawanan dibuat asumsi sebagai berikut ini:

1. Distribusi tegangan regangan tetap linier sampai beban batas.
2. Antara besi tulangan dan beton terjadi lekatan yang sempurna, yaitu perubahan regangan akibat pembebanan akan sama harganya dengan perubahan regangan beton pada serat tulangan yang diakibatkan oleh beban yang sama.

Disamping asumsi di atas Standar SNI T-15-1991-03 memberikan persyaratan seperti di bawah ini.

1. Regangan maksimum ϵ_{cu} yang dapat digunakan pada serat beton tekan terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
2. Tegangan sebesar $0,85 f'_c$ harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 \cdot c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
3. Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton f'_c hingga atau sama dengan 30 MPa. Untuk kekuatan diatas 30 MPa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,003 untuk setiap kelebihan 1 MPa diatas 30 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Dalam menentukan suatu komponen struktur maka kuat minimal harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat

beban. Standar SNI T-15-1991-03 memberikan persyaratan faktor reduksi kekuatan sebagai berikut ini.

1. Lentur tanpa beban aksial 0,80
2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur (untuk beban aksial dengan lentur kedua nilai kekuatan nominal dari beban aksial dan momen harus dikalikan dengan satu nilai ϕ yang sesuai);
 - a). aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur 0,80
 - b). aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
 - komponen struktur dengan tulangan spirai maupun sengkang ikat 0,70
 - komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa 0,65
- (3) Geser dan torsi 0,60
- (4) Tumpuan pada beton 0,70

3.4 Analisis Keadaan Batas Tendon Terekat

Analisis tampang akibat lentur dengan teori kuat batas (*ultimate strength*) adalah untuk mengetahui kemampuan batas tampang dalam menahan beban yang bekerja, sehingga dapat ditentukan besarnya kapasitas batas tampang. Apabila kapasitas momen batas tampang lebih kecil dari beban yang dipikul maka struktur tidak aman.

Ragam kehancuran beton prategang dapat dimulai oleh baja maupun betonnya, tergantung keadaan tulangnya. Ragam kehancuran yang sering terjadi pada struktur lentur adalah ragam kehancuran pada

penampang bertulangan lemah (*under reinforced*), yang mana kehancuran dimulai dengan perpanjangan baja yang berlebihan dan diakhiri dengan hancurnya beton. Ragam kehancuran yang lain ialah beton hancur sebelum baja tertarik sampai batas plastis. Keadaan ini terjadi pada penampang bertulangan kuat (*over reinforced*).

Batasan yang jelas terhadap prosentase penulangan antara balok bertulangan kuat dan bertulangan lemah, yaitu saat baja luluh dan beton mulai hancur sangat sulit ditetapkan karena baja prategang tidak menunjukkan batas luluh yang tepat. Indeks penulangan (ω_p) yang mendekati nilai batas dan menjamin kehancuran plastis diberikan oleh ACI sebagai berikut;

$$\omega_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f'_c} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d}$$

Pada saat baja prategang (A_{ps}), baja tulangan non prategang (A_s), dan baja tekan tulangan non prategang (A_s') digunakan bersama-sama, maka perbandingan tulangan batas dihitung dengan rumus sebagai berikut ini.

$$(\omega + \omega - \omega') \leq 0,30 \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan;

$$\omega = \frac{\rho \cdot f_y}{f'_c} \quad ; \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\omega = \frac{\rho' \cdot f_y}{f'_c} ; \quad \rho = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

Jika tendon terikat (bonded) dengan *grouting* maka tegangan baja pada kapasitas momen batas balok digunakan;

$$f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f'_c} \right] \dots \dots \dots (3.6)$$

dengan;

$$\gamma_p = 0,28 \quad \text{jika } f_{py} \geq 0,90 f_{pu}$$

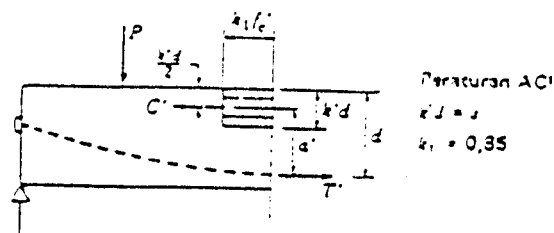
$$\gamma_p = 0,4 \quad \text{jika } f_{py} > 0,85 f_{pu}$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{jika } f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \quad \text{jika } 30 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 55 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,65 \quad \text{jika } f'_c \geq 55 \text{ Mpa}$$

Metode kuat batas ini didasarkan pada prinsip sederhana kopel-kopel penahan pada beton prategang seperti pada balok beton bertulang. Kopel-kopel penahan tersebut adalah gaya tarik T' yang diberikan baja prategang dan gaya tekan C' yang diberikan beton, yang bekerja dengan lengan momen.



Gambar 3.4 Momen batas (Lin, jilid I, 1993)

Dari gambar 3.4 terlihat gaya tekan batas beton C' sama dengan gaya tarik batas pada baja T' , jadi;

$$\begin{aligned} C' &= k_1 \cdot f'_c \cdot k' \cdot d \cdot b \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (3.7) \end{aligned}$$

$$T' = A_s \cdot f_{ps} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$C' = T'$$

Bila lengan momen adalah a' , maka momen penahan batas adalah;

$$M_n = M' = T' \cdot a' = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot a' \dots\dots\dots (3.9)$$

(kekuatan nominal berdasarkan peraturan ACI)

Dari persamaan (3 – 7), maka;

$$a' = \frac{c_1}{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan menganggap blok tegangan tekan berbentuk empat persegi panjang, maka;

$$a' = d - \frac{a}{2} \dots\dots\dots (3.11)$$

Sehingga momen penahan batas adalah;

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \left[d - \frac{a}{2} \right] \dots\dots\dots (3.12)$$

Persamaan di atas identik dengan yang diberikan oleh *Commentary of The American Concrete Institute* dan sebagai usulan yang pertama dari ACI –

ASCE Recommendation. Dengan mensubstitusikan persamaan (3.10) ke dalam persamaan (3.12) diperoleh:

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \left[d - \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{2.0,85 \cdot f'_c \cdot b} \right] \dots\dots\dots (3.13)$$

(notasi ACI)

Untuk penampang persegi panjang pada daerah tekan

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} \dots\dots\dots (3.14)$$

didistribusikan ke persamaan (3.13), menjadi;

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d \left[1 - \frac{0,59 \cdot \rho_p \cdot f_s}{f'_c} \right] \dots\dots\dots (3.15)$$

atau;

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d [1 - 0,59 \cdot \omega_p] \dots\dots\dots (3.15)$$

Peraturan ACI menentukan faktor reduksi kekuatan ϕ (untuk lentur ($\phi = 0,9$), sehingga momen batas disain adalah;

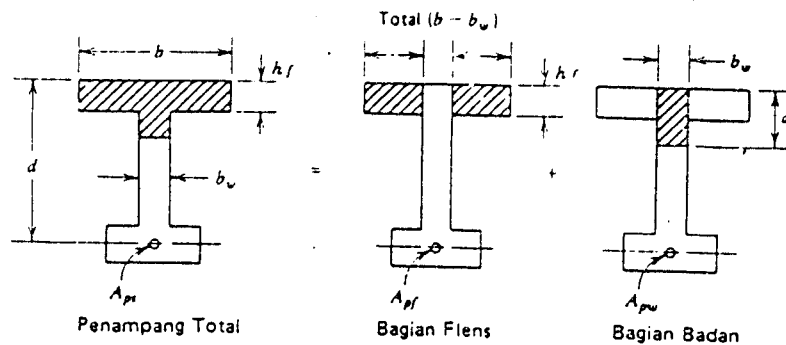
$$M_u = \phi [A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d (1 - 0,59 \cdot \omega_p)] \text{ atau;}$$

$$M_u = \phi [A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d - \frac{a}{2})] \dots\dots\dots (3.17)$$

(persamaan momen batas disain menurut peraturan ACI)

Persamaan (3 – 16) digunakan untuk balok persegi panjang atau balok-balok yang mempunyai daerah tekan dengan tampang berbentuk persegi panjang.

Analisa kuat batas pada penampang balok T dianalisis seperti berikut ini.



Gambar 3.5 Analisis balok tampang T (Lin, jilid I, 1993)

Momen batas secara sederhana dihitung dari dua bagian; bagian sayap mempunyai resultan gaya tekan yang bekerja pada tengah-tengah tinggi sayap $\frac{h_f}{2}$ dan kopel momen adalah $(d - \frac{h_f}{2})$, sedang bagian badan mempunyai resultan gaya tekan yang bekerja pada jarak $\frac{a}{2}$ dari atas balok dan lengan kopel adalah $(d - \frac{a}{2})$. Momen batas disain untuk penampang T menjadi ;

$$M_u = \phi [A_{pw} \cdot f_{ps} (d - \frac{a}{2}) + 0,85 f'_c (b - b_w) h_f (d - \frac{h_f}{2})] \dots\dots (3.18)$$

dengan;

$$A_{pw} = A_{ps} - A_{pf}$$

$$A_{pf} = 0,85 f'_c (b - b_w) \frac{h_f}{f_{ps}} \dots\dots\dots (3.19)$$

3.5 Disain Balok Menerus Beton Prategang

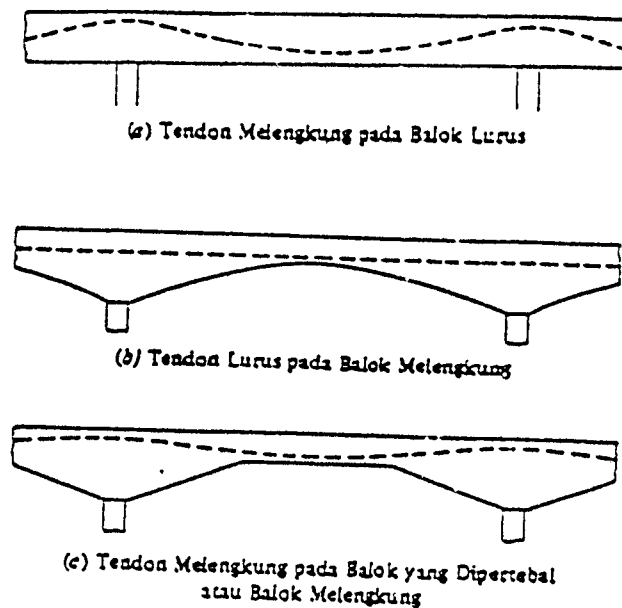
Menurut Bennet, disain pada hakikatnya lebih merupakan suatu aktivitas analisis kreatif dari pada suatu aktivitas rutin dimana perilaku struktural hanya merupakan salah satu dari sejumlah tinjauan fungsional, konstruksional, estetis dan ekonomis. Suatu disain yang baik tidak hanya harus memenuhi persyaratan keamanan terhadap keruntuhan total dari struktur yang disebabkan oleh berbagai penyebab, tetapi juga menjamin kemampulayanan struktur untuk tidak terganggu pada waktu menahan beban kerja.

Disain penampang balok menerus cara beban berimbang mengikuti persyaratan-persyaratan yang berlaku dan yang umum digunakan seperti metode yang lain misalnya; persyaratan penentuan tegangan ijin beton, perencanaan dimensi penampang, perhitungan momen akibat beban eksternal modulus penampang, perhitungan tegangan dan perhitungan kapasitas momen.

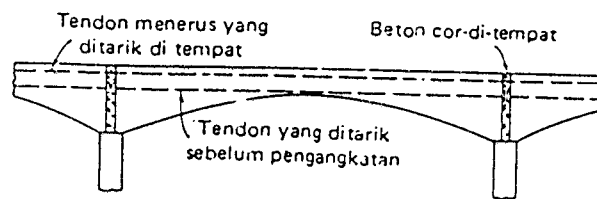
Theorema dasar dari disain balok menerus beton prategang cara beban berimbang adalah sebagai berikut; setiap diagram momen yang sebenarnya untuk suatu balok menerus yang tumpuan-tumpuannya tidak mengalami penurunan, yang ditimbulkan oleh kombinasi beban eksternal, baik berupa transversal (lintang) maupun momen, dan digambarkan dengan skala sembarang merupakan salah satu lokasi untuk suatu kabel konkordan dalam balok tersebut.

Pemberian gaya prategang pada balok menerus menimbulkan reaksi-reaksi kelebihan (*redundant*) yang disebabkan oleh pengekangan tendon pada tumpuan. Reaksi kelebihan ini mengakibatkan timbulnya momen sekunder yang pada kondisi tertentu dapat menguntungkan didalam struktur.

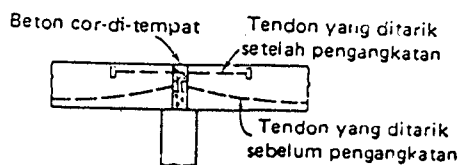
Berdasarkan metode konstruksi balok-balok menerus dapat diklasifikasikan sebagai balok menerus penuh (*fully continuous beam*) dimana peletakan tendon umumnya menerus dari ujung yang satu ke ujung yang lainnya. Dan balok menerus sebagian (*partial continuous beam*) dimana masing-masing bentangan pertama-tama dipracetak sebagai balok sederhana lalu elemen-elemen tersebut dirakit membentuk suatu batang menerus dengan memakai kabel tutup (tendon pendek) di atas tumpuan.



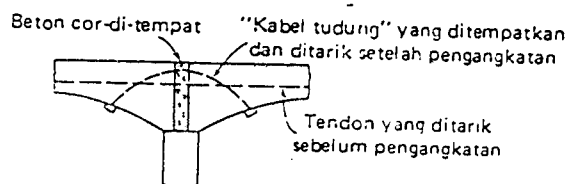
Gambar 3.6 Tata letak tendon untuk balok menerus penuh (Lin, jilid II, 1993).



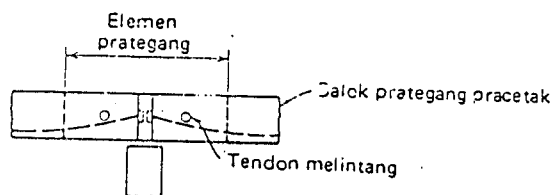
(a) Tendon Menerus yang Ditarik setelah Pengangkatan



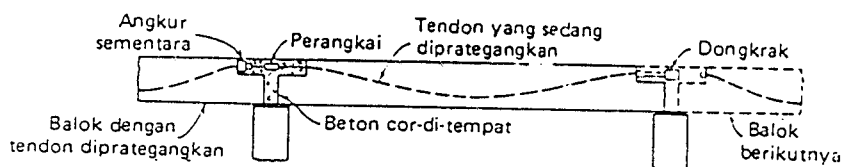
(b) Tendon Pendek yang Ditarik di atas Tumpuan



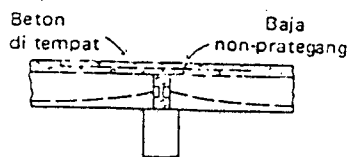
(c) "Kabel Tudung" di atas Tumpuan



(d) Elemen-elemen Menerus di atas Tumpuan yang Diprategangkan secara Melintang



(e) Perangkai (coupler) di atas Tumpuan



(f) Baja Non-prategang di atas Tumpuan

Gambar 3.7 Tata letak tendon untuk balok menerus sebagian (Lin, jilid II, 1993)

3.5.1 Transformasi linier dan Konkordansi Kabel

Transformasi linier adalah jika letak garis titik berat tendon (*c.g.s*) atau garis netral tampang beton (*garis-C*) diatas tumpuan-dalam dari suatu balok menerus digeser tanpa merubah bentuk intrinsik (yaitu kelengkungan dan bengkokan kabel prategang) dari garis tersebut dalam setiap batang.

Pemberian gaya prategang pada struktur statis tak tentu umumnya menghasilkan momen-momen sekunder yang diakibatkan oleh reaksi-reaksi *redundant* yang timbul pada tumpuan tengah. Namun profil kabel dapat disusun sedemikian sehingga strukturnya tidak berubah bentuk pada tumpuan atau titik-titik kekangan yang lain. Pada kondisi demikian, reaksi-reaksi *redundant* dan momen-momen sekunder tidak ditimbulkan oleh pemberian gaya prategang pada kabel. Profil-profil tendon yang tidak menimbulkan momen-momen sekunder disebut sebagai kabel konkordan, sedangkan profil-profil tendon yang menimbulkan momen-momen sekunder disebut dengan kabel non-konkordan.

3.5.2 Tata Letak Tendon Sebenarnya pada Balok Prategang Cara Beban Berimbang

Tata letak tendon dalam balok menerus beton prategang cara beban berimbang adalah persis seperti diagram momen yang ditimbulkan oleh beban-beban eksternal. Tata letak yang demikian adalah yang paling ideal, namun sulit dilaksanakan karena adanya bengkokan yang tajam pada tumpuan-dalam kesulitan ini diatasi dengan membuat tata letak

tendon sedemikian sehingga terdiri dari beberapa segmen kurva mulus terbalik yang mendekati sederetan parabola yang terpotong-potong. Pada tumpuan-dalam tata letak tendon yang sebenarnya mempunyai dua segmen yang disambungkan pada titik penentu dan setiap segmen mempunyai garis singgung horizontal. Berdasarkan pengalaman prof. T.Y. Lin ditetapkan jarak titik balik antar kurva parabolik adalah antara $1/8$ sampai $1/12$ panjang bentangan (L).

BAB IV

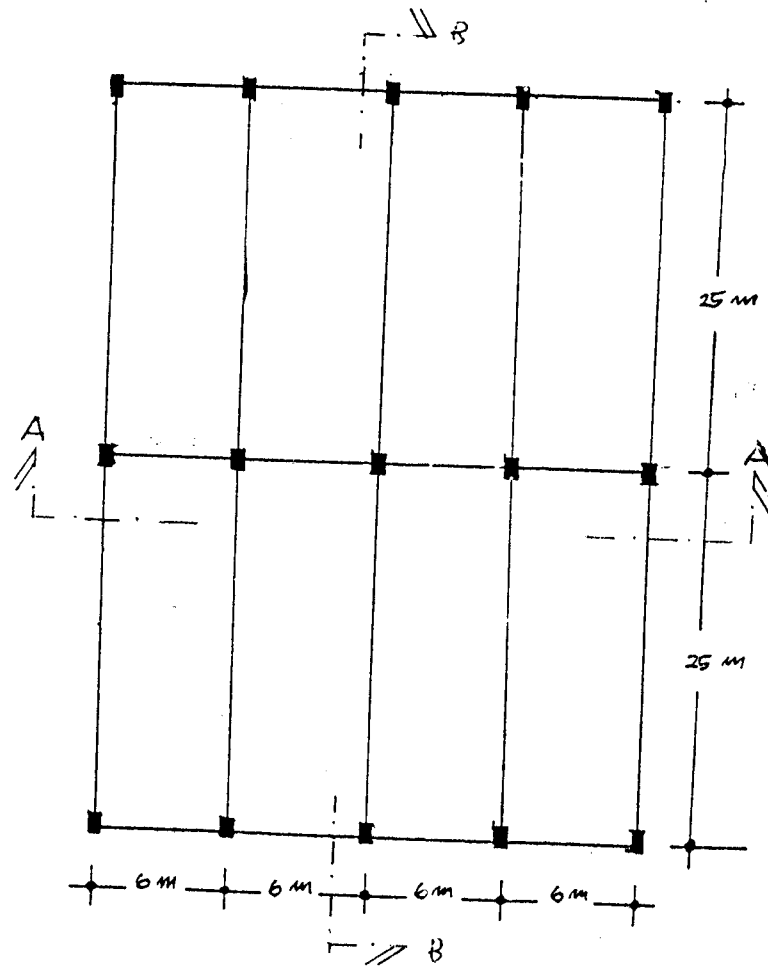
DISAIN BALOK MENERUS

4.1 Data Dan Asumsi Disain

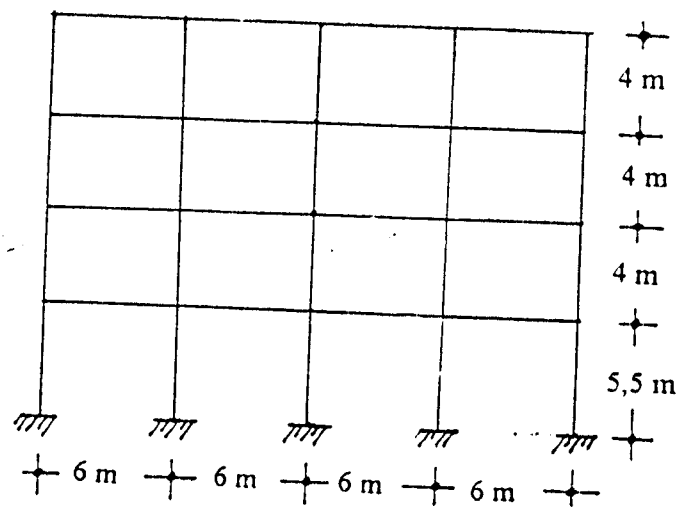
Balok adalah salah satu elemen struktur bangunan. Disain atau perancangan balok pada dasarnya adalah suatu pemilihan tampang yang ideal. Sebelum perhitungan perancangan balok dilakukan dibutuhkan data dan asumsi yang didasarkan pada bentuk, ukuran, fungsi, lokasi dan penggunaan material dari bangunan yang direncanakan. Seperti telah disebutkan dimuka, gedung Toserba diambil sebagai contoh perancangan balok menerus beton prategang. Pemilihan ini dengan alasan sebagai berikut:

1. balok beton prategang dengan sistem pasca tarik sebagai elemen struktur gedung relatif lebih mudah dibuat,
2. gedung Toserba lebih sering direncanakan dengan ukuran yang luas, bertingkat dengan partisi yang ringan atau tanpa partisi dalam disain interiornya.

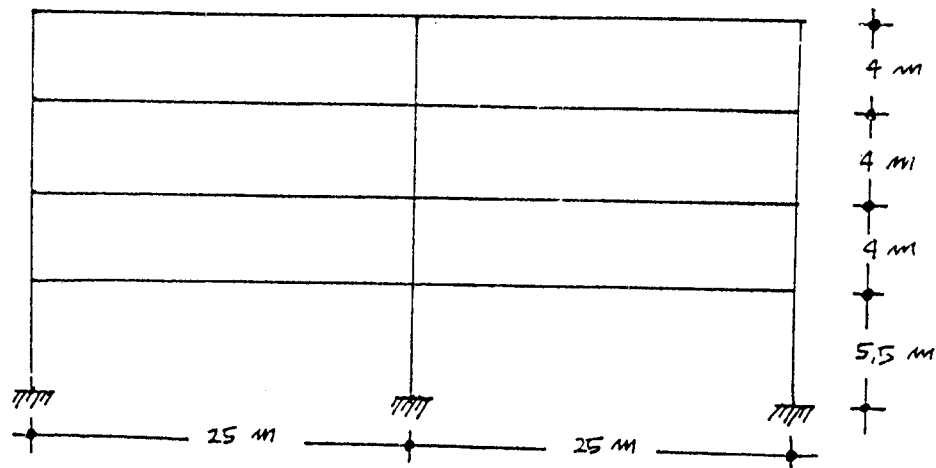
Gedung Toserba ini direncanakan terdiri dari 4 lantai dan 1 plat atap. Denah dan potongan bangunan tergambar sebagai berikut.



Gambar 4.1 Denah bangunan



Gambar 4.2 Potongan A-A



Gambar 4.3 Potongan B - B

Dari denah dan potongan bangunan (gambar 4.1 dan 4.3) untuk bentangan 25 meter balok direncanakan menggunakan beton prategang. Plat lantai dan plat atap diasumsikan setebal 120 mm dan sebagai asumsi awal dimensi balok dan kolom adalah 500/1100 mm.

Perancangan balok beton prategang ini mengacu pada peraturan-peraturan yang berlaku. Pembebanan didasarkan pada PPI 1983 dan perhitungan perancangan balok mengacu pada Standar SNI T-15-1991-03 serta peraturan-peraturan lain yang relevan. Analisis dan perhitungan pembebanan dapat dilihat pada lampiran. Perhitungan momen akibat pembebanan dihitung dengan *microfeap*.

Bangunan tersebut memiliki data yang lain yakni mutu bahari. Mutu bahan dalam perancangan balok beton prategang ini diasumsikan sebagai berikut;

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa.}$$

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= 0,85 f_{pu} \\
 &= 0,85 \cdot (1860) \\
 &= 1581 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa}$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{45} \\
 &= 31528,558 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{2 \cdot 10^5}{31528,558} \\
 &= 6,343
 \end{aligned}$$

$$n \text{ diambil} = 6$$

LOP (*Loss Of Prestressed*) ditetapkan 20%

$$\begin{aligned}
 R &= 1 - LOP \\
 &= 1 - 0,2 \\
 &= 0,8
 \end{aligned}$$

disamping asumsi-asumsi diatas, disain balok prategang hanya dilakukan pada balok interior lantai II, mengingat balok interior lebih besar menahan

beban daripada balok eksterior dan denah bangunan dari lantai 1 sampai dengan lantai 4 adalah sama.

4.2 Disain

1. Tegangan ijin beton prategang

a. Tegangan ijin beton pada saat awal (transfer)

– serat atas (tarik) pada tengah bentang:

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,25 \sqrt{f'_c} \\ &= 0,25 \sqrt{45} \\ &= 1,667 \text{ MPa} \end{aligned}$$

– serat atas (tarik) pada tumpuan:

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,5 \sqrt{f'_c} \\ &= 0,5 \sqrt{45} \\ &= 3,354 \text{ MPa} \end{aligned}$$

– serat atas (desak):

$$\begin{aligned} f_{ci} &= -0,6 f'_c \\ &= -0,6 \cdot 45 \\ &= -27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Tegangan beton pada saat akhir (layan)

– serat atas (desak):

$$\begin{aligned} f_{cs} &= -0,45 f'_c \\ &= -0,45 \cdot 45 \end{aligned}$$

$$= -20,250 \text{ Mpa}$$

→ serat bawah (tarik):

$$f_{ls} = 0,5 \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,5 \sqrt{45}$$

$$= 3,354 \text{ Mpa}$$

3. Beban-beban yang bekerja pada balok

$$W_O \text{ (berat sendiri balok)} = 18,720 \text{ kN/m.}$$

$$W_D \text{ (beban mati)} = 26,938 \text{ kN/m.}$$

$$W_L \text{ (beban hidup)} = 14,430 \text{ kN/m.}$$

4. Momen yang terjadi (dari *microfeap*)

$$M_O \text{ (pada tump. } eksterior) = 901,89 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tengah bentang)} = 507,19 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tump. } interior) = 1008,7 \text{ kN-m.}$$

$$M_D \text{ (pada tump. } eksterior) = 1561,7 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tengah bentang)} = 878,21 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tump. } interior) = 1746,9 \text{ kN-m}$$

$$M_L \text{ (pada tump. } eksterior) = 708,74 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tengah bentang)} = 398,48 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(pada tump. } interior) = 793,21 \text{ kN-m.}$$

5. Hitungan modulus penampang rencana

hitungan modulus penampang rencana digunakan momen maksimum akibat beban mati.

$$S^t = \frac{(1 - R)M_O + M_D + M_L}{R \cdot f_{ti} - f_{cs}}$$

$$= \frac{\{(1 - 0,8) 1008,7 + 1746,9 + 793,21\} \cdot 10^6}{0,8 \cdot 3,354 - (20,250)}$$

$$= 119558107,9 \text{ mm}^3.$$

$$S_b = \frac{(1 - R)M_O + M_D + M_L}{f_{ts} - R \cdot f_{ci}}$$

$$= \frac{\{(1 - 0,8) 1008,7 + 1746,9 + 793,21\} \cdot 10^6}{3,354 - (0,8 \cdot -27)}$$

$$= 109876172,2 \text{ mm}^3.$$

S diambil yang terbesar = 119558107,9 mm³.

6. Perencanaan dimensi penampang

Diambil $\frac{b_w}{b} = 0,3$ dan $h_f = 0,2 h$

$$h_f = 0,2 h$$

$$120 = 0,2 h$$

$$h = 600 \text{ mm.}$$

h diambil = 1100 mm.



dari grafik E.G. Nawy, *prestressed concrete*, hal.116, 1995
diperoleh;

$$\frac{S}{b \cdot h^2} = 0,123$$

$$b = \frac{119558107,9}{0,1232 \cdot (1100)^2}$$

$$b = 803,320 \text{ mm.}$$

sebagai dimensi praktis diambil $b = 803 \text{ mm}$

maka;

$$\begin{aligned} b_w &= 0,3 b \\ &= 0,3 \cdot 803 \\ &= 240,900 \text{ mm.} \end{aligned}$$

b_w diambil = 3500 mm.

Data tampang balok;

$$b_f = 803 \text{ mm.}$$

$$h_f = 120 \text{ mm.}$$

$$b_w = 350 \text{ mm.}$$

$$h = 1100 \text{ mm.}$$

$$A_f = 96360 \text{ mm}^2.$$

$$A_w = 352000 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 439360 \text{ mm}^2.$$

$$C^t = \frac{A_f (0,5 \cdot h_f) + A_w (0,5 \cdot h_w + h_f)}{A_c}$$

$$C^t = \frac{96360 (0,5 \cdot 120) + 343000 (0,5 \cdot 980 + 120)}{439360}$$

$$= 489,375 \text{ mm.}$$

$$C_b = h - C^t$$

$$= 1100 - 489,375$$

$$= 610,625 \text{ mm.}$$

$$= \frac{1}{12} b_f \cdot h_f^3 + A_f (C^t - 0,5 \cdot h_f)^2 + \frac{1}{12} b_w \cdot h_w^3 + A_w (C_b - 0,5 \cdot h_w)^2.$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 803 \cdot (120)^3 + 96360 \cdot (489,375 - 0,5 \cdot 120)^2 + \frac{1}{12} \cdot$$

$$350 \cdot (980)^3 + 352000 (610,625 - 0,5 \cdot 980)^2$$

$$= 5,045 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4.$$

7. Beban-beban yang bekerja pada tampang disain.

$$W_D = 29,107 \text{ kN/m.}$$

$$W_L = 26,457 \text{ kN/m.}$$

8. Momen akibat pembebanan (dari *microfeap*)

$$M_D \text{ (tump. eksterior)} = - 1,408 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

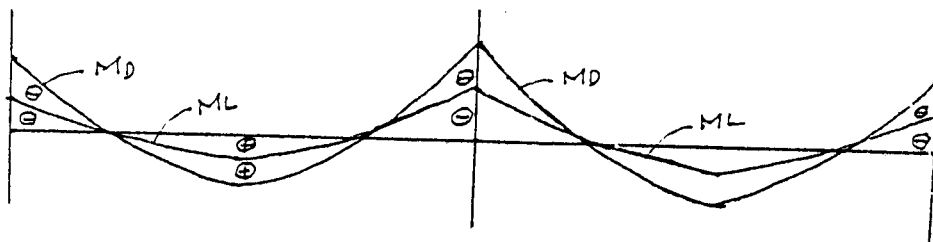
$$\text{(tengah bentang)} = + 7,782 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tump. interior)} = - 1,549 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

$$M_{\text{speci, tegel dan plafon (tump. eksterior)}} = - 1,806 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{(tengah bentang)} = + 9,984 \cdot 10^1 \text{ kN-m.} \\
 & \text{(tump. interior)} = - 1,989 \cdot 10^2 \text{ kN-m.} \\
 M_L & \text{(tump. eksterior)} = - 7,169 \cdot 10^2 \text{ kN-m.} \\
 & \text{(tengah bentang)} = + 3,962 \cdot 10^2 \text{ kN-m.} \\
 & \text{(tump. interior)} = - 7,892 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}
 \end{aligned}$$

9. Menghitung besar gaya prategang.



Gambar 4.4 Momen akibat pembebanan

Dari momen yang terjadi akibat pembebanan, gaya prategang dicoba hanya untuk mengimbangi beban mati. Penutup beton pada tumpuan tengah diambil 130 mm.

$$\begin{aligned}
 P_e \cdot e &= M_{\max} \\
 &= \frac{1549,3 \cdot 10^3}{359,375} \\
 &= 4311,096 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= \frac{P_c}{0,8} \\
 &= \frac{4311,096}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$= 5388,870 \text{ kN-m.}$$

Dari tabel VSL dipilih profil 27 S_c.

$$P_i = 4970 \text{ kN.}$$

$$P_e = 3976 \text{ kN.}$$

$$\text{Diameter selongsong} = 96 \text{ mm.}$$

$$\text{Luas selongsong} = 7238,229 \text{ mm}^2$$

10. Menghitung luas baja prategang.

$$f_{ps} = 0,74 f_{py}$$

$$= 0,74 \cdot 1581$$

$$= 1169,94 \text{ MPa.}$$

$$= 0,82 f_{py}$$

$$= 0,82 \cdot 1581$$

$$= 1296,42 \text{ MPa.}$$

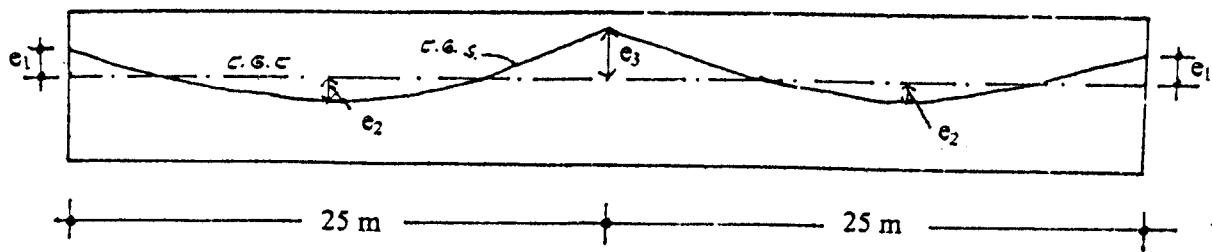
$$f_{ps} \text{ diambil yang terkecil} = 1169,94 \text{ MPa}$$

$$A_{ps} = \frac{P_i}{f_{ps}}$$

$$= \frac{4970 \cdot 10^3}{1169,94}$$

$$= 4248,081 \text{ mm}^2.$$

11. Rencana letak tendon



Gambar 4.5 Tata letak tendon ideal

Eksentrisitas tendon pada tumpuan *interior* terhadap *c.g.c* (e_3) =
359,375 mm.

Eksentrisitas tendon pada tumpuan *eksterior* terhadap *c.g.c*

$$\begin{aligned}
 e_1 &= \frac{M_{\text{tumpuan jung}}}{\left(M_{\text{tumpuan tengah}} / e_3 \right)} \\
 &= \frac{1408,4}{\left(1549,3 / 0,359 \right)} \\
 &= 326,351 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas tendon pada tengah bentang;

$$\begin{aligned}
 e_{\text{maks}} &= \frac{W_D \cdot L^2}{P_c \cdot 8} \\
 &= \frac{28,891 \cdot 25^2}{3976 \cdot 8} \\
 &= 0,568 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

$$e_2 = e_{\text{maks}} \cdot \left[\frac{(e_3 - e_1)}{2} + e_1 \right]$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C^t - e_1 \\
 &= 489,375 - 326,351 \\
 &= 163,024 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

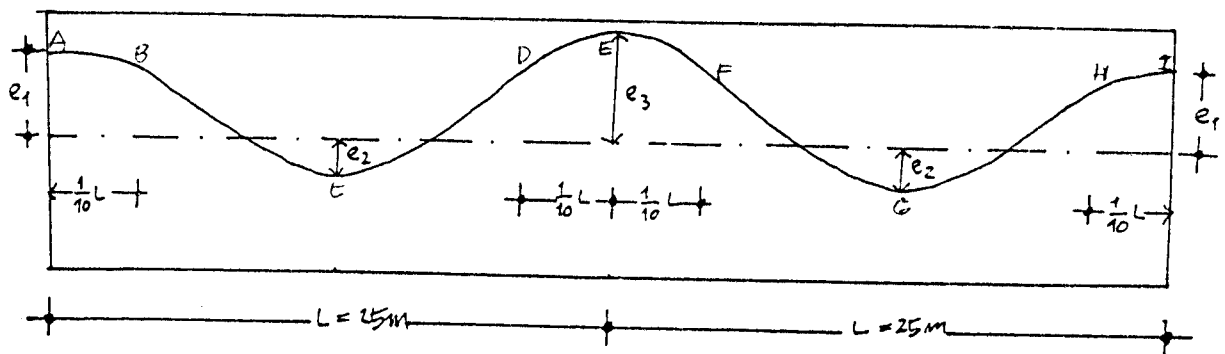
Penutup beton pada tengah bentang ;

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_b - e_2 \\
 &= 610,625 - 224,820 \\
 &= 385,804 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penutup beton pada tumpuan interior ;

$$\begin{aligned}
 P_b &= C^t - e_3 \\
 &= 489,375 - 359,375 \\
 &= 130 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

12. Hitungan untuk mencari persamaan-persamaan dan panjang segmen kurva parabolik pada tendon



Gambar 4.6 Tata letak tendon dengan kurva parabolik

a. Rumus umum persamaan kurva:

$$y = ax^2 + bx + c$$

dengan: $x_1 + x_2 = -b/a$

$$x_1 \cdot x_2 = c/a$$

$$D = b^2 - 4ac$$

koordinat titik puncak P $(-b/2a, -D/4a)$

atau: $y = a(x + b/2a)^2 + D/-4a$

dengan P $(-b/2a, -D/4a)$

1). Hitungan persamaan segmen kurva AB

$$e_1 = 326,35 \text{ m.m} ; e_2 = 224,82 \text{ mm} ; e_3 = 359,37 \text{ mm}$$

$$\frac{y_1}{(e_1 + e_2)} = \frac{2500}{12500} \quad y_1 = \frac{1}{5}(326,35 + 224,82) = 110,23 \text{ mm}$$

Persamaan kurva dicari dengan rumus;

$$y = a \left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 + \frac{D}{-4a}$$

$$A (0, 110,23) \longrightarrow \frac{-b}{2a} = 0 \longrightarrow b = 0 \longrightarrow \frac{D}{-4a} = 110,23 \longrightarrow c = 0$$

$$B (2500, 0) \longrightarrow 0 = a (2500 + 0)^2 + 110,23$$

$$a = -\frac{110,23}{625000} = -0,00001763$$

jadi persamaan kurva ; $y = -0,00001763 x^2 + 110,23$

2). Hitungan persamaan segmen kurva BC

Digunakan rumus ; $y = a(x + b/2a)^2 + D/-4a$

Dicari dulu ;

$$y = (e_1 + e_2) - y_1$$

$$\begin{aligned} y_1 &= (551,170) - 110,234 \\ &= 440,936 \end{aligned}$$

$$C = P(0, 0) \longrightarrow -b/2a = 0 \quad b = 0$$

$$D/-4a = 0 \longrightarrow c = 0$$

$$B(-10000, 440, 936)$$

$$440,36 = a(-10000 + 0)^2 + 0$$

$$a = 4,409 \cdot 10^{-6}$$

Jadi persamaan kurva adalah ; $y = 4,409 \cdot 10^{-6} x^2$

3). Hitungan persamaan segmen kurva CD

Dicari dulu ;

$$y_2' = \frac{10000}{12500} (e_2 + e_3)$$

$$= \frac{4}{5} (224,82 + 359,37)$$

$$= 467,352$$

$$C = P(0, 0) -b/2a = 0 \quad b = 0$$

$$D/-4a = 0 \longrightarrow c = 0$$

$$D(10000, 467,352) \quad 467,352 = a(10000 + 0)^2 + 0$$

$$a = 4,67352 \cdot 10^{-6}$$

Jadi persamaan segmen kurva CD ; $y = 4,67352 \cdot 10^{-6} x^2$

4). Hitungan persamaan segmen kurva DF

Dicari dulu ;

$$\begin{aligned}
 y_3 &= (e_2 + e_3) - y_2' \\
 &= (224,82 + 359,37) - 467,352 \\
 &= 116,838 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$P(0, 116,838)$$

$$x_1 + x_2 = 0 \longrightarrow -b/a = 0 \longrightarrow b = 0$$

$$D/-4a = 116,838 \longrightarrow c = 116,838$$

$$x_1 \cdot x_2 = c/a \longrightarrow a = -\frac{116,838}{(2500)^2} \longrightarrow a = -18,69408 \cdot 10^{-6}$$

Jadi persamaan segmen kurva DF ;

$$y = -18,69408 \cdot 10^{-6} x^2 + 116,838$$

b. Rumus umum panjang segmen kurva

$$S = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

1). Hitungan panjang segmen kurva AB

$$\frac{dy}{dx} = -0,00003527 x$$

$$S = \int_0^{2500} \sqrt{1 + (0,00003527)^2 x^2} dx$$

$$x = \frac{\operatorname{tg} \theta}{0,00003527} \quad dx = \frac{1}{0,00003527} \sec^2 \theta d\theta$$

$$\text{untuk } x = 0 \quad \operatorname{arc} \operatorname{tg} 0 = 0^\circ$$

$$x = 2500 \quad \text{arc tg } 0,088175 = 5,04^\circ$$

$$S = \int_0^{5,04^\circ} \frac{\sec \theta \sec^2 \theta}{0,00003527} d\theta$$

$$S' = \int_0^{5,04^\circ} \sec \theta \sec^2 \theta d\theta$$

$$S' = \int U dv = UV - \int V du$$

$$U = \sec \theta \quad du = \sec \theta \operatorname{tg} \theta d\theta$$

$$V = \operatorname{tg} \theta \quad dv = \sec^2 \theta d\theta$$

$$S' = \sec \theta \operatorname{tg} \theta - \int_0^{5,04^\circ} \operatorname{tg} \theta \sec \theta \operatorname{tg} \theta d\theta$$

$$S' = \sec \theta \operatorname{tg} \theta - \int_0^{5,04^\circ} (\sec^2 \theta - 1) \sec \theta d\theta$$

$$S' = \sec \theta \operatorname{tg} \theta + \int_0^{5,04^\circ} \sec \theta d\theta - \int_0^{5,04^\circ} \sec \theta \sec^2 \theta d\theta$$

$$2 S' = \sec \theta \operatorname{tg} \theta + \int_0^{5,04^\circ} \sec \theta d\theta$$

$$S' = \frac{1}{2} [\sec \theta \operatorname{tg} \theta + \ln |\sec \theta + \operatorname{tg} \theta|]_0^{5,04^\circ}$$

$$= \frac{1}{2} [(0,088517 + 0,088061) - (0)]$$

$$= 0,088289$$

$$S = \frac{0,088289}{0,00003527} = 2522,53$$

Jadi panjang segmen kurva AB = 2522,53 mm

- 2). Untuk panjang segmen kurva BC, CD dan DF dihitung dengan cara yang sama. Hasil dari hitungan ditabelkan seperti berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil hitungan persamaan dan panjang segmen kurva

No	Kurva	Persamaan Segmen Kurva	Panjang Kurva (mm)
1	AB = HI	$y = -35,27 \cdot 10^{-6} x^2 + 110,23$	2522,53
2	BC = GH	$y = 4,409 \cdot 10^{-6} x^2$	10012,93
3	CD = FG	$y = 4,674 \cdot 10^{-6} x^2$	10014,55
4	DF	$y = -18,694 \cdot 10^{-6} x^2 + 116,838$	5007,27
5	Panjang tendon dua bentangan	=	50107,29

13. Tabel 4.2 Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat awal dengan tampang netto dihitung dengan program MS-EXCEL

NOTASI	TUMPUAN INTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN EKSTERIOR
b_f (mm)	803	803	803
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	350	350	350
d' (mm)	163,024	383,804	130,000
h (mm)	1100	1100	1100
h_w (mm)	980	980	980
h' (mm)	937	716	970
A_f (mm ²)	96360	96360	96360
A_w (mm ²)	343000	343000	343000
A_c (mm ²)	439360	439360	439360
A_s (mm ²)	7238,229	7238,229	7238,229
A_{netto} (mm ²)	432121,771	432121,771	432121,771
C^t (mm)	494,841	491,143	495,394
C_b (mm)	605,159	608,857	604,606
ER (mm)	331,817	221,355	365,394
I_{netto} (mm ⁴)	49539239208	49969772554	49372581117
S^t (mm ³)	100111416,112	101741820,538	99663214,745
S_b (mm ³)	81861534,029	82071429,179	81660783,324

14. Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c setelah balok diberi selongsong tendon

a. Pada tumpuan ujung = 331,817 mm.

b. Pada tengah betantang = 221,355 mm.

c. Pada tumpuan tengah = 365,394 mm.

15. Gaya imbang pada saat awal

$$P_i = 4970 \text{ kN.}$$

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang;

$$\begin{aligned} e_{1\text{maks}} &= e_{T2} + \left[\frac{(e_{T3} - e_{T1})}{2} + e_{T1} \right] \\ &= 221,355 + \left[\frac{(365,394 - 331,817)}{2} + 331,817 \right] \\ &= 569,961 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{imb}} &= \frac{8 \cdot P_i \cdot e_{\text{maks}}}{L^2} \\ &= \frac{8 \cdot 4970 \cdot 0,570}{25^2} \\ &= 36,261 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

16. Momen akibat gaya prategang.

$$\begin{aligned} FEM \longrightarrow M_{FAB} &= \frac{w_{\text{imb}} \cdot L^2}{12} \\ &= \frac{36,261 \cdot 25^2}{12} \\ &= - 1888,600 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{FBC} &= + \frac{w_{mb} \cdot L^2}{12} \\
 &= + \frac{36,261 \cdot 25^2}{12} \\
 &= + 1888,600 \text{ kN-m.}
 \end{aligned}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$\begin{aligned}
 M_A &= - (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= - (0,221 \cdot 4970) \\
 &= - 1098,370 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= + (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= + (0,221 \cdot 4970) \\
 &= + 1098,370 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

17. Tabel 4.3 Distribusi momen

<i>FEM</i>	1888,6	+1888,6	-1888,6	+1888,6
<i>BALANCE</i>	+1888,6			-1888,6
<i>OVERHANG</i>	-1098,37			-1098,37
<i>DISTRIBUSI</i>		+395,115	-395,115	
<i>MAKIBAT</i>				
<i>PRATEGANG</i>	-1098,37	+2283,715	-2283,715	+1098,37

a. Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan tengah.

$$\begin{aligned}
 e_{TC3} &= \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang awal}} \\
 &= \frac{2283,715 \cdot 10^3}{4970}
 \end{aligned}$$

$$= 459,500 \text{ mm.}$$

b. Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan ujung.

$$e_{TC1} = ER$$

$$= 331,816 \text{ mm.}$$

c. Garis tekan beton (*C-line*) pada tergan bentang.

$$\begin{aligned} e_{TC2} &= e_{T2} - \left[\frac{e_{TC3} - e_{TC1}}{2} \right] \\ &= 221,355 - \left[\frac{459,5 - 331,817}{2} \right] \\ &= 157,514 \text{ mm.} \end{aligned}$$

18. Tabel 4.4 Kontrol tegangan pada saat awal dihitung dengan program MS-EXCEL

NOTASI	TUMPUAN EKSTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN INTERIOR
M_D (N-mm)	-1428900000	781360000	-1556300000
$M_{\text{speci,tegel,plafon}}$ (N-mm)	-181940000	99489000	-198300000
M_L (N-m)	-722010000	394810000	-786810000
M_D saat awal (N-mm)	-1246960000	681871000	-1358000000
P_i (N)	5700000	5700000	5700000
e_{TC} (mm)	281,565	147,328	396,5
M_{netto} (N-mm)	357960500	157898600	902050000
A_{netto} (mm ²)	459740,985	459740,985	459740,985
S^t (mm ³)	99897674,52	101449008,9	99512441,39
S_b (mm ³)	78794917,57	78834956,86	78637431,94
f^t (MPa)	-15,982	-13,955	-21,463
f_b (MPa)	-8,815	-10,842	-3,334

Dari tabel 4.4.

a. Pada tumpuan ujung.

$$f^t = -16,012 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -5,609 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

b. Pada tengah bentang.

$$f^t = -11,837 \text{ Mpa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -9,784 \text{ MPa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

c. Pada tumpuan tengah.

$$f^t = -20,175 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -1,446 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

19. Tabel 4.5 Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat akhir dengan tampang transformasi dihitung dengan program MS-EXCEL

NOTASI	TUMPUAN EKSTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN INTERIOR
b_f (mm)	803	803	803
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	350	350	350
d' (mm)	163,024	383,804	130,000
h (mm)	1100	1100	1100
h_w (mm)	980	980	980
h' (mm)	936,976	716,196	970,000
A_f (mm ²)	96360	96360	96360
A_w (mm ²)	343000	343000	343000
A_c (mm ²)	439360	439360	439360
n	6	6	6
A_{ps} (mm ²)	4248,081	4248,081	4248,081

NOTASI	TUMPUAN EKSTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN INTERIOR
A_c' (mm ²)	21240,405	21240,405	21240,405
A_t (mm ²)	460600,405	460600,405	460600,405
C^t (mm)	474,325	484,506	472,802
C_b (mm)	625,675	615,494	627,198
ER (mm)	311,301	241,871	342,802
I_t (mm ⁴)	52480939384,245	51576067701,415	52939755547,539
S^t (mm ³)	110643413,901	106450789,683	111970213,684
S_b (mm ³)	83878916,315	83796242,601	34406784,678

20. Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c tampang transformasi

a. Pada tump. *ekterior* = 311,301 mm.

b. Pada tengah bentang = 241,871 mm.

c. Pada tump. *interior* = 342,802 mm.

21. Gaya imbang pada saat akhir

$P_e = 3976$ kN.

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang

$$\begin{aligned}
 e_{Tmaks} &= e_{s2} + \left[\frac{(e_{s3} - e_{s1})}{2} + E_{r1} \right] \\
 &= 241,871 + \left[\frac{(342,802 - 311,301)}{2} + 311,301 \right] \\
 &= 568,923 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{imb.} &= \frac{8 \cdot P_c \cdot e_{maks}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \cdot 3976 \cdot 0,569}{25^2}
 \end{aligned}$$

$$= 28,954 \text{ kN/m.}$$

22. Momen akibat gaya prategang.

$$\begin{aligned} FEM \longrightarrow M_{FAB} &= - \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12} \\ &= - \frac{28,954 \cdot 25^2}{12} \\ &= - 1508,024 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{FBC} &= + \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12} \\ &= + \frac{28,954 \cdot 25^2}{12} \\ &= + 1508,024 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$\begin{aligned} M_A &= - (e_{T2} \cdot P_1) \\ &= - (0,242 \cdot 3976) \\ &= - 962,192 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= + (e_{T2} \cdot P_1) \\ &= + (0,242 \cdot 3976) \\ &= + 962,192 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

23. Tabel 4.6 Distribusi momen

<i>FEM</i>	-1508,024	+1508,024	1508,024	+1508,024
<i>BALANCE</i>	+1508,024			-1508,024
<i>OVERHANG</i>	-962,192			+962,192
<i>DISTRIBUSI</i>		+272,916	-272,916	
<i>MAKIBAT</i>				
<i>PRATEGANG</i>	-962,192	+1780,94	-1780,94	+962,192

24. Letak garis tekan beton (*C-line*) pada saat awala. Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan *interior*

$$\begin{aligned}
 e_{SC3} &= \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang efektif}} \\
 &= \frac{1780,940 \cdot 10^3}{3976} \\
 &= 447,923 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

b. Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan *eksterior*

$$\begin{aligned}
 e_{SC1} &= ER \\
 &= 311,301 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

c. Garis tekan beton (*C-line*) pada tengah bentang

$$\begin{aligned}
 e_{SC2} &= e_{S2} - \left[\frac{e_{S2} - e_{S1}}{2} \right] \\
 &= 241,871 - \left[\frac{447,923 - 311,307}{2} \right] \\
 &= 173,563 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

25. Tabel 4.7 Kontrol tegangan pada saat akhir dihitung dengan program MS-EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN EKSTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN INTERIOR
M_D (N-mm)	-1408400000	778260000	-1549300000
M_L (N-mm)	-716860000	396190000	-789200000
M_T (N-mm)	-2125260000	1174450000	-2338500000
P_e (N)	3976000	3976000	3976000
e_{sc} (mm)	311,301	173,563	447,923
M_{netto} (N-mm)	-887527224	484363512	-557558152
A_t (mm ²)	460600,405	460600,405	460600,405
S^t (mm ³)	110643413,9	106450789,7	111970213,7
S_b (mm ³)	83878916,32	83796342,6	84406784,68
f^t (MPa)	-0,611	-13,182	-3,653
f_b (MPa)	-19,213	-2,852	-15,238

Dari tabel 4.7.

a. Pada tumpuan *ekterior*.

$$f^t = -0,611 \text{ Mpa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -19,213 \text{ MPa} < f_{cs} = -20,250 \text{ MPa.}$$

b. Pada tengah bentang.

$$f^t = -13,182 \text{ Mpa} < f_{cs} = -20,250 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -2,852 \text{ MPa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

c. Pada tumpuan *interior*.

$$f^t = -3,653 \text{ Mpa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -15,238 \text{ MPa} > f_{cs} = -20,250 \text{ MPa.}$$

26. Hitungan kapasitas momen

$$f'_c = 45 \text{ MPa.}$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa.}$$

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}}$$

$$= \frac{3976 \cdot 10^3}{4248,081}$$

$$= 935,952 \text{ MPa.}$$

Hitungan kapasitas momen metode pendekatan Standar SNI T-15-1991-03 sebagai berikut ;

$$f'_c \geq 30 \text{ MPa.}$$

$$f_{pu} \geq 1700 \text{ MPa}$$

$$f_{se} \geq 0,5 \cdot f_{pu}$$

$$\geq 0,5 \cdot 1860$$

$$\geq 930 \text{ Mpa.}$$

27. Faktor jenis baja prategang.

Jika ;

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,9. \longrightarrow \gamma_p = 0,28.$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0,40.$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1581}{1860}$$

$$= 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0,40.$$

28. Tabel 4.8 Hasil perhitungan momen nominal dengan program MS-EXCEL

NOTASI	TUMPUAN EKSTERIOR	TENGAH BENTANG	TUMPUAN INTERIOR
b_f (mm)	803	803	803
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	350	350	350
h (mm)	1100	1100	1100
d' (mm)	163,024	385,804	130
h' (mm)	936,976	714,196	970
A_{ps} (mm ²)	4248,081	4248,081	4248,081
ρ_p	0,013	0,007	0,013
f'_c (MPa)	45	45	45
f_{pu} (MPa)	1360	1860	1860
γ	0,400	0,400	0,400
β_1	0,730	0,730	0,730
f_{ps} (MPa)	1314,309	1547,960	1332,687
ω_p	0,378	0,265	0,371
$0,36 \beta_1$	0,263	0,263	0,263
	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat
A_{pf} (mm ²)	--	1037,818	--
A_{pw} (MPa)	--	3210,263	--
C^t (mm)	474,325	484,506	472,802
C_b (mm)	625,675	615,494	627,198
a (mm)	456,74275	335,880	457,85454
d (mm)	936,976	714,196	970,000
ϕ	0,800	0,800	0,800
M_n (N)	3956345917,856	4074793216,003	4196111665,989
ϕM_n (N)	3165076734	3259834573	3356889333

29. Momen akibat beban berfaktor (M_U) = $1,2 M_D + 1,6 M_L$.

$$M_U (\text{tump.int.}) = - 2837,000 \text{ kN-m} < \phi M_n = - 3165,076 \text{ kN-m.}$$

$$(\text{lapangan}) = + 1567,800 \text{ kN-m} < \phi M_n = + 3259,835 \text{ kN-m.}$$

$$(\text{tump.eks.}) = - 3121,900 \text{ kN-m} < \phi M_n = - 3356,889 \text{ kN-m.}$$

BAB V

PEMBAHASAN

Konsep pengimbangan beban (*load balancing methode*) pada beton prategang adalah merupakan suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada struktur sampai pembebanan tertentu. Pengimbangan beban dapat dilakukan hanya untuk mengimbangi beban mati atau beban mati + k beban hidup, dimana nilai k adalah $0 < k < 1$ sehingga struktur dapat didisain tanpa lendutan atau dengan lendutan yang dibatasi.

Perancangan balok menerus beton prategang dengan cara beban berimbang memudahkan dalam cara peletakan kabel (tendon) dan pemilihan gaya prategang. Karena dasar perencanaan dari metode beban berimbang adalah peletakan tendon persis diagram momen yang terjadi.

Dengan hanya mengetahui besar eksentrisitas titik berat tampang balok terhadap serat terluar (C^t dan C_b), besar gaya prategang dapat diperkirakan, sebab semakin besar C^t atau C_b eksentrisitas tendon terhadap titik berat beton akan semakin besar, maka momen internal balok ($P_e \times e$) pada potongan yang ditinjau akan bertambah besar. Balok beton dengan h (tinggi tampang) yang semakin besar tidak hanya

memberikan pengaruh terhadap pemilihan gaya prategang yang semakin kecil namun momen inersia yang terjadi akan semakin besar ini mengakibatkan tegangan yang terjadi pada balok semakin kecil, sebab tegangan berbanding terbalik dengan momen inersia.

Tegangan yang terjadi pada luasan transformasi akan menghasilkan tegangan ekstrem yang lebih kecil dan kuat lentur yang meningkat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.1. Penggunaan tampang balok beton dengan h (tinggi tampang) yang besar, dengan luasan yang lebih kecil tidak hanya menghemat penggunaan gaya prategang tetapi juga meningkatkan kapasitas momen. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.2.

Pemilihan mutu bahan yang digunakan untuk beton akan sangat berpengaruh terhadap tegangan ijin beton baik pada saat awal maupun akhir (layan). Semakin tinggi mutu beton yang digunakan, maka tegangan ijin beton akan semakin besar, sehingga luasan beton yang dibutuhkan akan semakin kecil. Demikian juga dengan mutu baja yang digunakan. Semakin tinggi mutu baja (tendon) yang digunakan maka akan semakin kecil diameter baja (tendon) yang dibutuhkan.

Tabel 5.1.a Tegangan beton dengan luasan transformasi dan tinggi tampang yang bervariasi pada tumpuan ujung

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _t (mm ²)	C _c (mm)	I _t (mm ⁴)	P _e (N)	e (mm)	f ^t (MPa)	f _b (MPa)	f _{ts} (MPa)	f _{cs} (MPa)
1000	970	120	400	492760,225	422,085	46492436507,837	4560000	285,879	-1,562	-19,786	3,354	-20,250
1100	803	120	350	460600,405	474,325	52480939384,245	3976000	311,301	-0,611	-19,213	3,354	-20,250
1200	790	120	300	436108,580	509,531	60274814676,041	3240000	354,534	0,475	-18,140	3,354	-20,250

Tabel 5.1.b Tegangan beton dengan luasan transformasi dan tinggi tampang yang bervariasi pada tengah bentang

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _t (mm ²)	C _c (mm)	I _t (mm ⁴)	P _e (N)	e (mm)	f ^t (MPa)	f _b (MPa)	f _{ts} (MPa)	f _{cs} (MPa)
1000	970	120	400	492760,225	431,718	45950117029,645	4560000	173,662	-12,864	-4,502	3,354	-20,250
1100	803	120	350	460600,405	484,506	51576067701,415	3976000	173,563	-13,182	-2,852	3,354	-20,250
1200	790	120	300	436108,58	518,336	59725961738,576	3240000	226,903	-11,180	-2,497	3,354	-20,250

Tabel 5.1.c Tegangan beton dengan luasan transformasi dan tinggi tampang yang bervariasi pada tumpuan tengah

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _t (mm ²)	C _c (mm)	I _t (mm ⁴)	P _e (N)	e (mm)	f ^t (MPa)	f _b (MPa)	f _{ts} (MPa)	f _{cs} (MPa)
1000	970	120	400	492760,225	420,879	46813331531,162	4560000	385,995	-4,013	-16,465	3,354	-20,250
1100	803	120	350	460600,405	472,802	52939755547,539	3976000	417,923	-3,652	-15,238	3,354	-20,250
1200	790	120	300	436108,580	508,142	60724689289,853	3240000	527,949	-2,530	-14,099	3,354	-20,250

Tabel 5.2. a Momen nominal dengan tinggi tampang yang bervariasi pada tumpuan ujung

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _c (mm ²)	C ^t (mm)	C _b (mm)	I _c (mm ⁴)	F _e (N)	e (mm)	φ M _n (kN-m)	M _u (kN-m)
1000	970	120	400	492760,225	431,718	568,282	45950117029,645	4560000	285,995	-3066,849	-2886,990
1100	803	120	350	460600,405	484,506	615,494	51576067701,415	3976000	311,307	-3165,076	-2837,000
1200	790	120	300	436108,58	527,294	672,706	59725961738,576	3240000	354,534	-3931,344	-2784,500

Tabel 5.2. b Momen nominal dengan tinggi tampang yang bervariasi pada tengah bentang

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _c (mm ²)	C ^t (mm)	C _b (mm)	I _c (mm ⁴)	P _e (N)	e (mm)	φ M _n (kN-m)	M _u (kN-m)
1000	970	120	400	492760,225	431,718	568,282	45950117029,645	4560000	173,662	3420,647	1569,300
1100	803	120	350	460600,405	484,506	615,494	51576067701,415	3976000	173,563	3259,825	1567,800
1200	790	120	300	436108,58	518,336	581,664	59725961738,576	3240000	226,903	4456,829	1560,100

Tabel 5.2. c Momen nominal dengan tinggi tampang yang bervariasi pada tumpuan tengah

h (mm)	b _r (mm)	h _r (mm)	b _w (mm)	A _c (mm ²)	C ^t (mm)	C _b (mm)	I _c (mm ⁴)	P _e (N)	e (mm)	φ M _n (kN-m)	M _u (kN-m)
1000	970	120	400	492760,225	420,879	579,121	46818331531,162	4560000	385,995	-3227,323	-3126,50
1100	803	120	350	460600,405	472,802	627,193	52939755547,539	3975000	447,923	-3356,889	-3121,90
1200	790	120	300	436108,530	508,142	691,858	60724635289,853	3240000	527,949	-5854,129	-3104,50

BAB VI:

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Berdasarkan uraian dari bab IV dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Tampang balok beton prategang yang semakin langsing dengan persyaratan penutup beton terpenuhi akan memperkecil gaya prategang yang dibutuhkan, namun memberikan pengimbangan beban yang mencukupi.
2. Perhitungan dengan cara beban berimbang pada balok beton prategang struktur menerus memberikan kemudahan dalam; peletakan kabel (tendon), perkiraan pengimbangan beban akibat beban eksternal dan pemilihan gaya prategang.

6.2 Saran-saran

1. Perhitungan balok beton prategang dengan cara beban berimbang akan lebih efektif jika dikombinasi dengan tulangan konvensional (prategang parsial)

2. Mengingat adanya batasan-batasan masalah, maka perancangan balok menerus beton prategang dengan cara beban berimbang ini perlu dikembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lin, T.Y, 1993, **DESAIN STRUKTUR BETON PRATEGANG**, jilid 1 & 2, Erlangga, Surabaya.
2. Wang, Chu Kia dan Salmon, C.G, 1989. **DISAIN BETON BERTULANG**, Jilid 2, Erlangga, Surabaya.
3. Manu, Agus Iqbal H, 1978, **PERHITUNGAN CARA LOAD BALANCING DALAM BETON PRATEKAN METODE T.Y. LIN**, Direktorat Bina Jalan Direktorat Bina Marga DPU, Bandung.
4. Aboe, A. Kadir, 1994, **BETON PRATEGANG STUDI INDIVIDUAL DALAM TEKNIK STRUKTUR II**, ITB, Bandung.
5. Raju, N. krishna, 1993, **BETON PRATEGANG**, cetakan ke-2, Erlangga, Surabaya.
6. Libby, James R, 1977, **MODERN PRESTRESSED CONCRETE**, *Second Edition, Litton Association Publishing, inc, USA.*
7. Nawy, Edward G, 1996, **PRESTRESSED CONCRETE A FUNDAMENTAL APPROACH**, *Second Edition, Prentice-Hall, inc, Simon & Schuster, New Jersey, USA.*
8. Departemen Pekerjaan Umum, 1991, **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG SK SNI T -15 -** 1991 - 03, Yayasan LPMB, Bandung.

LAMPYRAN



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	ANANDA SETYO BRIONO	00310191		STRUKTUR
2.	H U D A	004310089		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I
 Dosen Pembimbing II
 1

IR. H. M. H. TRIWULU, M. Sc
 IR. A. NADIR ANSARI, M. Sc
 2

Yogyakarta, 11 OKTOBER 1996

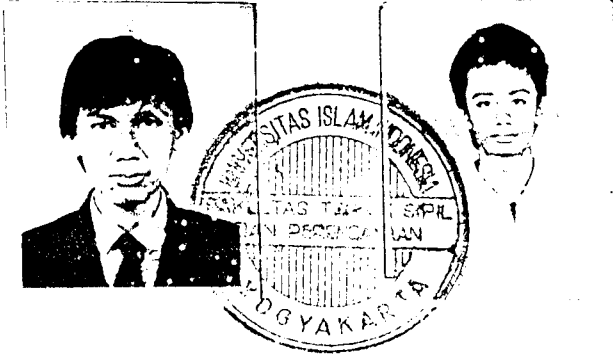
Ah. Dekan,

KEPTUA JURUSAN TEKNIK SIPIL.

S

[Handwritten Signature]

IR. H. M. H. TRIWULU, M. Sc



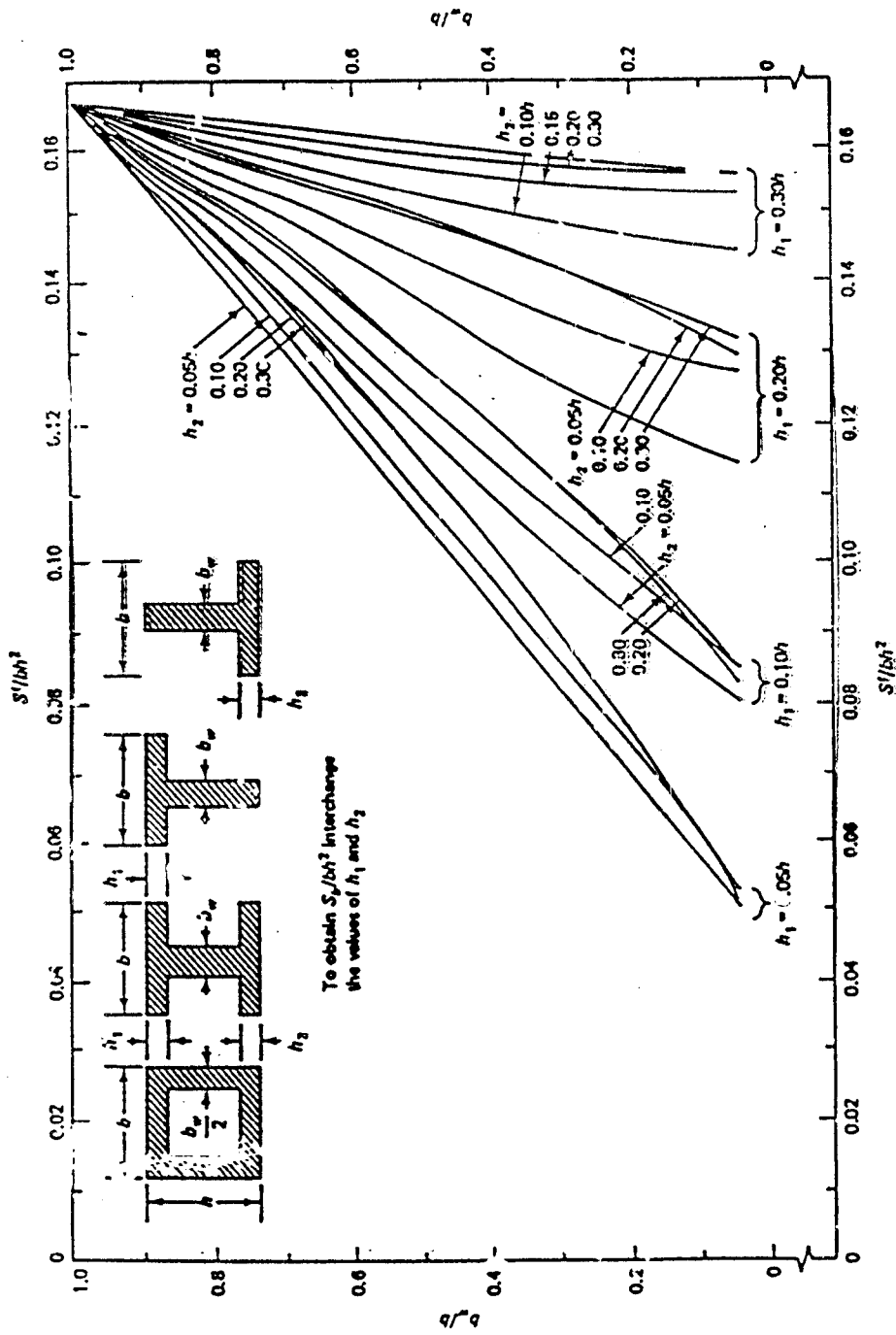
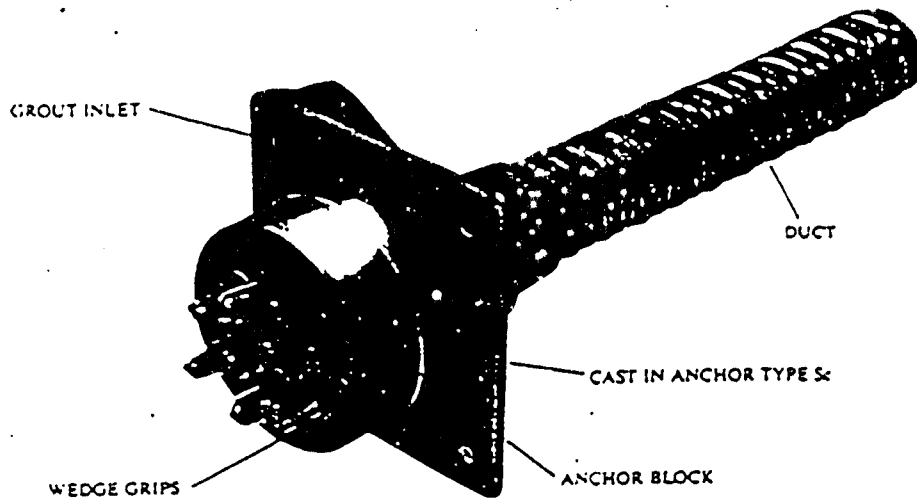
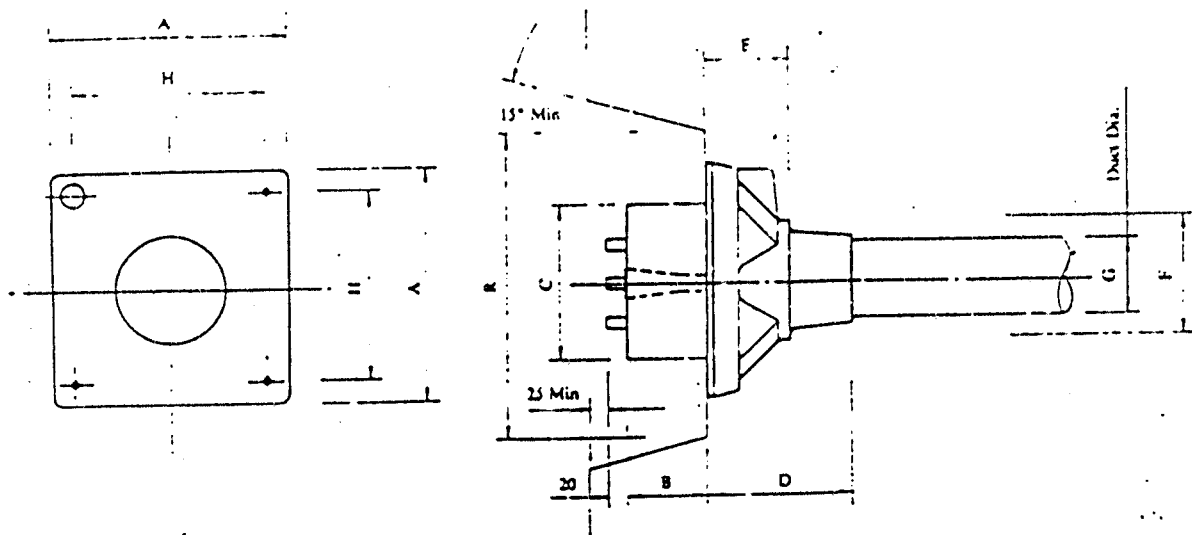


Figure 4.6 Section moduli of I-angled and boxed sections (adapted from Ref. 4.15).

STRESSING ANCHORAGE



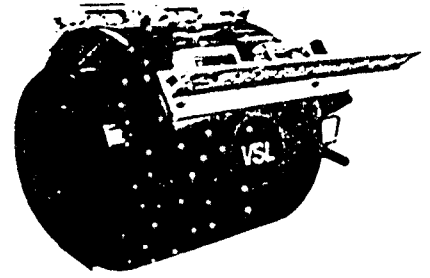
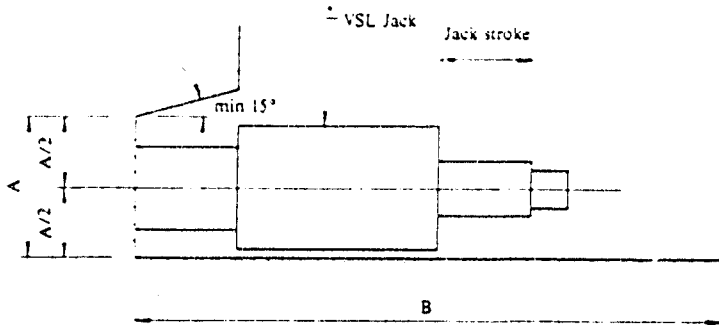
VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE-Sc



VSL TYPE	Dimensions (mm)										Characteristic Load (kN)
	A	B	C	D	E	F	G	H	R		
3Sp	135	54	90	106	16	56	39	116	250	552	
4Sp	150	54	90	130	16	64	50	125	250	736	
7Sc	165	54	120	100	60	80	50	125	290	1290	
12Sc	215	54	160	160	85	120	69	150	360	2210	
19Sc	265	66	180	210	110	145	84	200	360	3500	
25Sc	290	77	200	215	140	150	90	230	360	4050	
27Sc	315	92	220	250	160	175	96	250	500	4970	
31Sc	315	92	230	250	160	175	105	250	500	5700	
37Sc	370	107	250	320	160	200	115	305	900	6810	
42Sc	390	112	290	340	160	210	118	325	900	7730	
48Sc	430	122	300	340	160	230	135	365	900	8830	
55Sc	465	142	320	340	160	250	135	400	900	10120	

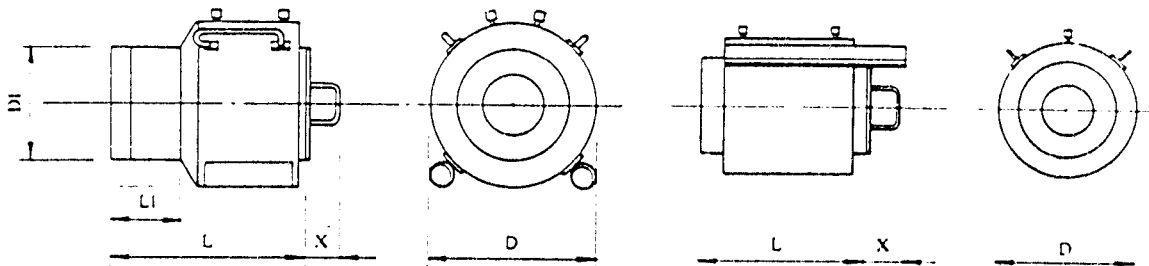
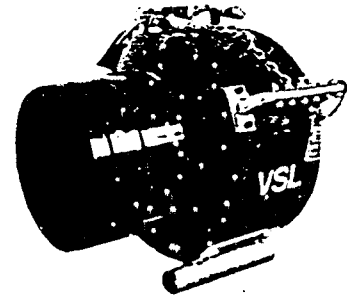
NOTE: Dimension R does not allow for lift off force check. Smaller recesses can be provided for special cases. Refer VSL office for details. Plate type anchorages (Type Sp) also available on request.

STRESSING JACKS



JACK CLEARANCE REQUIREMENTS

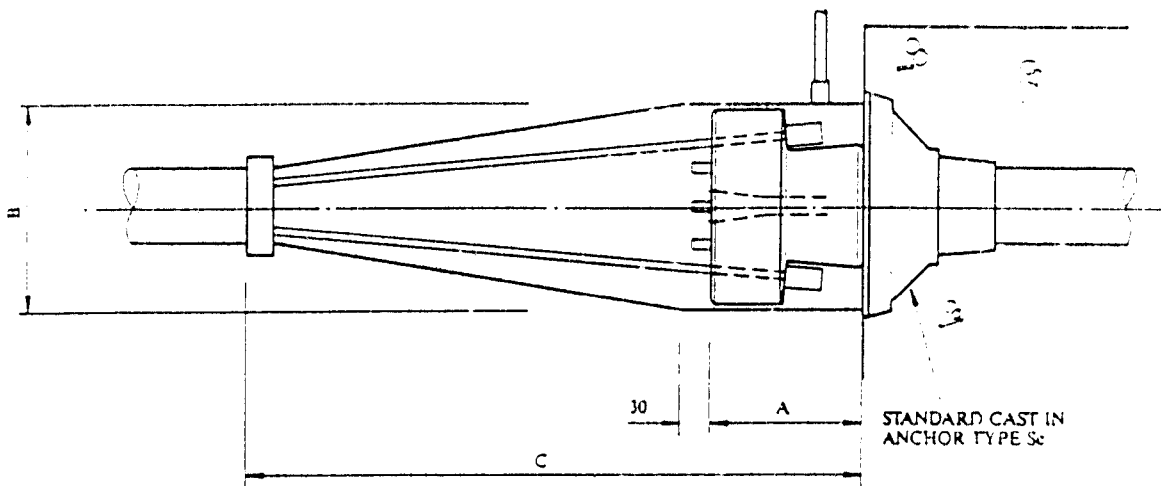
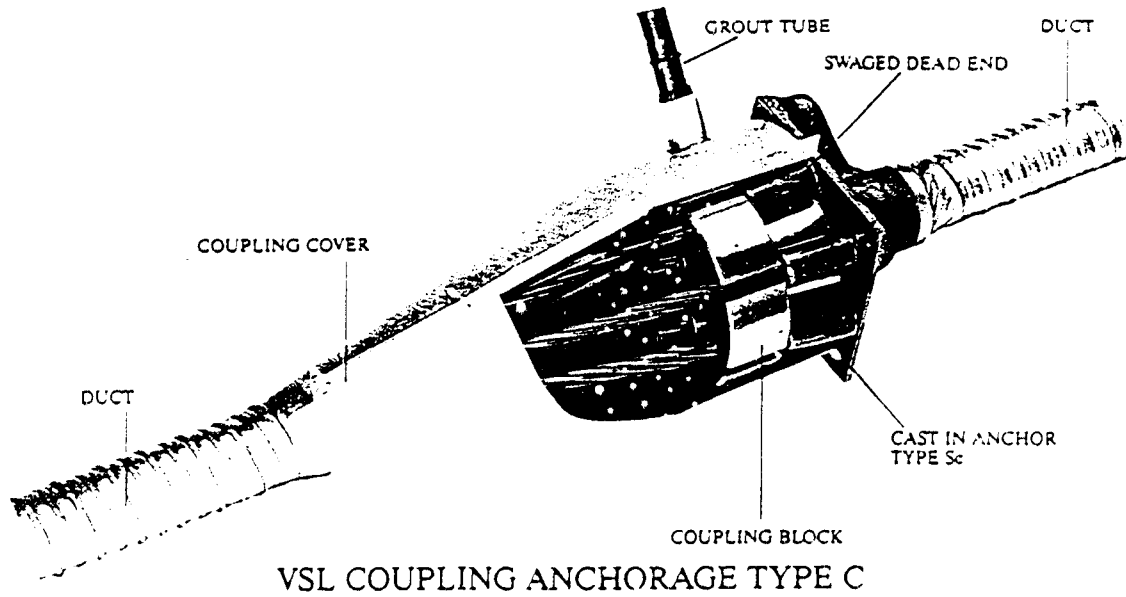
Dimensions (mm)	VSL JACK TYPE						
	VSL50	VSL100	VSL130L	VSL190	VSL190M	VSL290	
A	250	325	400	400	450	500	
B	1000	1000	1800	1600	1300	1600	
	VSL460	VSL670	VSL750	VSL1000	VSL1250	VSL1650	VSL1900
A	600	850	700	900	750	1000	1000
B	1400	2400	2600	2300	2800	1800	2600



STRESSING JACK DETAILS

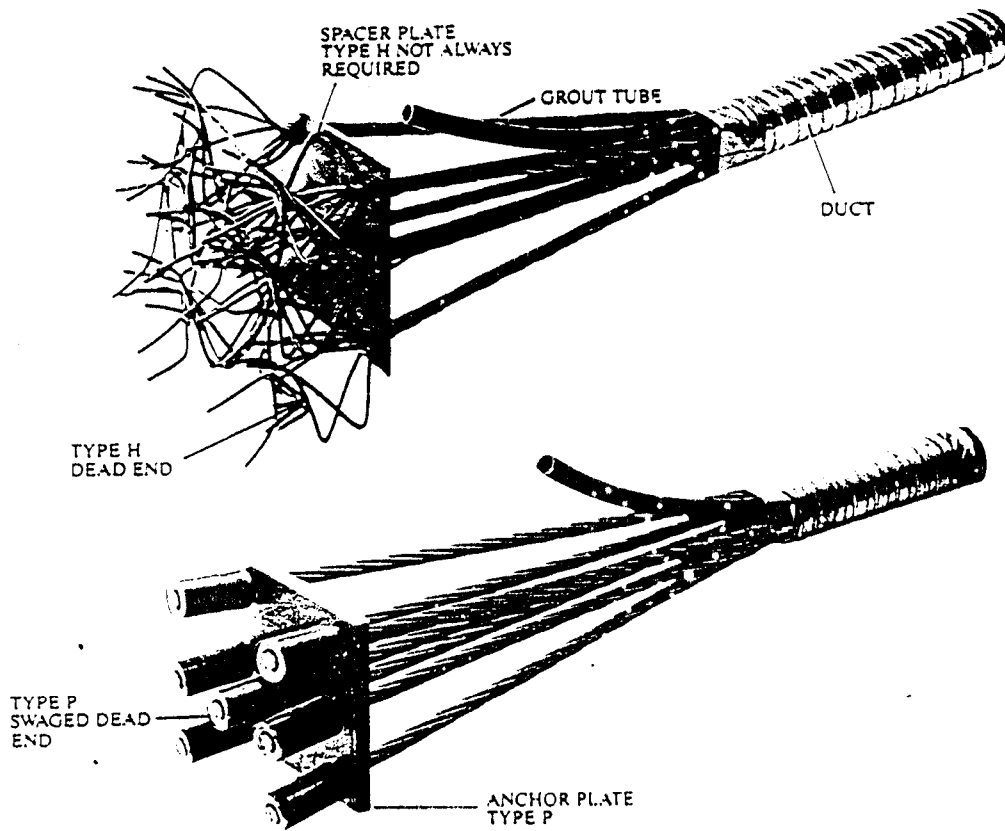
VSL JACK TYPE	TENDON TYPE	NOMINAL CAP. (kN)	D	DIMENSIONS (mm)				STROKE (mm)	MASS (kg)
				D1	L	L1	X		
VSL50	3&4	500	210	-	430	-	-	150	34
VSL100	7	1000	275	-	405	-	-	160	76
VSL130L	12	1800	305	-	715	-	90	305	275
VSL190	12	1900	410	230	565	200	135	100	151
VSL190M	12	1900	350	-	440	-	90	140	160
VSL290	19	2900	390	270	450	215	240	100	202
VSL460	31	4600	485	330	510	200	85	100	425
VSL670	42	6700	660	-	840	-	250	200	1550
VSL750	42	7500	520	410	1030	215	165	200	1500
VSL1000	55	10000	790	-	985	-	165	200	2200
VSL1250	55	12500	710	420	1125	220	165	150	1730
VSL1650	64	16500	910	600	615	140	-	150	1750
VSL1900	91	19000	875	-	1030	-	165	150	3085

COUPLING ANCHORAGE

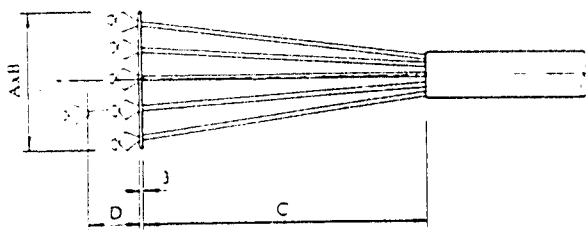


VSL TYPE	Dimensions (mm)			Characteristic Load (kN)
	A	B	C	
3c	110	140	330	552
4c	110	160	330	736
7c	110	180	410	1290
12c	110	210	470	2210
19c	110	240	550	3500
22c	110	260	620	4050
27c	110	310	960	4970
31c	110	350	960	5700
37c	150	390	1000	6810
42c	150	395	1000	7730
48c	150	420	1000	8830
55c	170	490	1140	10120

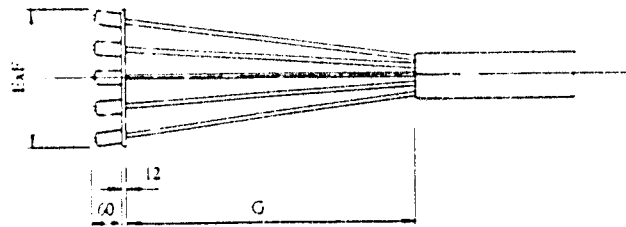
DEAD END ANCHORAGE



VSL DEAD END ANCHORAGES TYPE H-TYPE P



Dead End Anchorage Type H



Dead End Anchorage Type P

VSL TYPE H 12.7mm	Dimensions (mm)			
	A	B	C	D
3H	125	125	600	-
4H	125	125	600	-
7H	175	150	600	-
12H	300	250	1000	150
19H	375	300	1000	150
22H	400	300	1000	150
27H	450	400	1000	150
31H	450	425	1000	150
37H	525	450	1100	150
42H	600	450	1100	150
48H	645	450	1200	150
55H	700	500	1200	150

VSL TYPE P 12.7mm	Dimensions (mm)		
	E	F	G
3P	100	100	100
4P	120	120	150
7P	150	150	250
12P	200	200	350
19P	250	250	500
22P	300	250	500
27P	300	300	650
31P	350	300	650
37P	375	350	850
42P	375	375	850
48P	400	400	1000
55P	425	425	1000

```

=====
MICROFEAP-P1          DATE: 09-15-1997          <DATA> P.1
PROJECT   : TUGAS AKHIR          FILENAME: disn-ii
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986          ENGINEER: Anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   STRUCTURE DATA           *
*                               *
*****

```

COORDINATE DATA (m)			**BOUNDARY DATA**		
NODE	1-COOR	2-COOR	1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	L
2	25.00	0.00	L	L	L
3	50.00	0.00	L	L	L
4	0.00	5.50			
5	25.00	5.50			
6	50.00	5.50			
7	0.00	9.50			
8	25.00	9.50			
9	50.00	9.50			
10	0.00	13.50			
11	25.00	13.50			
12	50.00	13.50			
13	0.00	17.50			
14	25.00	17.50			
15	50.00	17.50			

ELEMENT DATA				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	4		2
2	2	5		2
3	3	6		2
4	4	5		1
5	5	6		1
6	4	7		2
7	5	8		2
8	6	9		2
9	7	8		1
10	8	9		1
11	7	10		2
12	8	11		2
13	9	12		2
14	10	11		1
15	11	12		1
16	10	13		2
17	11	14		2
18	12	15		2

=====

MICROFEAP-P1

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.2

PROJECT : TUGAS AKHIR

FILENAME: disn-ii

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

ENGINEER: Anang/huda

=====

****ELEMENT DATA****

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

****MATERIAL DATA****

MATE	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.684D-01	4.473D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

LOAD CASE #1 : beban mati

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.911D+01
5	0.000D+00	-2.911D+01
9	0.000D+00	-2.911D+01
10	0.000D+00	-2.911D+01
14	0.000D+00	-2.911D+01
15	0.000D+00	-2.911D+01
19	0.000D+00	-2.646D+01
20	0.000D+00	-2.646D+01

LOAD CASE #2 : spesi tegel dan plafon

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-3.707D+00
5	0.000D+00	-3.707D+00
9	0.000D+00	-3.707D+00
10	0.000D+00	-3.707D+00
14	0.000D+00	-3.707D+00
15	0.000D+00	-3.707D+00
19	0.000D+00	-1.059D+00
20	0.000D+00	-1.059D+00

LOAD CASE #3 : beban hidup

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01

=====

MICROFEAP-P1	DATE: 09-15-1997	<DATA> P.3
PROJECT : TUGAS AKHIR		FILENAME: disn-ii
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986		ENGINEER: Anang/huda

=====

LOAD CASE #3 : beban hidup

UNIFORM LOAD DATA

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
------	---------------------	---------------------

5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00

```

*****
*                                *
*  COMBINATION                    *
*                                *
*****

```

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1/0/0

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1		0.00	1.8445D+02	3.5874D+02	-1.4289D+03
			3.13	1.8445D+02	2.6779D+02	-4.4998D+02
			6.25	1.8445D+02	1.7682D+02	2.4472D+02
			9.38	1.8445D+02	8.5863D+01	6.5516D+02
			12.50	1.8445D+02	-5.0965D+00	7.8136D+02
			15.63	1.8445D+02	-9.6056D+01	6.2331D+02
			18.75	1.8445D+02	-1.8702D+02	1.8101D+02
			21.88	1.8445D+02	-2.7797D+02	-5.4554D+02
	25.00	1.8445D+02	-3.6893D+02	-1.5563D+03		
5	1		0.00	1.8445D+02	3.6893D+02	-1.5563D+03
			3.13	1.8445D+02	2.7797D+02	-5.4554D+02
			6.25	1.8445D+02	1.8702D+02	1.8101D+02
			9.38	1.8445D+02	9.6056D+01	6.2331D+02
			12.50	1.8445D+02	5.0965D+00	7.8136D+02
			15.63	1.8445D+02	-8.5863D+01	6.5516D+02
			18.75	1.8445D+02	-1.7682D+02	2.4472D+02
			21.88	1.8445D+02	-2.6778D+02	-4.4998D+02
	25.00	1.8445D+02	-3.5874D+02	-1.4289D+03		

=====

MICROFEAP-P1

 PROJECT : TUGAS AKHIR

 AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

 =====

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

 FILENAME: disn-ii

 ENGINEER: Anang/huda

 =====

 *

 * COMBINATION *

 *

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

 LOAD FACTOR : 0/1/0

MEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	2.4496D+01	4.5683D+01	-1.8194D+02
		3.13	2.4496D+01	3.4099D+01	-5.7282D+01
		6.25	2.4496D+01	2.2514D+01	3.1176D+01
		9.38	2.4496D+01	1.0930D+01	8.3433D+01
		12.50	2.4496D+01	-6.5435D-01	9.9489D+01
		15.63	2.4496D+01	-1.2239D+01	7.9343D+01
		18.75	2.4496D+01	-2.3823D+01	2.2997D+01
		21.88	2.4496D+01	-3.5407D+01	-6.9551D+01
25.00	2.4496D+01	-4.6992D+01	-1.9830D+02		
5	1	0.00	2.4496D+01	4.6992D+01	-1.9830D+02
		3.13	2.4496D+01	3.5407D+01	-6.9551D+01
		6.25	2.4496D+01	2.3823D+01	2.2997D+01
		9.38	2.4496D+01	1.2239D+01	7.9343D+01
		12.50	2.4496D+01	6.5435D-01	9.9489D+01
		15.63	2.4496D+01	-1.0930D+01	8.3433D+01
		18.75	2.4496D+01	-2.2514D+01	3.1176D+01
		21.88	2.4496D+01	-3.4099D+01	-5.7282D+01
25.00	2.4496D+01	-4.5683D+01	-1.8194D+02		

```

*****
*                               *
*   COMBINATION                 *
*                               *
*****

```

```

PRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 0/0/1

```

MEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	9.6348D+01	1.8128D+02	-7.2201D+02
		3.13	9.6348D+01	1.3531D+02	-2.2733D+02
		6.25	9.6348D+01	8.9345D+01	1.2370D+02
		9.38	9.6348D+01	4.3377D+01	3.3108D+02
		12.50	9.6348D+01	-2.5921D+00	3.9481D+02
		15.63	9.6348D+01	-4.8561D+01	3.1488D+02
		18.75	9.6348D+01	-9.4530D+01	9.1303D+01
		21.88	9.6348D+01	-1.4050D+02	-2.7593D+02
25.00	9.6348D+01	-1.8647D+02	-7.8681D+02		
5	1	0.00	9.6348D+01	1.8647D+02	-7.8681D+02
		3.13	9.6348D+01	1.4050D+02	-2.7593D+02
		6.25	9.6348D+01	9.4530D+01	9.1303D+01
		9.38	9.6348D+01	4.8561D+01	3.1488D+02
		12.50	9.6348D+01	2.5921D+00	3.9481D+02
		15.63	9.6348D+01	-4.3377D+01	3.3108D+02
		18.75	9.6348D+01	-8.9345D+01	1.2370D+02
		21.88	9.6348D+01	-1.3531D+02	-2.2733D+02
25.00	9.6348D+01	-1.8128D+02	-7.2201D+02		

=====

MICROFEAP-P1

DATE: 02-15-1997

<DATA> P.2

PROJECT : TUGAS AKHIR

FILENAME: bfak-II

INSTITUTION: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

ENGINEER: Anang/huda

=====

ELEMENT DATA*

MEMBER	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

MATERIAL DATA*

MEMBER	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.684D-01	4.473D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

LOAD CASE #1 : beban mati

UNIFORM LOAD DATA*

MEMBER	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.911D+01
5	0.000D+00	-2.911D+01
9	0.000D+00	-2.911D+01
10	0.000D+00	-2.911D+01
14	0.000D+00	-2.911D+01
15	0.000D+00	-2.911D+01
19	0.000D+00	-2.646D+01
20	0.000D+00	-2.646D+01

LOAD CASE #2 : beban hidup

UNIFORM LOAD DATA*

MEMBER	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01
5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00

=====

MICROFEAP-P1

 PROJECT : TUGAS AKHIR

 AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

 =====

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

 FILENAME: bfak-II

 ENGINEER: Anang/huda

 =====

 *

 * **COMBINATION** *

 *

PRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 1.2/1.6

MEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	3.7549D+02	7.2054D+02	-2.8699D+03
		3.13	3.7549D+02	5.3784D+02	-9.0370D+02
		6.25	3.7549D+02	3.5514D+02	4.9158D+02
		9.38	3.7549D+02	1.7244D+02	1.3159D+03
		12.50	3.7549D+02	-1.0263D+01	1.5693D+03
		15.63	3.7549D+02	-1.9296D+02	1.2518D+03
		18.75	3.7549D+02	-3.7567D+02	3.6330D+02
		21.88	3.7549D+02	-5.5837D+02	-1.0961D+03
		25.00	3.7549D+02	-7.4107D+02	-3.1265D+03
5	1	0.00	3.7549D+02	7.4107D+02	-3.1265D+03
		3.13	3.7549D+02	5.5837D+02	-1.0961D+03
		6.25	3.7549D+02	3.7567D+02	3.6330D+02
		9.38	3.7549D+02	1.9296D+02	1.2518D+03
		12.50	3.7549D+02	1.0263D+01	1.5693D+03
		15.63	3.7549D+02	-1.7244D+02	1.3159D+03
		18.75	3.7549D+02	-3.5514D+02	4.9158D+02
		21.88	3.7549D+02	-5.3784D+02	-9.0370D+02
		25.00	3.7549D+02	-7.2054D+02	-2.8699D+03

=====

MICROFEAP-P1

PROJECT : tugas akhir

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

=====

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.1

FILENAME: DISN-III

ENGINEER: anang/huda

=====

* * *

* **STRUCTURE DATA** *

* * *

<COORDINATE DATA (m)**			**BOUNDARY DATA**		
NODE	1-COOR	2-COOR	1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	L
2	25.00	0.00	L	L	L
3	50.00	0.00	L	L	L
4	0.00	5.50			
5	25.00	5.50			
6	50.00	5.50			
7	0.00	9.50			
8	25.00	9.50			
9	50.00	9.50			
10	0.00	13.50			
11	25.00	13.50			
12	50.00	13.50			
13	0.00	17.50			
14	25.00	17.50			
15	50.00	17.50			

<ELEMENT DATA**				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	4		2
2	2	5		2
3	3	6		2
4	4	5		1
5	5	6		1
6	4	7		2
7	5	8		2
8	6	9		2
9	7	8		1
10	8	9		1
11	7	10		2
12	8	11		2
13	9	12		2
14	10	11		1
15	11	12		1
16	10	13		2
17	11	14		2
18	12	15		2

MICROFEAP-P1

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.2

PROJECT : tugas akhir

FILENAME: DISN-III

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

ENGINEER: anang/huda

ELEMENT DATA*

LEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

MATERIAL DATA*

ATE	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.394D-01	5.045D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

OAD CASE #1 : beban mati

UNIFORM LOAD DATA*

LEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.889D+01
5	0.000D+00	-2.889D+01
9	0.000D+00	-2.889D+01
10	0.000D+00	-2.889D+01
14	0.000D+00	-2.889D+01
15	0.000D+00	-2.889D+01
19	0.000D+00	-2.624D+01
20	0.000D+00	-2.624D+01

OAD CASE #2 : spesi tegel dan plafon

UNIFORM LOAD DATA*

LEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-3.707D+00
5	0.000D+00	-3.707D+00
9	0.000D+00	-3.707D+00
10	0.000D+00	-3.707D+00
14	0.000D+00	-3.707D+00
15	0.000D+00	-3.707D+00
19	0.000D+00	-1.059D+00
20	0.000D+00	-1.059D+00

OAD CASE #3 : beban hidup

UNIFORM LOAD DATA*

LEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01

MICROFEAP-P1
PROJECT : tugas akhir
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.3
FILENAME: DISN-III
ENGINEER: anang/huda

LOAD CASE #3 : beban hidup
UNIFORM LOAD DATA

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00

```

=====
MICROFEAP--P1                DATE: 09-15-1997                <COMB> P.1
PROJECT : tugas akhir        FILENAME: DISN-III
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   COMBINATION                 *
*                               *
*****

```

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1/0/0

ELEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	1.7938D+02	3.5550D+02	-1.4084D+03
		3.13	1.7938D+02	2.6522D+02	-4.3852D+02
		6.25	1.7938D+02	1.7493D+02	2.4921D+02
		9.38	1.7938D+02	8.4647D+01	6.5480D+02
		12.50	1.7938D+02	-5.6373D+00	7.7826D+02
		15.63	1.7938D+02	-9.5922D+01	6.1957D+02
		18.75	1.7938D+02	-1.8621D+02	1.7874D+02
		21.88	1.7938D+02	-2.7649D+02	-5.4422D+02
25.00	1.7938D+02	-3.6677D+02	-1.5493D+03		
5	1	0.00	1.7938D+02	3.6677D+02	-1.5493D+03
		3.13	1.7938D+02	2.7649D+02	-5.4422D+02
		6.25	1.7938D+02	1.8621D+02	1.7874D+02
		9.38	1.7938D+02	9.5922D+01	6.1957D+02
		12.50	1.7938D+02	5.6373D+00	7.7826D+02
		15.63	1.7938D+02	-8.4647D+01	6.5480D+02
		18.75	1.7938D+02	-1.7493D+02	2.4921D+02
		21.88	1.7938D+02	-2.6522D+02	-4.3852D+02
25.00	1.7938D+02	-3.5550D+02	-1.4084D+03		

=====

MICROFEAP-P1

PROJECT : tugas akhir

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

=====

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

FILENAME: DISN-III

ENGINEER: anang/huda

=====

* COMBINATION *

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 0/1/0

ELEM	MA HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	2.3953D+01	4.5607D+01	-1.8064D+02
		3.13	2.3953D+01	3.4022D+01	-5.6218D+01
		6.25	2.3953D+01	2.2438D+01	3.2002D+01
		9.38	2.3953D+01	1.0854D+01	8.4020D+01
		12.50	2.3953D+01	-7.3075D-01	9.9837D+01
		15.63	2.3953D+01	-1.2315D+01	7.9453D+01
		18.75	2.3953D+01	-2.3899D+01	2.2867D+01
		21.88	2.3953D+01	-3.5484D+01	-6.9919D+01
25.00	2.3953D+01	-4.7068D+01	-1.9891D+02		
5	1	0.00	2.3953D+01	4.7068D+01	-1.9891D+02
		3.13	2.3953D+01	3.5484D+01	-6.9919D+01
		6.25	2.3953D+01	2.3900D+01	2.2867D+01
		9.38	2.3953D+01	1.2315D+01	7.9453D+01
		12.50	2.3953D+01	7.3075D-01	9.9837D+01
		15.63	2.3953D+01	-1.0854D+01	8.4020D+01
		18.75	2.3953D+01	-2.2438D+01	3.2002D+01
		21.88	2.3953D+01	-3.4022D+01	-5.6218D+01
25.00	2.3953D+01	-4.5607D+01	-1.8064D+02		

=====

MICROFEAP-P1

PROJECT : tugas akhir

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

=====

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

FILENAME: DISN-III

ENGINEER: anang/huda

=====

* COMBINATION *

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 0/0/1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	9.4249D+01	1.8098D+02	-7.1686D+02	
		3.13	9.4249D+01	1.3501D+02	-2.2312D+02	
		6.25	9.4249D+01	8.9044D+01	1.2697D+02	
		9.38	9.4249D+01	4.3075D+01	3.3340D+02	
		12.50	9.4249D+01	-2.8934D+00	3.9619D+02	
		15.63	9.4249D+01	-4.8862D+01	3.1532D+02	
		18.75	9.4249D+01	-9.4831D+01	9.0799D+01	
		21.88	9.4249D+01	-1.4080D+02	-2.7737D+02	
		25.00	9.4249D+01	-1.8677D+02	-7.8920D+02	
5	1	0.00	9.4249D+01	1.8677D+02	-7.8920D+02	
		3.13	9.4249D+01	1.4080D+02	-2.7737D+02	
		6.25	9.4249D+01	9.4831D+01	9.0799D+01	
		9.38	9.4249D+01	4.6862D+01	3.1532D+02	
		12.50	9.4249D+01	2.8934D+00	3.9619D+02	
		15.63	9.4249D+01	-4.3075D+01	3.3340D+02	
		18.75	9.4249D+01	-8.9044D+01	1.2697D+02	
		21.88	9.4249D+01	-1.3501D+02	-2.2312D+02	
		25.00	9.4249D+01	-1.8098D+02	-7.1686D+02	

```

=====
MICROFEAP-P1                DATE: 09-15-1997                <DATA> P.1
PROJECT : TUGAS AKHIR                FILENAME: BFAK-III
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986                ENGINEER: Anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   STRUCTURE DATA   *
*                               *
*****

```

COORDINATE DATA (m)			**BOUNDARY DATA**		
NODE	1-COOR	2-COOR	1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	L
2	25.00	0.00	L	L	L
3	50.00	0.00	L	L	L
4	0.00	5.50			
5	25.00	5.50			
6	50.00	5.50			
7	0.00	9.50			
8	25.00	9.50			
9	50.00	9.50			
10	0.00	13.50			
11	25.00	13.50			
12	50.00	13.50			
13	0.00	17.50			
14	25.00	17.50			
15	50.00	17.50			

ELEMENT DATA				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	4		2
2	2	5		2
3	3	6		2
4	4	5		1
5	5	6		1
6	4	7		2
7	5	8		2
8	6	9		2
9	7	8		1
10	8	9		1
11	7	10		2
12	8	11		2
13	9	12		2
14	10	11		1
15	11	12		1
16	10	13		2
17	11	14		2
18	12	15		2

=====

MICROFEAP--P1

PROJECT : TUGAS AKHIR

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

=====

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.2

FILENAME: BFAK-III

ENGINEER: Anang/huda

=====

****ELEMENT DATA****

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

****MATERIAL DATA****

MATE	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.394D-01	5.045D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

LOAD CASE #1 : beban mati

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.889D+01
5	0.000D+00	-2.889D+01
9	0.000D+00	-2.889D+01
10	0.000D+00	-2.889D+01
14	0.000D+00	-2.889D+01
15	0.000D+00	-2.889D+01
19	0.000D+00	-2.624D+01
20	0.000D+00	2.624D+01

LOAD CASE #2 : beban hidup

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01
5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00


```

=====
MICROFEAP--P1                DATE: 09-15-1997                <COMB> P.1
PROJECT : TUGAS AKHIR                FILENAME: BFAK-III
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986        ENGINEER: Anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   COMBINATION                 *
*                               *
*****

```

```

PRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1.2/1.6

```

MEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	3.6606D+02	7.1617D+02	-2.8370D+03
		3.13	3.6606D+02	5.3428D+02	-8.8322D+02
		6.25	3.6606D+02	3.5239D+02	5.0220D+02
		9.38	3.6606D+02	1.7050D+02	1.3192D+03
		12.50	3.6606D+02	-1.1394D+01	1.5678D+03
		15.63	3.6606D+02	-1.9329D+02	1.2480D+03
		18.75	3.6606D+02	-3.7518D+02	3.5977D+02
		21.88	3.6606D+02	-5.5707D+02	-1.0969D+03
25.00	3.6606D+02	-7.3896D+02	-3.1219D+03		
5	1	0.00	3.6606D+02	7.3896D+02	-3.1219D+03
		3.13	3.6606D+02	5.5707D+02	-1.0969D+03
		6.25	3.6606D+02	3.7518D+02	3.5977D+02
		9.38	3.6606D+02	1.9329D+02	1.2480D+03
		12.50	3.6606D+02	1.1394D+01	1.5678D+03
		15.63	3.6606D+02	-1.7050D+02	1.3192D+03
		18.75	3.6606D+02	-3.5239D+02	5.0220D+02
		21.88	3.6606D+02	-5.3428D+02	-8.8322D+02
25.00	3.6606D+02	-7.1617D+02	-2.8370D+03		

```

=====
MICROFEAP-P1                DATE: 09-15-1997                <DATA> P.1
PROJECT : tugas akhir        FILENAME: DISN-IV
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   STRUCTURE DATA           *
*                               *
*****

```

*COORDINATE DATA (m)**			**BOUNDARY DATA**		
NODE	1-COOR	2-COOR	1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	L
2	25.00	0.00	L	L	L
3	50.00	0.00	L	L	L
4	0.00	5.50			
5	25.00	5.50			
6	50.00	5.50			
7	0.00	9.50			
8	25.00	9.50			
9	50.00	9.50			
10	0.00	13.50			
11	25.00	13.50			
12	50.00	13.50			
13	0.00	17.50			
14	25.00	17.50			
15	50.00	17.50			

*ELEMENT DATA**				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	4		2
2	2	5		2
3	3	6		2
4	4	5		1
5	5	6		1
6	4	7		2
7	5	8		2
8	6	9		2
9	7	8		1
10	8	9		1
11	7	10		2
12	8	11		2
13	9	12		2
14	10	11		1
15	11	12		1
16	10	13		2
17	11	14		2
18	12	15		2

=====

MICROFEAP-P1

PROJECT : tugas akhir

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.2

FILENAME: DISN-IV

ENGINEER: anang/huda

=====

****ELEMENT DATA****

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

****MATERIAL DATA****

MATE	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.180D-01	5.801D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

LOAD CASE #1 : beban mati

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.843D+01
5	0.000D+00	-2.843D+01
9	0.000D+00	-2.843D+01
10	0.000D+00	-2.843D+01
14	0.000D+00	-2.843D+01
15	0.000D+00	-2.843D+01
19	0.000D+00	-2.578D+01
20	0.000D+00	-2.578D+01

LOAD CASE #2 : speci tegel dan plafon

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-3.707D+00
5	0.000D+00	-3.707D+00
9	0.000D+00	-3.707D+00
10	0.000D+00	-3.707D+00
14	0.000D+00	-3.707D+00
15	0.000D+00	-3.707D+00
19	0.000D+00	-1.059D+00
20	0.000D+00	-1.059D+00

LOAD CASE #3 : beban hidup

****UNIFORM LOAD DATA****

ELEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01

=====

MICROFEAP-P1

DATE: 09-15-1997

<DATA> P.3

PROJECT : tugas akhir

FILENAME: DISN-IV

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

ENGINEER: anang/huda

=====

LOAD CASE #3 : beban hidup

*UNIFORM LOAD DATA**

ELEM 1-UNIFORM 2-UNIFORM
 (kN/m) (kN/m)

5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00

```

*****
*                               *
*   COMBINATION                 *
*                               *
*****

```

```

PRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1/0/0

```

LEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	1.7340D+02	3.4915D+02	-1.3735D+03
		3.13	1.7340D+02	2.6029D+02	-4.2122D+02
		6.25	1.7340D+02	1.7143D+02	2.5334D+02
		9.38	1.7340D+02	8.2572D+01	6.5022D+02
		12.50	1.7340D+02	-6.2870E+00	7.6942D+02
		15.63	1.7340D+02	-9.5146D+01	6.1093D+02
		18.75	1.7340D+02	-1.8401D+02	1.7476D+02
		21.88	1.7340D+02	-2.7287D+02	-5.3910D+02
25.00	1.7340D+02	-3.6172D+02	-1.5307D+03		
5	1	0.00	1.7340D+02	3.6172D+02	-1.5307D+03
		3.13	1.7340D+02	2.7287D+02	-5.3910D+02
		6.25	1.7340D+02	1.8401D+02	1.7476D+02
		9.38	1.7340D+02	9.5146D+01	6.1093D+02
		12.50	1.7340D+02	6.2870D+00	7.6942D+02
		15.63	1.7340D+02	-8.2572D+01	6.5022D+02
		18.75	1.7340D+02	-1.7143D+02	2.5334D+02
		21.88	1.7340D+02	-2.6029D+02	-4.2122D+02
25.00	1.7340D+02	-3.4915D+02	-1.3735D+03		

=====

MICROFEAP-P1

PROJECT : tugas akhir

AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

FILENAME: DISN-IV

ENGINEER: anang/huda

=====

* COMBINATION *

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 0/1/0

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1		0.00	2.3458D+01	4.5508D+01	-1.7895D+02
			3.13	2.3458D+01	3.3923D+01	-5.4836D+01
			6.25	2.3458D+01	2.2339D+01	3.3074D+01
			9.38	2.3458D+01	1.0755D+01	8.4782D+01
			12.50	2.3458D+01	-8.2984D-01	1.0029D+02
			15.63	2.3458D+01	-1.2414D+01	7.9596D+01
			18.75	2.3458D+01	-2.3999D+01	2.2701D+01
			21.88	2.3458D+01	-3.5583D+01	-7.0395D+01
	25.00	2.3458D+01	-4.7167D+01	-1.9969D+02		
5	1		0.00	2.3458D+01	4.7167D+01	-1.9969D+02
			3.13	2.3458D+01	3.5583D+01	-7.0395D+01
			6.25	2.3458D+01	2.3999D+01	2.2701D+01
			9.38	2.3458D+01	1.2414D+01	7.9596D+01
			12.50	2.3458D+01	8.2984D-01	1.0029D+02
			15.63	2.3458D+01	-1.0755D+01	8.4782D+01
			18.75	2.3458D+01	-2.2339D+01	3.3074D+01
			21.88	2.3458D+01	-3.3923D+01	-5.4836D+01
	25.00	2.3458D+01	-4.5508D+01	-1.7895D+02		

=====

MICROFEAP-P1

 PROJECT : tugas akhir

 AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986

 =====

DATE: 09-15-1997

<COMB> P.1

 FILENAME: DISN-IV

 ENGINEER: anang/huda

 =====

 *

 * **COMBINATION** *

 *

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

 LOAD FACTOR : 0/0/1

LEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	9.2357D+01	1.8059D+02	-7.1010D+02
		3.13	9.2357D+01	1.3462D+02	-2.1766D+02
		6.25	9.2357D+01	8.8653D+01	1.3120D+02
		9.38	9.2357D+01	4.2685D+01	3.3642D+02
		12.50	9.2357D+01	-3.2842D+00	3.9798D+02
		15.63	9.2357D+01	-4.9253D+01	3.1589D+02
		18.75	9.2357D+01	-9.5222D+01	9.0151D+01
		21.88	9.2357D+01	-1.4119D+02	-2.7924D+02
25.00	9.2357D+01	-1.8716D+02	-7.9229D+02		
5	1	0.00	9.2357D+01	1.8716D+02	-7.9229D+02
		3.13	9.2357D+01	1.4119D+02	-2.7924D+02
		6.25	9.2357D+01	9.5222D+01	9.0151D+01
		9.38	9.2357D+01	4.9253D+01	3.1589D+02
		12.50	9.2357D+01	3.2842D+00	3.9798D+02
		15.63	9.2357D+01	-4.2685D+01	3.3642D+02
		18.75	9.2357D+01	-8.8653D+01	1.3120D+02
		21.88	9.2357D+01	-1.3462D+02	-2.1766D+02
25.00	9.2357D+01	-1.8059D+02	-7.1018D+02		

```

=====
MICROFEAP-P1                DATE: 09-15-1997                <DATA> P.1
PROJECT : tugas akhir        FILENAME: BFAK-IV
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: anang/huda
=====

```

```

*****
*                               *
*   STRUCTURE DATA   *
*                               *
*****

```

<COORDINATE DATA (m)**			**BOUNDARY DATA**		
NODE	1-COOR	2-COOR	1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	L
2	25.00	0.00	L	L	L
3	50.00	0.00	L	L	L
4	0.00	5.50			
5	25.00	5.50			
6	50.00	5.50			
7	0.00	9.50			
8	25.00	9.50			
9	50.00	9.50			
10	0.00	13.50			
11	25.00	13.50			
12	50.00	13.50			
13	0.00	17.50			
14	25.00	17.50			
15	50.00	17.50			

*ELEMENT DATA**				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	4		2
2	2	5		2
3	3	6		2
4	4	5		1
5	5	6		1
6	4	7		2
7	5	8		2
8	6	9		2
9	7	8		1
10	8	9		1
11	7	10		2
12	8	11		2
13	9	12		2
14	10	11		1
15	11	12		1
16	10	13		2
17	11	14		2
18	12	15		2


```

=====
MICROFEAP-P1                DATE: 09-15-1997                <DATA> P.2
PROJECT : tugas akhir        FILENAME: BFAK-IV
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986    ENGINEER: anang/huda
=====

```

ELEMENT DATA**

MEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
19	13	14		1
20	14	15		1

MATERIAL DATA**

MEM	E-MODULUS (kN/m ²)	AXIAL-AREA (m ²)	INERTIA (m ⁴)
1	3.153D+07	4.188D-01	5.801D-02
2	3.153D+07	5.500D-01	5.546D-02

LOAD CASE #1 : beban mati

UNIFORM LOAD DATA**

MEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-2.843D+01
5	0.000D+00	-2.843D+01
9	0.000D+00	-2.843D+01
10	0.000D+00	-2.843D+01
14	0.000D+00	-2.843D+01
15	0.000D+00	-2.843D+01
19	0.000D+00	-2.578D+01
20	0.000D+00	-2.578D+01

LOAD CASE #2 : beban hidup

UNIFORM LOAD DATA**

MEM	1-UNIFORM (kN/m)	2-UNIFORM (kN/m)
4	0.000D+00	-1.471D+01
5	0.000D+00	-1.471D+01
9	0.000D+00	-1.471D+01
10	0.000D+00	-1.471D+01
14	0.000D+00	-1.471D+01
15	0.000D+00	-1.471D+01
19	0.000D+00	-6.171D+00
20	0.000D+00	-6.171D+00

```

=====
MICROFEAP-P1          DATE: 09-15-1997          <COMB> P.1
OBJECT : tugas akhir          FILENAME: BFAK-IV
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986          ENGINEER: anang/huda
=====

```

```

*****
*
* COMBINATION *
*
*****

```

RESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1.2/1.6

EM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (kN)	SHEAR (kN)	MOMENT (kN-m)
4	1	0.00	3.5604D+02	7.0793D+02	-2.7845D+03
		3.13	3.5604D+02	5.2774D+02	-8.5372D+02
		6.25	3.5604D+02	3.4756D+02	5.1395D+02
		9.38	3.5604D+02	1.6738D+02	1.3185D+03
		12.50	3.5604D+02	-1.2800D+01	1.5601D+03
		15.63	3.5604D+02	-1.9298D+02	1.2385D+03
		18.75	3.5604D+02	-3.7316D+02	3.5395D+02
		21.88	3.5604D+02	-5.5334D+02	-1.0937D+03
25.00	3.5604D+02	-7.3352D+02	-3.1045D+03		
5	1	0.00	3.5604D+02	7.3352D+02	-3.1045D+03
		3.13	3.5604D+02	5.5334D+02	-1.0937D+03
		6.25	3.5604D+02	3.7316D+02	3.5395D+02
		9.38	3.5604D+02	1.9298D+02	1.2385D+03
		12.50	3.5604D+02	1.2800D+01	1.5601D+03
		15.63	3.5604D+02	-1.6738D+02	1.3185D+03
		18.75	3.5604D+02	-3.4756D+02	5.1395D+02
		21.88	3.5604D+02	-5.2774D+02	-8.5372D+02
25.00	3.5604D+02	-7.0793D+02	-2.7845D+03		

1. Disain Balok Prategang Penuh Sistem pasca Tarik Dengan *Grouting* Pada Balok Lantai II Gedung Toserba dengan Tinggi Tampang balok (h) = 1000 mm

1). Perencanaan dimensi tampang.

$$S = 119558107,9$$

$$\text{Diambil } \frac{b_w}{b} = 0,3 \text{ dan } h_f = 0,2 h$$

$$h_f = 0,2 h$$

$$120 = 0,2 h$$

$$h = 600 \text{ mm.}$$

$$h \text{ diambil} = 1000 \text{ mm.}$$

dari grafik E.G. Nawy, *prestressed concrete*, hal.116, 1995

diperoleh;

$$\frac{S}{b \cdot h^2} = 0,123$$

$$b = \frac{119558107,9}{0,123 (1000)^2}$$

$$b = 972,017 \text{ mm.}$$

sebagai dimensi praktis diambil $b = 970 \text{ mm}$

maka;

$$b_w = 0,3 b$$

$$= 0,3 \cdot 1000$$

$$= 360 \text{ mm.}$$

$$b_w \text{ diambil} = 400 \text{ mm.}$$

Data tampang balok;

$$b_f = 970 \text{ mm.}$$

$$h_f = 120 \text{ mm.}$$

$$b_w = 400 \text{ mm.}$$

$$h = 1000 \text{ mm.}$$

$$A_f = 116400 \text{ mm}^2.$$

$$A_w = 352000 \text{ mm}^2.$$

$$A_c = 468400 \text{ mm}^2.$$

$$C^t = \frac{A_f (0,5 \cdot h_f) + A_w (0,5 \cdot h_w + h_f)}{A_c}$$

$$C^t = \frac{116400 (0,5 \cdot 120) + 352000 (0,5 \cdot 880 + 120)}{468400}$$

$$= 435,747 \text{ mm.}$$

$$C_b = h - C^t$$

$$= 1000 - 435,747$$

$$= 564,253 \text{ mm.}$$

$$I = \frac{1}{12} b_f \cdot h_f^3 + A_f (C^t - 0,5 \cdot h_f)^2 + \frac{1}{12} b_w \cdot h_w^3 + A_w (C_b - 0,5 \cdot h_w)^2.$$

$$= \frac{1}{12} 1000 \cdot (120)^3 + 116400 (435,747 - 0,5 \cdot 120)^2 + \frac{1}{12} 400 \cdot$$

$$(880)^3 + 352000 (564,253 - 0,5 \cdot 880)^2$$

$$= 4,473 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4.$$

2). Beban-beban yang bekerja pada tampang disain.

$$W_D = 29,107 \text{ kN/m.}$$

$$W_L = 26,457 \text{ kN/m.}$$

3). Momen akibat pembebanan (dari *microfeap*).

$$M_D \text{ (tumpuan ujung)} = - 1,4289 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = + 7,8136 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tumpuan tengah)} = - 1,5563 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

$$M_{\text{speci, tegel dan plafon}} \text{ (tumpuan ujung)} = - 1,8194 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = + 9,9489 \cdot 10^1 \text{ kN-m.}$$

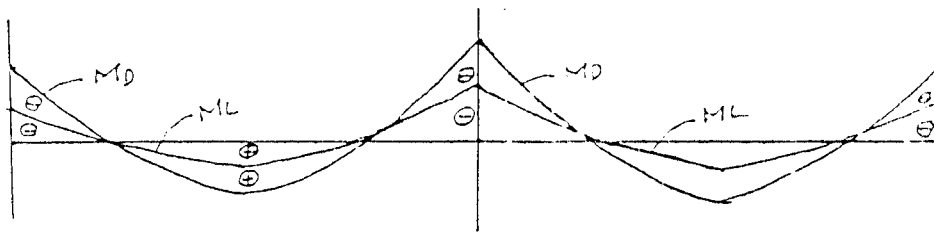
$$\text{(tumpuan tengah)} = - 1,9830 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$M_L \text{ (tumpuan ujung)} = - 7,2201 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = + 3,9481 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tumpuan tengah)} = - 7,8681 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

4). Menghitung besar gaya prategang



Gambar 1.1 Momen akibat pembebanan.

Dari momen yang terjadi akibat pembebanan, gaya prategang dicoba hanya untuk mengimbangi beban mati. Penutup beton pada tumpuan tengah diambil 135 mm.

$$\begin{aligned}
 P_e \cdot e &= M_{\max} \\
 &= \frac{1556,3 \cdot 10^3}{300,747} \\
 &= 5174,781 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= \frac{P_e}{0,8} \\
 &= \frac{5174,781}{0,8} \\
 &= 6468,747 \text{ kN-m.}
 \end{aligned}$$

Dari tabel VSL dipilih profil 31 S_c

$$P_i = 5700 \text{ kN.}$$

$$P_e = 4560 \text{ kN.}$$

$$\text{Diameter selongsong} = 105 \text{ mm.}$$

$$\text{Luas selongsong} = 8659,015 \text{ mm}^2$$

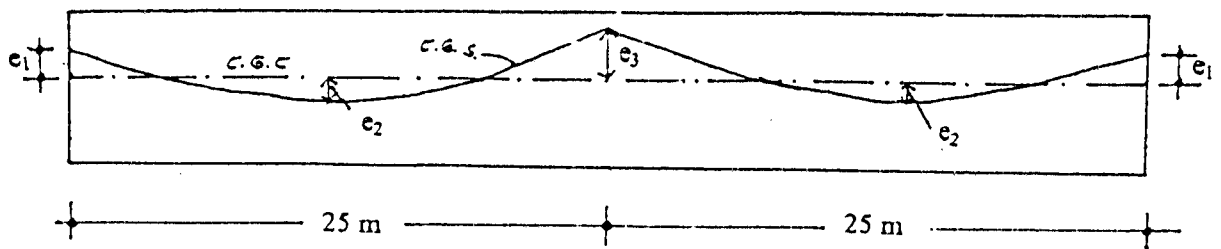
5). Menghitung luas baja prategang.

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= 0,74 f_{py} \\
 &= 0,74 \cdot 1581 \\
 &= 1169,94 \text{ MPa.} \\
 &= 0,82 f_{py} \\
 &= 0,82 \cdot 1581 \\
 &= 1296,42 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

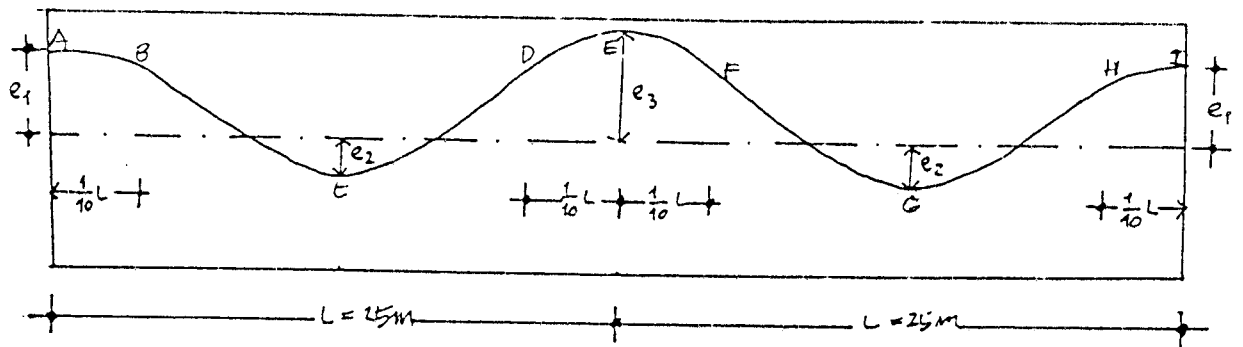
$$f_{ps} \text{ diambil yang terkecil} = 1169,94 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= \frac{P_1}{f_{ps}} \\
 &= \frac{5700 \cdot 10^3}{1169,94} \\
 &= 4872,045 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

6). Rencana letak tendon.



Gambar 1.2 Tata letak tendon ideal.



Gambar 1.3 Tata letak tendon dengan kurva parabolik.

Eksentrisitas tendon pada tumpuan tengah terhadap c.g.c (e_3) =

0,301 m.

Eksentrisitas tendon pada tumpuan ujung terhadap c.g.c

$$e_T = \frac{M_{\text{tumpuan jung}}}{\left(M_{\text{tumpuan tengah}} / e_3 \right)}$$

$$= \frac{1428,9}{(1556,3 / 0,301)}$$

$$= 0,276 \text{ m.}$$

Eksentrisitas tendon pada tengah bentang;

$$e_{\text{maks}} = \frac{W_D \cdot L^2}{P_e \cdot 8}$$

$$= \frac{29,107 \cdot 25^2}{4560 \cdot 8}$$

$$= 0,499 \text{ m.}$$

$$e_{T2} = e_{\text{maks}} - \left[\frac{(e_{T3} - e_{T1})}{2} + e_{T1} \right]$$

$$= 0,499 - \left[\frac{(0,301 - 0,276)}{2} + 0,276 \right]$$

$$= 0,210 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tumpuan ujung} &= C^t - e_{T1} \\ &= 435,747 - 276,36 \\ &= 159,387 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tengah bentang} &= C_b - e_{T2} \\ &= 564,253 - 210 \\ &= 354,253 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tumpuan tengah} &= C^t - e_{T3} \\ &= 435,747 - 300,747 \\ &= 135 \text{ mm.} \end{aligned}$$

- 7). Tabel 1.1 Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat awal dengan tampang netto.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	970	970	970
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	400	400	400
d' (mm)	159,387	354,253	135,000
h (mm)	1000	1000	1000
h_w (mm)	880	880	880
h' (mm)	841	646	865
A_f (mm ²)	116400	116400	116400
A_w (mm ²)	352000	352000	352000
A_c (mm ²)	468400	468400	468400
A_s (mm ²)	8659,015	8659,015	8659,015
A_{netto} (mm ²)	459740,985	459740,985	459740,985
C^t (mm)	440,952	437,282	441,412
C_b (mm)	559,048	562,718	558,588
ER (mm)	281,565	204,795	306,412
I_{netto} (mm ⁴)	44050113869	44361838873	43925952294
S^t (mm ³)	99897674,515	101449008,900	99512441,389
S_b (mm ³)	78794917,572	78834956,864	78637431,942

- 8). Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c setelah tampang diberi selongsong tendon.

a). Pada tumpuan ujung = 281,565 mm.

b). Pada tengah bentang = 204,795 mm.

c). Pada tumpuan tengah = 306,412 mm.

- 9). Gaya imbang pada saat awal.

$P_i = 5700$ kN.

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang

$$e_{tmaks} = e_{T2} + \left[\frac{(e_{T3} - e_{T1})}{2} + e_{T1} \right]$$

$$= 204,795 + \left[\frac{(306,412 - 281,565)}{2} + 281,565 \right]$$

$$= 498,784 \text{ mm.}$$

$$W_{imb.} = \frac{8 \cdot P_i \cdot e_{maks}}{L^2}$$

$$= \frac{8 \cdot 5700 \cdot 0,499}{25^2}$$

$$= 36,407 \text{ kN/m.}$$

10). Momen akibat gaya prategang.

$$\text{FEM} \longrightarrow M_{FAB} = - \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12}$$

$$= - \frac{36,407 \cdot 25^2}{12}$$

$$= - 1896,2 \text{ kN-m.}$$

$$M_{FBC} = + \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12}$$

$$= + \frac{36,407 \cdot 25^2}{12}$$

$$= + 1896,2 \text{ kN-m.}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$M_A = - (e_{T2} \cdot P_i)$$

$$= - (0,205 \cdot 5700)$$

$$= - 1168,5 \text{ kN-m}$$

$$M_B = + (e_{I2} \cdot P_i)$$

$$= + (0,205 \cdot 5700)$$

$$= + 1168,5 \text{ kN-m}$$

11). Tabel 1.2 Distribusi momen.

FEM	- 1896,2	+ 1896,2	- 1896,2	+ 1896,2
BALANCE	+ 1896,2			- 1896,2
OVERHANG	- 1168,5			- 1168,5
DISTRIBUSI		+ 363,85	- 363,85	
M_{AKIBAT PRATEGANG}	- 1168,5	+ 2260,05	- 2260,05	+ 1168,5

a). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan tengah.

$$e_{TC3} = \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang awal}}$$

$$= \frac{2260,05 \cdot 10^3}{5700}$$

$$= 396,5 \text{ mm.}$$

b). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan ujung

$$e_{TC1} = ER$$

$$= 281,565 \text{ mm.}$$

c). Garis tekan beton (*C-line*) pada tengah bentang

$$\begin{aligned}
 e_{TC2} &= e_{T2} - \left[\frac{e_{TC3} - e_{TC1}}{2} \right] \\
 &= 204,795 - \left[\frac{396,5 - 281,565}{2} \right] \\
 &= 147,328 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

12). Tabel 1.3 Kontrol tegangan pada saat awal dihitung dengan program MS -EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
M_D (N-mm)	-1428900000	781360000	-1556300000
$M_{\text{speci, tegel, plafon}}$ (N-mm)	-181940000	99489000	-198300000
M_L (N-m)	-722010000	394810000	-786810000
M_D saat awal (N-mm)	-1246960000	681871000	-1358000000
P_i (N)	5700000	5700000	5700000
e_{TC} (mm)	281,565	147,328	396,5
M_{netto} (N-mm)	357960500	157898600	902050000
A_{netto} (mm ²)	459740,985	459740,985	459740,985
S^t (mm ³)	99897674,52	101449008,9	99512441,39
S_b (mm ³)	78794917,57	78834956,86	78637431,94
f^t (MPa)	-15,982	-13,955	-21,463
f_b (MPa)	-8,815	-10,842	-3,334

Dari tabel 1.3.

a). Pada tumpuan ujung.

$$f^t = -15,982 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -8,815 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

b). Pada tengah bentang.

$$f^t = -13,955 \text{ Mpa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -10,842 \text{ MPa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

c). Pada tumpuan tengah.

$$f' = -21,463 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -3,334 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

13). Tabel 1.4 Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat akhir dengan tampang transformasi dihitung dengan prgram MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	970	970	970
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	400	400	400
d' (mm)	159,387	354,253	135,000
h (mm)	1000	1000	1000
h_w (mm)	880	880	380
h' (mm)	841	646	865
A_f (mm ²)	116400	116400	116400
A_w (mm ²)	352000	352000	352000
A_c (mm ²)	468400	468400	468400
n	6	6	6
A_{ps} (mm ²)	4872,045	4872,045	4872,045
A_c' (mm ²)	24360,225	24360,225	24360,225
A_t (mm ²)	492760,225	492760,225	492760,225
C^t (mm)	422,085	431,718	420,879
C_b (mm)	577,915	568,282	579,121
ER (mm)	262,698	223,662	285,879
I_t (mm ⁴)	46492436607,837	45950117029,645	46818331531,162
S^t (mm ³)	110149462,313	106435378,308	111239302,658
S_b (mm ³)	80448573,229	80858013,770	80843837,962

14). Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c tampang transformasi

a). Pada tumpuan ujung = 262,698 mm.

b). Pada tengah bewntang = 223,662 mm.

c). Pada tumpuan tengah = 285,879 mm.

15). Gaya imbang pada saat akhir

$$P_e = 4560 \text{ kN.}$$

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang

$$\begin{aligned} e_{\text{maks}} &= e_{S2+} \left[\frac{(e_{S3} - e_{S1})}{2} + e_{t1} \right] \\ &= 223,662 + \left[\frac{(285,879 - 262,698)}{2} + 262,698 \right] \\ &= 497,951 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{imb.}} &= \frac{8 \cdot P_e \cdot e_{\text{maks}}}{L^2} \\ &= \frac{8 \cdot 4560 \cdot 0,498}{25^2} \\ &= 29,067 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

16). Momen akibat gaya prategang

$$\begin{aligned} FEM \longrightarrow M_{FAB} &= - \frac{w_{\text{imb.}} \cdot L^2}{12} \\ &= - \frac{29,067 \cdot 25^2}{12} \\ &= - 1513,906 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{FBC} &= + \frac{w_{\text{imb.}} \cdot L^2}{12} \\ &= + \frac{29,067 \cdot 25^2}{12} \\ &= + 1153,906 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$\begin{aligned}
 M_A &= - (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= - (0,224 \cdot 4560) \\
 &= - 1021,44 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= + (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= + (0,224 \cdot 4560) \\
 &= + 1021,44 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

17). Tabel 1.5 Distribusi momen.

FEM	- 1513,906	+ 1513,906	- 1513,906	+ 1513,906
BALANCE	+ 1513,906			- 1513,906
OVERHANG	- 1021,44			+ 1021,44
DISTRIBUSI		+ 246,233	- 246,233	
M_{AKIBAT} PRATEGANG	- 1021,44	+ 1760,139	- 1760,139	+ 1021,44

18). Letak garis tekan beton (*C-line*) pada saat awal.

a). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan tengah

$$e_{sc3} = \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang efektif}}$$

$$= \frac{1780,139 \cdot 10^3}{4560}$$

$$= 385,995 \text{ mm.}$$

b). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan ujung

$$e_{sc1} = ER$$

$$= 262,698 \text{ mm.}$$

c). Garis tekan beton (*C-line*) pada tengah bentang

$$e_{sc2} = e_{s2} - \left[\frac{e_{s3} - e_{s1}}{2} \right]$$

$$= 223,662 - \left[\frac{385,879 - 285,995}{2} \right]$$

$$= 173,662 \text{ mm.}$$

19). Tabel 1.6 Kontrol tegangan pada saat akhir dihitung dengan program MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
M_D (N-mm)	-1428900000	781360000	-1556300000
M_L (N-mm)	-722010000	394810000	-786810000
M_T (N-mm)	-2150910000	1176170000	-2343110000
P_e (N)	4560000	4560000	4560000
e_{sc} (mm)	285,879	173,662	385,995
M_{netto} (N-mm)	-847301760	384271280	-582972800
A_t (mm ²)	492760,225	492760,225	492760,225
S^t (mm ³)	110149462,3	106435378,3	111239302,7
S_b (mm ³)	80448573,23	80858013,77	80843837,96
f^t (MPa)	-1,562	-12,864	-4,013
f_b (MPa)	-19,786	-4,502	-16,465

Dari tabel 1.6.

a). Pada tumpuan ujung.

$$f^t = - 1,562 \text{ Mpa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -19,786 \text{ MPa} < f_{cs} = -20,250 \text{ MPa}.$$

b). Pada tengah bentang.

$$f^t = -12,864 \text{ Mpa} < f_{cs} = -20,250 \text{ MPa}.$$

$$f_b = -4,504 \text{ MPa} < f_{ts} = +3,354 \text{ MPa}.$$

c). Pada tumpuan tengah.

$$f^t = -4,013 \text{ Mpa} < f_{ts} = +3,354 \text{ MPa}.$$

$$f_b = -16,465 \text{ MPa} > f_{cs} = -20,250 \text{ MPa}.$$

Perhitungan kapasitas momen.

$$f'_c = 45 \text{ MPa}.$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}.$$

$$f_{sc} = \frac{P_c}{A_{ps}}$$

$$= \frac{3976 \cdot 10^3}{4248,081}$$

$$= 935,952 \text{ MPa}.$$

perhitungan kapasitas momen metode pendekatan SK SNI T-15 -

1991 - 03 sebagai berikut ;

$$f'_c \geq 30 \text{ MPa}.$$

$$f_{pu} \geq 1700 \text{ MPa}$$

$$f_{sc} \geq 0,5 \cdot f_{pu}$$

$$\geq 0,5 \cdot 1860$$

≥ 930 MPa.

→ Persyaratan perhitungan dengan metode SK SNI T-15-1991-03 terpenuhi.

20). Faktor jenis baja prategang.

Jika ;

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,9. \longrightarrow \gamma_p = 0.28.$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0.40 .$$

$$\begin{aligned} \frac{f_{py}}{f_{pu}} &= \frac{1581}{1860} \\ &= 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0.40. \end{aligned}$$

21). Tabel 1.7 Hasil perhitungan momen nominal dihitung dengan program MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	970	970	970
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	400	400	400
h (mm)	1000	1000	1000
d' (mm)	159,387	354,235	135
h' (mm)	840,613	645,765	865
A_{ps} (mm ²)	4872,045	4872,045	4872,045
ρ_p	0,014	0,008	0,014
f'_c (MPa)	45	45	45
f_{pu} (MPa)	1860	1860	1860
γ_p	0,400	0,400	0,400
β_1	0,730	0,730	0,730

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
f_{ps} (MPa)	1249,612	1532,346	1266,821
ω_p	0,402	0,265	0,396
$0,36 \beta_1$	0,263	0,263	0,263
	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat
A_{pf} (mm ²)	–	1198,163	–
A_{pw} (mm ²)	–	3673,882	–
C^t (mm)	422,085	431,718	420,879
C_b (mm)	577,915	568,282	579,121
a (mm)	421,87795	316,952	422,75833
d (mm)	840,613	645,765	865,000
ϕ	0,800	0,800	0,800
M_n (N)	3833561147,398	4275808892,051	4034153925,563
ϕM_n (N)	3066848918	3420647114	3227323140

22). Momen akibat beban berfaktor (M_U) = 1,2 M_D + 1,6 M_L .

$$M_U \text{ (tump. ujung)} = -2837,000 \text{ kN-m} < \phi M_n = -3066,849 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(lapangan)} = +1567,800 \text{ kN-m} < \phi M_n = +3420,647 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tump. tengah)} = -3121,900 \text{ kN-m} < \phi M_n = -3227,323 \text{ kN-m.}$$

2. Disain Balok Prategang Penuh Sistem pasca Tarik Dengan *Grouting* Pada Balok Lantai II Gedung Toserba dengan Tinggi Tampang Balok (h) = 1200 mm.

1). Perencanaan dimensi penampang

$$\text{Diambil } \frac{b_w}{b} = 0,3 \text{ dan } h_f = 0,1 h$$

$$h_f = 0,1 h$$

$$120 = 0,1 h$$

$$h = 1200 \text{ mm.}$$

dari grafik E.G. Nawy, *prestressed concrete*, hal.116, 1995 diperoleh;

$$\frac{S}{b \cdot h^2} = 0,105$$

$$b = \frac{119558107,9}{0,105 \cdot (1200)^2}$$

$$b = 790,728 \text{ mm.}$$

sebagai dimensi praktis diambil $b = 790 \text{ mm}$

maka;

$$b_w = 0,3 b$$

$$= 0,3 \cdot 790$$

$$= 237 \text{ mm.}$$

b_w diambil = 300 mm.

Dataampang balok;

$$b_f = 790 \text{ mm.}$$

$$h_f = 120 \text{ mm.}$$

$$b_w = 300 \text{ mm.}$$

$$h = 1200 \text{ mm.}$$

$$A_f = 94800 \text{ mm}^2.$$

$$A_w = 324000 \text{ mm}^2.$$

$$A_c = 418800 \text{ mm}^2.$$

$$C^t = \frac{A_f (0,5 \cdot h_f) + A_w (0,5 \cdot h_w + h_f)}{A_c}$$

$$C^t = \frac{94800 (0,5 \cdot 120) + 324.000 (0,5 \cdot 1080 + 120)}{418800}$$

$$= 524,183 \text{ mm.}$$

$$C_b = h - C^t$$

$$= 1200 - 524,183$$

$$= 675,817 \text{ mm.}$$

$$= \frac{1}{12} b_f \cdot h_f^3 + A_f (C^t - 0,5 \cdot h_f)^2 + \frac{1}{12} b_w \cdot h_w^3 + A_w (C_b - 0,5 \cdot h_w)^2.$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 790 \cdot (120)^3 + 94800 (524,183 - 0,5 \cdot 120)^2 + \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot$$

$$(1080)^3 + 324000 (675,817 - 0,5 \cdot 1080)^2$$

$$= 5,801 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4.$$

2). Beban-beban yang bekerja pada tampang disain

$$W_D = 28,435 \text{ kN/m.}$$

$$W_L = 25,785 \text{ kN/m.}$$

3). Momen akibat pembebanan (dari *microfeap*)

$$M_D \text{ (tumpuan ujung)} = -1,374 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = +7,694 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tumpuan tengah)} = -1,504 \cdot 10^3 \text{ kN-m.}$$

$$M_{\text{speci, tegel dan plafon}} \text{ (tumpuan ujung)} = -1,790 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = +1,003 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

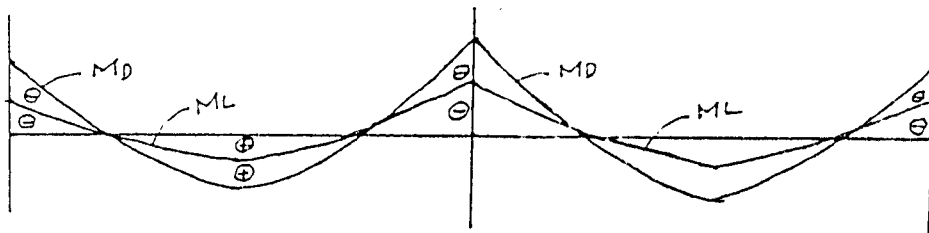
$$\text{(tumpuan tengah)} = -1,997 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$M_L \text{ (tumpuan ujung)} = -7,102 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tengah bentang)} = +3,979 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tumpuan tengah)} = -7,923 \cdot 10^2 \text{ kN-m.}$$

4). Menghitung besar gaya prategang



Gambar 2.1 Momen akibat pembebanan

Dari momen yang terjadi akibat pembebanan, gaya prategang dicoba hanya untuk mengimbangi beban mati. Penutup beton pada tumpuan tengah diambil 120 mm.

$$P_e \cdot e = M_{\text{max}}$$

$$= \frac{1503,7 \cdot 10^3}{404,183}$$

$$= 3720,344 \text{ kN.}$$

$$P_i = \frac{P_e}{0,8}$$

$$= \frac{3757,531}{0,8}$$

$$= 4650,431 \text{ kN-m.}$$

Dari tabel VSL dipilih profil 22 Sc

$$P_i = 4050 \text{ kN.}$$

$$P_e = 3240 \text{ kN.}$$

Diameter selongsong = 90 mm.

Luas selongsong = 6361,725 mm²

5). Menghitung luas baja prategang.

$$f_{ps} = 0,74 f_{py}$$

$$= 0,74 \cdot 1581$$

$$= 1169,94 \text{ MPa.}$$

$$= 0,82 f_{py}$$

$$= 0,82 \cdot 1581$$

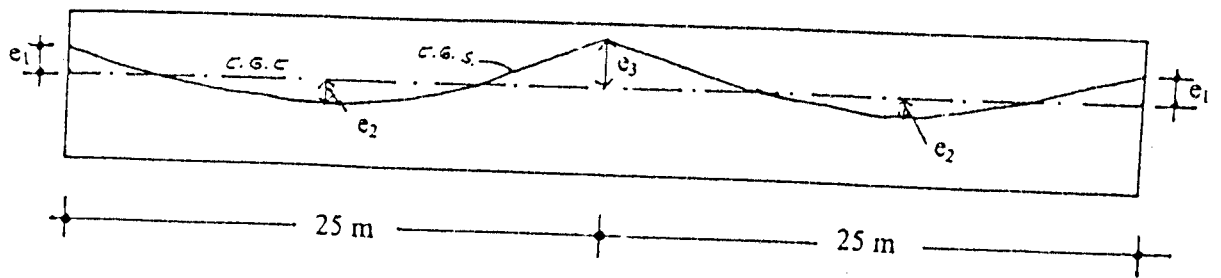
$$= 1296,42 \text{ MPa.}$$

f_{ps} diambil yang terkecil = 1169,94 MPa

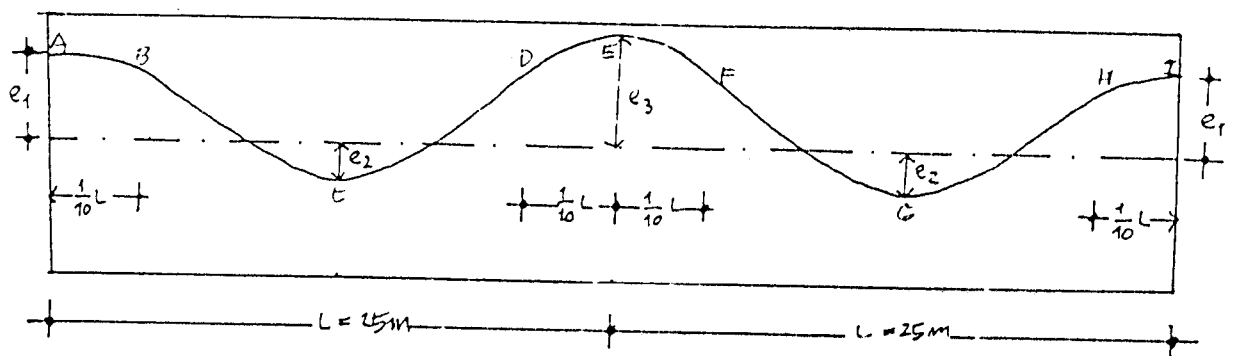
$$A_{ps} = \frac{P_i}{f_{ps}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4050 \cdot 10^3}{1169,94} \\
 &= 3461,716 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

6). Rencana letak tendon



Gambar 2.2 Tata letak tendon ideal



Gambar 2.3 Tata letak tendon dengan kurva parabolik

Eksentrisitas tendon pada tumpuan tengah terhadap c.g.c (e_3) =
404,183 m.

Eksentrisitas tendon pada tumpuan ujung terhadap c.g.c

$$\begin{aligned}
 e_1 &= \frac{M_{\text{tumpuan jung}}}{\left(M_{\text{tumpuan tengah}} / e_3 \right)} \\
 &= \frac{1373,5}{\left(1503,7 / 0,404 \right)}
 \end{aligned}$$

$$= 0,369 \text{ m.}$$

Eksentrisitas tendon pada tengah bentang

$$e_{\text{maks}} = \frac{W_D \cdot L^2}{P_c \cdot 8}$$
$$= \frac{28,435 \cdot 25^2}{3240 \cdot 8}$$

$$= 0,686 \text{ m.}$$

$$e_2 = e_{\text{maks}} - \left[\frac{(e_3 - e_1)}{2} + c_1 \right]$$
$$= 685,643 - \left[\frac{(404,183 - 369,186)}{2} + 369,186 \right]$$
$$= 298,959 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tumpuan ujung} &= C^t - e_1 \\ &= 524,183 - 369,186 \\ &= 154,997 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tengah bentang} &= C_b - e_2 \\ &= 675,817 - 298,959 \\ &= 376,858 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup beton pada tumpuan tengah} &= C^t - e_{T3} \\ &= 524,183 - 404,183 \\ &= 120 \text{ mm.} \end{aligned}$$

- 7). Tabel 2.1 Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat awal dengan tampang netto dihitung dengan MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	790	790	790
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	300	300	300
d' (mm)	154,997	376,858	120,000
h (mm)	1200	1200	1200
h_w (mm)	1080	1080	1080
h' (mm)	1.045	823	1.080
A_f (mm ²)	94800	94800	94800
A_w (mm ²)	324000	324000	324000
A_c (mm ²)	418800	418800	418800
A_s (mm ²)	8659,015	8659,015	8659,015
A_{netto} (mm ²)	410140,985	410140,985	410140,985
C^t (mm)	531,978	527,294	532,717
C_b (mm)	668,022	672,706	667,283
ER (mm)	376,981	291,164	412,717
I_{netto} (mm ⁴)	56804182267	57279280346	56564872734
S^t (mm ³)	106779244,427	108628785,329	106181919,022
S_b (mm ³)	85033368,758	85147537,951	84768891,616

- 8). Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c setelah tampang diberi selongsong tendon

- a). Pada tumpuan ujung = 376,981 mm.
 b). Pada tengah betantang = 291,164 mm.
 c). Pada tumpuan tengah = 412,717 mm.

- 9). Gaya imbang pada saat awal

$$P_i = 4050 \text{ kN.}$$

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang;

$$\begin{aligned}e_{\text{tmaks}} &= e_{T2} + \left[\frac{(e_{T3} - e_{T1})}{2} + e_{T1} \right] \\ &= 291,164 + \left[\frac{(412,717 - 376,981)}{2} + 376,981 \right] \\ &= 686,013 \text{ mm.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{\text{imb.}} &= \frac{8 \cdot P_i \cdot e_{\text{maks}}}{L^2} \\ &= \frac{8 \cdot 4050 \cdot 0,686}{25^2} \\ &= 35,563 \text{ kN/m.}\end{aligned}$$

10). Momen akibat gaya prategang

$$\begin{aligned}\text{FEM} \longrightarrow M_{\text{FAB}} &= - \frac{w_{\text{imb.}} \cdot L^2}{12} \\ &= - \frac{35,563 \cdot 25^2}{12} \\ &= - 1852,235 \text{ kN-m.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\text{FBC}} &= + \frac{w_{\text{imb.}} \cdot L^2}{12} \\ &= + \frac{35,563 \cdot 25^2}{12} \\ &= + 1852,235 \text{ kN-m.}\end{aligned}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$\begin{aligned}
 M_A &= - (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= - (0,291 \cdot 4050) \\
 &= - 1178,55 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= + (e_{T2} \cdot P_i) \\
 &= + (0,291 \cdot 4050) \\
 &= + 1178,55 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

11). Tabel 2.2 Distribusi momen

FEM	-1852,235	+1852,235	-1852,235	+1852,235
BALANCE	+1852,235			-1852,235
OVERHANG	-1178,55			+1178,55
DISTRIBUSI		+336,843	-336,843	
M_{AKIBAT PRATEGANG}	-1178,55	+2189,078	-2189,078	+1178,55

a). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan tengah

$$e_{TC3} = \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang awal}}$$

$$= \frac{2189,078 \cdot 10^3}{4050}$$

$$= 540,513 \text{ mm.}$$

b). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan ujung

$$e_{TC1} = ER$$

$$= 376,981 \text{ mm.}$$

c). Garis tekan beton (*C-line*) pada tengah bentang

$$e_{TC2} = e_{T2} - \left[\frac{e_{TC3} - e_{TC1}}{2} \right]$$

$$= 291,164 - \left[\frac{540,513 - 376,981}{2} \right]$$

$$= 209,398 \text{ mm.}$$

12). Tabel 2.3 Kontrol tegangan pada saat awal dihitung dengan program MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
M_D (N-mm)	-1373500000	769420000	-1503700000
$M_{\text{speci, tegel, plafon}}$ (N-mm)	-178950000	100290000	-199690000
M_L (N-m)	-710180000	397890000	-792290000
M_D saat awal (N-mm)	-1194550000	669130000	-1304010000
P_i (N)	4050000	4050000	4050000
e_{TC} (mm)	376,981	209,398	540,513
M_{netto} (N-mm)	332223050	178931900	885067650
A_{netto} (mm ²)	459740,985	459740,985	459740,985
S^t (mm ³)	106779244,4	108628785,3	106181919
S_b (mm ³)	85033368,76	85147537,96	84768891,62
f^t (MPa)	-11,921	-10,456	-17,145
f_b (MPa)	-5,698	-7,162	-0,474

Dari tabel 2.3.

a). Pada tumpuan ujung.

$$f^t = -27,089 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -15,933 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

b). Pada tengah bentang.

$$f^t = -21,434 \text{ Mpa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -21,589 \text{ MPa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

c). Pada tumpuan tengah.

$$f^t = -31,669 \text{ Mpa} < f_{ci} = -27 \text{ Mpa.}$$

$$f_b = -11,353 \text{ MPa} < f_{ti} = +3,354 \text{ MPa.}$$

13). Tabel 4.3 : Hasil hitungan titik berat tampang, statis momen dan inersia pada saat akhir dengan tampang transformasi dihitung dengan program MS - EXCEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	790	790	790
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	300	300	300
d' (mm)	154,997	376,858	120,000
h (mm)	1200	1200	1200
h_w (mm)	1080	1080	1080
h' (mm)	1.045	823	1.080
A_f (mm ²)	94800	94800	94800
A_w (mm ²)	324000	324000	324000
A_c (mm ²)	418800	418800	418800
n	6	6	6
A_{ps} (mm ²)	3461,716	3461,716	3461,716
A_c' (mm ²)	17308,58	17308,58	17308,58

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TNEGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
A_t (mm ²)	436108,58	436108,58	436108,58
C^t (mm)	509,531	518,336	508,142
C_b (mm)	690,469	681,664	691,858
ER (mm)	354,534	313,611	388,142
I_t (mm ⁴)	60274814676,04 1	59725961738,576	60724689289,8 53
S^t (mm ³)	118294729,346	115226292,093	119503415,897
S_b (mm ³)	87295450,028	87617919,992	87770435,446

14). Eksentrisitas tendon terhadap c.g.c tampang transformasi.

a). Pada tumpuan ujung = 354,534 mm.

b). Pada tengah bewntang = 313,611 mm.

c). Pada tumpuan tengah = 388,142 mm.

15). Gaya imbang pada saat akhir

$P_e = 3240$ kN.

Eksentrisitas maksimum pada tengah bentang

$$\begin{aligned}
 e_{Tmaks} &= e_{s2} + \left[\frac{(e_{s3} - e_{s1})}{2} + e_{s1} \right] \\
 &= 313,611 + \left[\frac{(388,142 - 354,534)}{2} + 354,534 \right] \\
 &= 684,949 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{imb.} &= \frac{8 \cdot P_e \cdot e_{maks}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \cdot 3240 \cdot 0,685}{25^2} \\
 &= 28,406 \text{ kN/m.}
 \end{aligned}$$

16). Momen akibat gaya prategang

$$\begin{aligned} \text{FEM} \longrightarrow M_{FAB} &= - \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12} \\ &= - \frac{28,406 \cdot 25^2}{12} \\ &= - 1479,490 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{FBC} &= + \frac{w_{imb.} \cdot L^2}{12} \\ &= + \frac{28,406 \cdot 25^2}{12} \\ &= + 1479,490 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

Overhang momen (momen lapangan)

$$\begin{aligned} M_A &= - (e_{s2} \cdot P_e) \\ &= - (0,314 \cdot 3240) \\ &= - 1017,360 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= + (e_{s2} \cdot P_e) \\ &= + (0,314 \cdot 3240) \\ &= + 1017,360 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

17). Tabel 2.5 Distribusi momen.

FEM	-1479,490	+1479,490	-1479,490	+1479,490
BALANCE	+1479,490			-1479,490
OVERHANG	-1017,360			+1017,360
DISTRIBUSI		+231,065	-231,065	
M_{AKIBAT PRATEGANG}	-1017,360	+1710,555	-1710,555	+1017,360

18). Letak garis tekan beton (*C-line*) pada saat awal

a). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan tengah

$$\begin{aligned}
 e_{sc3} &= \frac{\text{momen akibat prategang pada tumpuan tengah}}{\text{gaya prategang efektif}} \\
 &= \frac{1710,555 \cdot 10^3}{3240} \\
 &= 527,949 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

b). Garis tekan beton (*C-line*) pada tumpuan ujung

$$\begin{aligned}
 e_{sc1} &= ER \\
 &= 354,534 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

c). Garis tekan beton (*C-line*) pada tengah bentang

$$e_{sc2} = e_{s2} - \left[\frac{e_{s3} - e_{s1}}{2} \right]$$

$$= 313,611 - \left[\frac{527,949 - 354,534}{2} \right]$$

$$= 226,903 \text{ mm.}$$

19). Tabel 2.6 Kontrol tegangan pada saat akhir dihitung dengan program MS - EXECEEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
M_D (N-mm)	-1373500000	769420000	-1503700000
M_L (N-mm)	-710180000	397890000	-792290000
M_T (N-mm)	-2083680000	1167310000	-2295990000
P_e (n)	3240000	3240000	3240000
e_{sc} (mm)	354,534	226,903	527,949
M_{netto} (N-mm)	-934989840	432144280	-585435240
A_t (mm ²)	436108,58	436108,58	436108,58
S^t (mm ³)	118294729,346	115226292,093	119503415,897
S_b (mm ³)	87295450,028	87617919,992	87770435,446
f^t (MPa)	0,475	-11,180	-2,530
f_b (MPa)	-18,140	-2,497	-14,099

Dari tabel 2.6

a). Pada tumpuan ujung.

$$f^t = + 0,475 \text{ Mpa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -18,140 \text{ MPa} < f_{cs} = - 20,250 \text{ MPa.}$$

b). Pada tengah bentang.

$$f^t = -11,180 \text{ Mpa} < f_{cs} = - 20,250 \text{ MPa.}$$

$$f_b = - 2,497 \text{ MPa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

c). Pada tumpuan tengah.

$$f' = - 2,530 \text{ Mpa} < f_{ts} = + 3,354 \text{ MPa.}$$

$$f_b = -14,099 \text{ MPa} < f_{cs} = - 20,250 \text{ MPa.}$$

Perhitungan kapasitas momen.

$$f'_c = 45 \text{ MPa.}$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa.}$$

$$f_{sc} = \frac{P_c}{A_{ps}}$$

$$= \frac{3240 \cdot 10^3}{3461,716}$$

$$= 935,952 \text{ MPa.}$$

perhitungan kapasitas momen metode pendekatan SK SNI T-15-1991-03 sebagai berikut ;

$$f'_c \geq 30 \text{ MPa.}$$

$$f_{pu} \geq 1700 \text{ MPa}$$

$$f_{sc} \geq 0,5 \cdot f_{pu}$$

$$\geq 0,5 \cdot 1860$$

$$\geq 930 \text{ MPa.}$$

—————> Persyaratan perhitungan dengan metode SK SNI T-15-1991-03 terpenuhi.

20). Faktor jenis baja prategang.

Jika ;

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,9. \longrightarrow \gamma_p = 0.28.$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0.40.$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1581}{1860}$$

$$= 0,85. \longrightarrow \gamma_p = 0.40.$$

21). Tabel 2.7 Hasil perhitungan momen nominal dihitung dengan program MS - EXCEEL.

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
b_f (mm)	790	790	790
h_f (mm)	120	120	120
b_w (mm)	300	460	460
h (mm)	1200	1200	1200
d' (mm)	176,210	407,181	160
h' (mm)	1023,79	792,819	1040
A_{ps} (mm ²)	7547,396	7547,396	7547,396
ρ_p	0,025	0,012	0,016
f'_c (MPa)	45	45	45
f_{pu} (MPa)	1860	1860	1860
γ_p	0,400	0,400	0,400
β_1	0,730	0,730	0,730
f_{ps} (MPa)	824,821	1352,371	1195,406
ω_p	0,450	0,362	0,419
$0,36 \beta_1$	0,263	0,263	0,2628
	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat	$\omega_p > 0,36 \beta_1$ bertulangan kuat
A_{pf} (MPa)	-	1561,258	-

NOTASI	TUMPUAN UJUNG	TENGAH BENTANG	TUMPUAN TENGAH
A_{pw} (mm ²)	-	5986,138	-
C^t (mm)	474,325	484,506	472,802
C_b (mm)	625,675	615,494	627,198
a (mm)	456,74275	494,014	457,85454
d (mm)	1023,790	792,819	1040,000
ϕ	0,800	0,800	0,800
M_n (N)	4951679619,189	5571036212,624	7317661856,524
ϕM_n (N)	3961343695,352	4456828970,099	5854129485,219

22). Momen akibat beban berfaktor (M_U) = 1,2 M_D + 1,6 M_L .

$$M_U \text{ (tump. ujung)} = - 2784,500 \text{ kN-m} < \phi M_n = - 3961,344 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(lapangan)} = + 1560,100 \text{ kN-m} < \phi M_n = + 4456,828 \text{ kN-m.}$$

$$\text{(tump. tengah)} = - 3104,500 \text{ kN-m} < \phi M_n = - 5854,129 \text{ kN-m.}$$