

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	04 OCT 2001
NO. JUDUL :	
NO. INV. :	549/TA/JFS
NO. INDUK :	

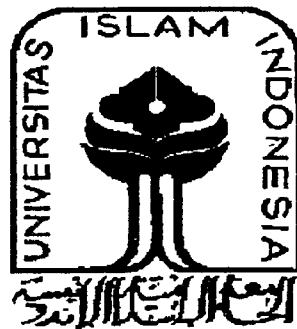
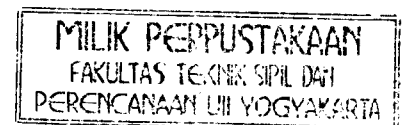
5120003103001

TUGAS AKHIR

ANALISIS LENDUTAN PADA BALOK MENERUS

BETON PRATEGANG PARSIAL

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil



Oleh:

Nama : Anny Irhamy
No. Mhs. : 96 310 130
Nirm : 960051013114120112

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001

TUGAS AKHIR
ANALISIS LENDUTAN PADA BALOK MENERUS
BETON PRATEGANG PARSIAL

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil

Oleh:

Nama : Anny Irhamy
No. Mhs. : 96 310 130
Nirm : 960051013114120112

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001

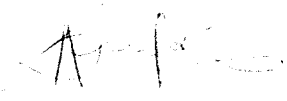
TUGAS AKHIR
ANALISIS LENDUTAN PADA BALOK MENERUS
BETON PRATEGANG PARSIAL

Nama : Anny Irhamy
No. Mhs. : 96 310 130
Nirm : 960051013114120112

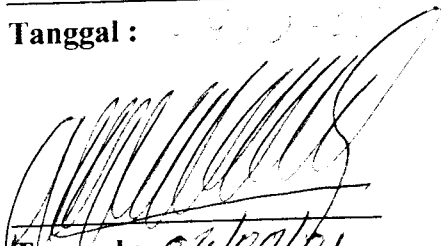
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H.M Samsudin, MT
Dosen Pembimbing I

Ir. H.A Kadir Aboe, MS
Dosen Pembimbing II



Tanggal : 09/09/21



Tanggal : 09/09/21

LEMBAR PERSEMBAHAN

Kupersembahkan Tugas akhir ini untuk :

Bapak and Mama I love You , thanks for giving me a strong upbringing and thank you for giving me a chance to be what I am.

Mbak Umi , Aini, Mas Trie, Rais I love You.

Ucapan terimakasih kusampaikan untuk:

Loesy, Neneng, pipin, Yoan, mas Joko and Teman-teman di Marching Band Ull, makasih atas semua cerita, kesempatan dan pengalaman serta kebersamaan yang telah diberikan, You give me much!.

Teman-teman kelas E sipil 96 : lin, Depri, Dira, Hanin, Doni, Marliansah, Dian, Ratih, Iwan dan semuanya terimakasih atas dukungan dan kebersamaannya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, shalawat dan salam kepada junjungan kita Rosulullah SAW beserta keluarganya, sahabat dan umatnya yang setia sampai akhir jaman.

Ahirnya tugas akhir dengan judul Analisis Lendutan Pada Balok Menerus Beton Prategang Parsial yang merupakan syarat dalam menyelesaikan jenjang kesarjanaan strata 1 pada jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia ini dapat diselesaikan dengan baik.

Selama penyusunan tugas akhir ini, bimbingan dan arahan banyak diberikan kepada penyusun. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bp Ir.H Widodo, MSCE, PhD selaku dekan Teknik. Sipil Universitas Islam Indonesia.
2. Bp. Ir. H Munadhir, MS selaku ketua jurusan Teknik. Sipil Universitas Islam Indonesia.
3. Bp. Ir.H. M Samsudin, MT selaku dosen pembimbing I
4. Bp. Ir.H.A Kadir Aboe, MS selaku dosen pembimbing II

5. Bp. Ir Tri Fajar Budiono, MT selaku dosen tamu

Semoga jasa-jasa beliau mendapat limpahan karunia dari Allah SWT, Amien

Dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Juli 2001

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAKSI	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian	5

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	6
BAB III	LANDASAN TEORI	8
3.1	Konsep Dasar Beton Prategang	8
3.1.1	Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang elastis	8
3.1.2	Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton	9
3.1.3	Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban .	10
3.2	Sistem Prategang	11
3.3	Prategang Parsial	12
3.3.1	Perilaku Beton Prategang Parsial	12
3.3.2	Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Prategang Parsial	17
3.4	Balok Menerus	18
3.5	Perencanaan Balok Prategang	20
3.5.1	Analisis dan Dimensi Penampang	20
3.5.2	Modulus Penampang	21
3.5.3	Dimensi Penampang Rencana	22
3.6	Analisis Beton Prategang	22
3.6.1	Tinjauan Tegangan Terhadap Gaya Prategang	22
3.6.2	Menghitung Luas Baja Prategang	23
3.7	Tata Letak Tendon	24

3.8	Tegangan Beton dan Tendon	26
3.9	Analisis Kekuatan Struktur	30
3.9.1	Analisis lentur	30
3.10	Kehilangan Gaya Prategang	33
3.10.1	Akibat Perpendekan Elastis Beton	33
3.10.2	Alibat Pengangkuran/Pergeseran Ankur	34
3.10.3	Akibat Rangkak pada Beton	35
3.10.4	Akibat Susut pada Beton	36
3.10.5	Akibat Relaksasi Baja	37
3.10.6	Akibat Gesekan	39
3.11	Analisis Lendutan	40
BAB IV PERENCANAAN DAN ANALISIS		48
4.1	Data Analisis	48
4.2	Tegangan Ijin Beton	49
4.3	Pembebanan	48
4.4	Perhitungan Momen	49
4.5	Perhitungan Modulus Tampang Rencana	52
4.6	Perencanaan Prategang Penuh Sistem Pasca-Tarik	52
4.6.1	Perhitungan Dimensi Penampang	52
4.6.2	Perhitungan Propertis Penampang	54
4.6.3	Perhitungan Desain Beton Prategang	55

4.6.4	Kontrol Kekuatan Lentur	57
4.6.5	Perhitungan Sifat Penampang	58
4.6.6	Kehilangan Gaya Prategang	60
4.6.7	Kontrol Tegangan Beton dan Tendon	63
4.6.8	Analisis Lendutan	65
4.7	Perhitungan Prategang Parsial 90 % Sistem Pasca-Tarik	69
4.7.1	Perhitungan Desain Beton Prategang	69
4.7.2	Kontrol Kekuatan lentur	71
4.7.3	Perhitungan Sifat Penampang	73
4.7.4	Kehilangan Gaya Prategang	76
4.7.5	Kontrol Tegangan Beton dan Tendon	78
4.7.6	Analisis Lendutan	81
4.8	Analisis Lendutan dengan Metode <i>Incremental Time Step</i>	85
BAB V	ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	90
5.1	Data dan Asumsi Desain	90
5.2	Pembahasan Hasil Perhitungan	92
5.2.1	Gaya Prategang	92
5.2.2	Eksentrisitas Tendon	93
5.2.3	Kehilangan Gaya Prategang	95
5.2.4	Luasan Baja Prategang	96
5.2.5	Luasan Baja Non-Prategang	97

5.2.6	Tegangan Beton	99
5.2.7	Faktor Koefisien Rangkak	101
5.2.8	Lendutan	102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		108
6.1	Kesimpulan	109
6.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		xix
LAMPIRAN		xx

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A_c	: Luas penampang balok beton
A_{netto}	: Luas penampang netto balok
A_{trans}	: Luas penampang transformasi balok
b	: Lebar penampang balok
B	: Jarak antar balok.
c.g.c	: Pusat berat balok beton
c.g.s	: Pusat berat luas baja
C_b	: Jarak dari serat bawah ke pusat berat balok beton
C_t	: Jarak dari serat atas ke pusat berat balok beton
C_t	: Faktor koreksi rangkai beton pada <i>saat t</i>
d	: Jarak serat tekan terluar terhadap titik berat dari baja
e	: Jarak eksentrisitas tendon
E_c	: Modulus elastisitas beton
E_s	: Modulus elastisitas baja prategang
f_c'	: Kuat tekan beton
f_{ci}	: Kuat tekan beton pada saat transfer
f_{cs}	: Kuat tekan beton saat layan

f_{ti}	: Kuat tarik beton saat transfer
f_{ts}	: Kuat tarik beton saat layan
f_{pe}	: Tegangan akibat gaya efektif tendon (setelah diperhitungkan kehilangan tegang-an)
h	: Tinggi penampang balok beton
H	: Kelembaman relatif udara dalam beton
I_c	: Momen inersia balok beton
K_{SH}	: Faktor koreksi kehilangan tegangan untuk elemen pascatarik
L	: Panjang bentangan balok
M	: Momen Lentur
M_D	: Momen akibat beban mati
M_{DS}	: Momen akibat beban sendiri
M_L	: Momen akibat beban hidup
n	: Rasio modulus elastisitas
P	: Gaya Prategang
P_e	: Gaya Prategang efektif
r	: Jari-jari putar balok
S	: Modulus penampang balok
S_b	: Modulus penampang serat bawah balok
S_t	: Modulus penampang serat atas balok
t	: Waktu

- β_s : Faktor koreksi rangkai akibat pengaruh umur pembebanan
- Δf_p : Kehilangan gaya prategang
- δ : Lendutan
- δ_D : Lendutan akibat beban mati
- δ_{DS} : Lendutan akibat beban sendiri
- δ_L : Lendutan akibat beban hidup
- ε : Regangan beton
- σ : Tegangan beton
- γ : Berat volume beton

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	: Distribusi tegangan pada penampang beton prategang dengan eksentrisitas	9
Gambar 3.2	: Kopel dalam akibat gaya prategang dan beban kerja	9
Gambar 3.3	: Prategang sistem perimbangan beban	11
Gambar 3.4	: Kurva beban dan lendutan pada tulangan kuat dan lemah	14
Gambar 3.5	: Kurva beban lendutan untuk berbagai tingkat prategang	15
Gambar 3.6	: Balok sederhana	19
Gambar 3.7	: Balok menerus	19
Gambar 3.8	: Perpendekan elastis pada beton	33
Gambar 3.9	: Diagram momen lentur untuk balok menerus dengan beban merata	42
Gambar 3.10	: Balok-balok konjugasi	42
Gambar 5.1	: Prosentase prategang terhadap eksentisitas beton	89
Gambar 5.2	: Perbandingan % gaya prategang terhadap kehilangan gaya prategang	90
Gambar 5.3	: Perbandingan prosentase gaya prategang terhadap luasan baja prategang	97

Gambar 5.4	: Perbandingan % gaya prategang terhadap luasan baja non-prategang	98
Gambar 5.5	: Perbandingan tegangan awal/transfer pada serat atas	100
Gambar 5.6	: Perbandingan tegangan layan pada serat bawah	101
Gambar 5.7	: Perbandingan koefisien rangkai dengan umur beton	102
Gambar 5.8	: Besar lendutan pada balok menerus 3 perletakan	105
Gambar 5.9	: Besar lendutan pada balok menerus 4 perletakan	105
Gambar 5.10	: Besar Lendutan pada 3 Perletakan	107
Gambar 5.11	: Besar Lendutan pada 4 Perletakan	107
Gambar 5.12	: Perbandingan Lendutan dengan 2 Metode Berbeda	108

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	: Koefisien susut	36
Tabel 3.2	: Nilai K_{re} dan J	38
Tabel 3.3	: Nilai C	38
Tabel 3.4	: Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon-tendon <i>post tensioned</i> ..	40
Tabel 3.5	: Faktor yang mempengaruhi rangkai pada kondisi standar.....	45
Tabel 4.1	: Parameter Pengaruh Lendutan	88
Tabel 4.2	: Perhitungan Lendutan 1	88
Tabel 4.3	: Perhitungan Lendutan 2	89
Tabel 4.4	: Besar Lendutan	89
Tabel 5.1	: Ukuran Girder	91
Tabel 5.2	: Besar Momen yang Terjadi.....	92
Tabel 5.3	: Besar Gaya Prategang	93
Tabel 5.4	: Besar Eksentrisitas	94
Tabel 5.5	: Besar Prosentase Kehilangan Gaya Prategang.....	95
Tabel 5.6	: Besar Luasan Baja Prategang.....	96
Tabel 5.7	: Besar Baja Non-Prategang	98
Tabel 5.8	: Tegangan yang terjadi pada balok menerus prategang parsial	100

Tabel 5.9	: Besar Faktor Koefisien Rangkak.....	102
Tabel 5.10	: Besar Lendutan pada Balok Menerus Metode <i>Approximate Time Step</i>	104
Tabel 5.11	: Besar Lendutan pada Balok Menerus Metode <i>Incremental Time Step</i>	106

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2a : Tabel *strand properties* dan *tendon properties*
- Lampiran 2b : Detail *Anchorage VSL type EC*
- Lampiran 2c : Detail *Anchorage VSL type P*
- Lampiran 3a-3d : Hasil perhitungan desain dan lendutan dengan menggunakan program komputer (MS Excel)
- Lampiran 3e-3f : Grafik besar lendutan.
- Lampiran 4a-4d : Perhitungan momen akibat beban hidup dengan menggunakan metode deformasi konsisten
- Lampiran 5a-5f : Hasil perhitungan lendutan metode *Incremental Time Step* pada 3 dan 4 perletakan
- Lampiran 5g-5h : Grafik besar lendutan metode *Incremental Time Step*

ABSTRAKSI

Penggunaan beton prategang semakin sering dijumpai dalam proyek pembangunan, terutama pada struktur yang mengalami momen lentur besar. Terjadinya lendutan merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindarkan. Hal tersebut menuntut para perancang struktur untuk mendesain batang beton agar memiliki kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan.

Pada penulisan tugas akhir ini diuraikan tentang desain dari balok menerus beton prategang parsial dan faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan pada balok menerus prategang parsial. Lendutan sesaat pada balok menerus prategang parsial dipengaruhi oleh adanya gaya prategang yang diberikan pada beton, sehingga terjadi *chamber*. Besarnya *chamber* yang dihasilkan semakin besar seiring dengan bertambahnya umur beton, serta semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan. Hasil analisis menunjukan besar lendutan yang terjadi pada balok menerus prategang parsial adalah bahwa semakin berkurang gaya prategang yang diberikan maka lendutan kebawah semakin besar dan semakin bertambah umur beton maka lendutan kebawah semakin kecil ini dikarenakan adanya faktor rangkai yang menyebabkan terjadinya pertambahan baik pada komponen lendutan keatas maupun lendutan kebawah.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan struktur bertulang dewasa ini cukup pesat menuju kepada struktur yang lebih ekonomis melalui metode-metode perencanaan dan penggunaan material berkekuatan tinggi. Penggunaan beton prategang semakin sering dijumpai dalam proyek pembangunan, terutama pada struktur yang mengalami momen lentur besar, karena momen lentur dapat mengakibatkan penampang beton mengalami tegangan lentur (*bending stress*).

Terjadinya lendutan merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindarkan. Hal tersebut menuntut para perancang struktur untuk mendesain batang beton agar memiliki kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan dan mengevaluasi lendutan yang terjadi secara seksama karena besarnya lendutan akan berpengaruh pada fungsi atau kegunaan struktur. Kontrol terhadap lendutan sangat penting karena:

1. Lendutan yang berlebihan pada batang struktural utama tidak mudah terlihat dan pada waktunya membuat lantai menjadi tidak sesuai untuk pemakaian yang direncanakan.
2. Lendutan yang besar akibat pengaruh dinamis dapat mengurangi kenya-

manan pemakainya.

3. Lendutan yang berlebihan cenderung menyebabkan kerusakan pada permukaan beton, sekat, dan struktur-struktur yang berkaitan.

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang diberi tegangan tekan dengan distribusi dan besar tegangan tertentu sehingga dapat menetralkan sejumlah tegangan tarik yang terjadi akibat beban eksternal. Pada dasarnya filosofi desain beton prategang adalah membuat beton dalam keadaan tertekan sehingga tidak akan terjadi tegangan tarik pada beton tersebut, desain ini disebut dengan sistem prategang penuh. Dalam perkembangannya ternyata diindikasikan bahwa masih ada kekuatan tarik pada beton, oleh karena itu masih ada alternatif metode desain lain yang memungkinkan terjadinya tegangan tarik. Desain ini disebut dengan prategang sebagian atau prategang parsial.

Untuk memberikan keamanan tambahan pada beton prategang parsial, suatu tulangan non-prategang sering ditambahkan untuk memberikan suatu kekuatan batas yang lebih tinggi. Keuntungan yang penting dari prategang parsial adalah pengurangan besarnya lendutan keatas (*chamber*). Meminimumkan adanya lendutan keatas adalah penting terutama ketika beban gelagar atau beban mati relatif kecil bila dibandingkan dengan beban rencana total. Selain itu juga berarti menurunkan efek dari rangkai lentur dan mempermudah kontrol dari ketidak-seragaman lendutan tersebut.

Pada balok prategang lendutan tergantung dari kombinasi antara gaya prategang,

beban luar, dan lamanya pembebanan. Gaya prategang akan menimbulkan anti lendutan atau lendutan keatas (*chamber*), sedangkan beban luar akan menimbulkan lendutan kebawah. Secara umum lendutan dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

1. Lendutan jangka pendek, terjadi setelah beban bekerja.
2. Lendutan jangka panjang, terjadi sesuai perkembangan waktu.

Pada balok prategang lendutan jangka panjang banyak dipengaruhi oleh parameter-parameter yang tergantung pada waktu, yaitu rangkak (*creep*), dan susut (*shrinkage*) pada beton serta relaksasi (*relaxation*) pada baja prategang.

Lendutan yang terjadi pada balok menerus akan lebih kecil daripada lendutan yang terjadi pada balok sederhana, hal ini dikarenakan pada balok menerus akan timbul pengurangan momen yang disebabkan oleh adanya momen tumpuan. Dengan berkurangnya momen maka lendutan yang terjadi akan berkurang.

Dengan memperhatikan sifat-sifat diatas maka balok menerus prategang parsial diharapkan mampu mengatasi masalah lendutan yang lebih besar. Oleh karena itu maka balok menerus prategang parsial merupakan satu alternatif yang menarik untuk dikaji tentang lendutannya sehingga memberikan hasil yang bermanfaat.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini ada beberapa pokok permasalahan yang akan di bahas, yaitu:

1. Bagaimana mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan pada balok menerus prategang parsial.

2. Bagaimana mendesain balok menerus beton prategang parsial.
3. Bagaimana menganalisa lendutan pada balok menerus beton prategang parsial pada 3 dan 4 perletakan dengan 2 metode yang berbeda.

1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa perilaku balok menerus beton prategang parsial.
2. Melakukan analisis terhadap lendutan pada balok menerus beton prategang parsial dengan 2 metode yang berbeda.

1.4 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan gambaran mengenai pendekatan dalam memperkirakan lendutan pada balok menerus beton prategang parsial.
2. Memberikan pengetahuan tentang perilaku balok menerus beton prategang parsial.

1.5 Batasan Masalah

Analisa lendutan pada balok menerus prategang parsial

1. Pembebanan dihitung dengan Peraturan Pembebanan Indonesia tahun 1983.
2. Penampang balok berbentuk T.
3. Bentangan total diambil 60 m terletak diatas 3 dan 4 perletakkan pada balok menerus.
4. Kabel direncanakan melengkung dan menerus disepanjang bentangan.

5. Beton prategang yang dianalisis menggunakan sistem pascatarik (*post tensioned*) dan tendon terekat.
6. Gaya prategang yang diberikan sebesar 90 %, 80%, dan 75 % dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh.
7. Balok prategang dianggap tidak retak baik saat transfer maupun saat layan.
8. Perhitungan lendutan dengan menggunakan metode *Approximate Time Step Method* dan *Incremental Time Step Method* pada umur pembebanan 1 bulan, 1 tahun, 3 tahun, dan 5 tahun.
9. *End block* tidak dibahas dalam tugas akhir ini.

1.6 Metode Penelitian

Penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Mencari bahan-bahan literatur yang dibutuhkan dari perpustakaan, kemudian membahasnya.
2. Melakukan perhitungan untuk merencanakan dan menganalisis balok menerus prategang parsial dengan memakai cara atau rumus yang ada di literatur.
3. Menentukan parameter-parameter yang berpengaruh didalam menghitung lendutan.
4. Pembahasan untuk setiap parameter.
5. Menghitung lendutan yang terjadi.
6. Kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

NAAMAN (1982). Memberikan definisi lendutan sebagai perubahan posisi suatu titik dari batang sebelum bekerjanya beban sampai beban itu bekerja. Pada beton bertulang, lendutan diakibatkan oleh beban dan merupakan lendutan kebawah sedangkan pada beton prategang, lendutan tergantung pada kombinasi pengaruh dari gaya prategang dan beban luar. Hal yang demikian ini akan lebih mudah dikontrol dengan merubah tampang dan besarnya gaya prategang. Pada balok bertulang dan beton prategang, lendutan dibawah pembebanan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu terutama pengaruh rangkak dan susut pada beton dan relaksasi pada baja.

T.Y LIN & NED H. BURNS (1981). Lendutan yang terkontrol akibat gaya prategang pada balok prategang penuh dapat digunakan dengan lebih menguntungkan untuk menghasilkan lendutan keatas yang diinginkan dan menggeser lendutan akibat beban luar. Selain itu juga diketahui adanya keadaan dimana lendutan keatas yang berlebihan akibat gaya prategang dapat mengakibatkan kesulitan yang serius.

WANG & SALMON (1986). Rangkak dan susut adalah deformasi tergantung waktu, yang retak menimbulkan kerisauan yang terbesar bagi perencana disebabkan

kekurang tepatan dan kurang kurangnya pengetahuan tentang rangkai dan susut, dan karena penambahan deformasi sesuai dengan waktu maka sifat dari beton adalah sama dengan sifat bahan yang tidak elastis. Oleh karena itu lendutan setelah jangka panjang yang lama menjadi sangat sulit diperkirakan, sekalipun pengendaliannya adalah diperlukan untuk menjamin kelayakan dari struktur selama umur layanannya.

T.Y LIN & NED H. BURNS (1981). Seperti halnya dengan struktur menerus lainnya, lendutan pada balok menerus akan lebih kecil daripada lendutan pada balok sederhana. Oleh karena itu untuk bentang menerus penampang yang lebih kecil tidak hanya cukup dalam segi kekuatan, namun juga dalam segi ketegaran.

ARTHUR H NELSON (1987), salah satu dari keuntungan penting beton prategang parsial adalah meningkatkan kontrol lendutan, karena lendutan keatas akibat gaya prategang pada saat balok belum mengalami pembebanan dapat dihindari dengan menggunakan gaya prategang yang kecil. Meskipun demikian ini berarti bahwa lendutan kebawah pada saat seluruh beban layan bekerja akan lebih besar. Konsekuensinya sangatlah penting untuk membuat pendekatan dalam memperkirakan lendutan prategang parsial pada tiap-tiap pembebanan.

BAB III

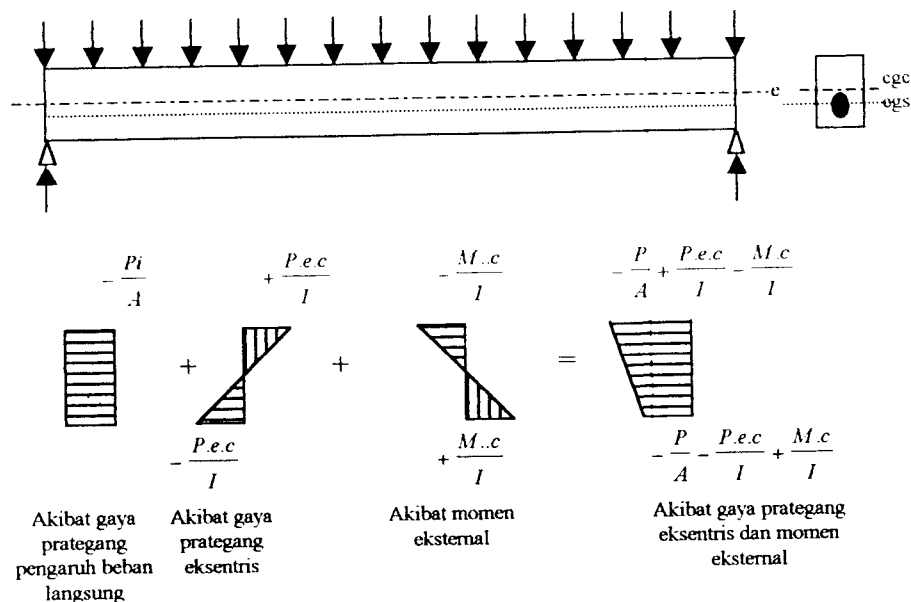
LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Lyn dan Burns (1993) mengemukakan ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini penting bagi seseorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang seefisien mungkin. Adapun ketiga konsep tersebut adalah:

3.1.1 Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan Yang Elastis.

Konsep ini hasil pemikiran Eugene Freyssinet yaitu beton yang bersifat getas ditransformasikan menjadi bahan yang bersifat elastis, dengan cara memberi tekanan/desakan terlebih dahulu. Hal ini diusahakan agar beton tidak mengalami retak dibagian tarik balok walaupun terjadi tarikan. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap mengalami dua sistem penegangan, yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal. Dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang (tendon).



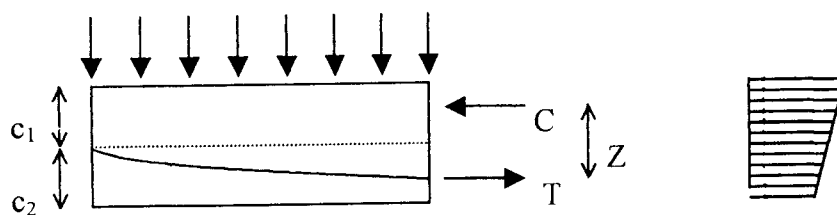
Gambar 3.1 Distribusi tegangan pada penampang beton prategang dengan eksentrisitas

Dari gambar 3.1 diperoleh tegangan total yang terjadi pada penampang beton adalah sebagai berikut

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.c}{I} \pm \frac{M.c}{I} \quad (3.1)$$

3.1.2 Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi Dengan Beton

Seperti halnya pada beton bertulang, beton prategang merupakan kombinasi dari baja prategang (menahan tarik) dan beton (menahan desak), kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan kopel eksternal.



Gambar 3.2 Kopel dalam akibat gaya prategang dan beban kerja

Persyaratan keseimbangan mengharuskan gaya desak (C) = gaya tarik (T). Jika gaya prategang bekerja maka lengan momen (Z) dapat diketahui dengan persamaan

$$Z = \frac{M}{f} \quad (3.2)$$

Karena lengan Z diketahui maka pusat gaya desak dapat ditentukan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada sisi atas dan sisi bawah dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = \frac{-P}{A} \pm \frac{M.c}{I} \quad (3.3)$$

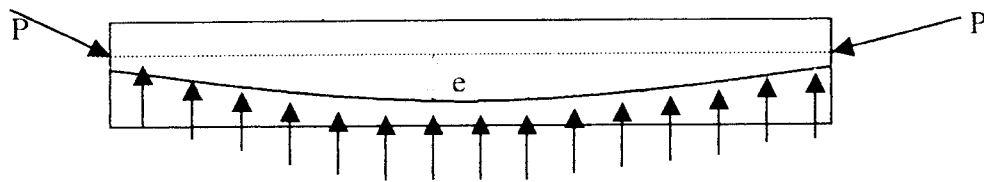
3.1.3 Sistem Prategang Untuk Mencapai Keseimbangan Beban

Konsep ini menggunakan gaya prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya, sehingga komponen struktur yang mengalami lentur, tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan tertentu. Besar gaya perimbangan yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata ke atas adalah sebagai berikut:

$$Wb = \frac{8.P.e}{L^2} \quad (3.4)$$

$$W_{netto} = W_{total-kebawah} - Wb \quad (3.5)$$

$$M_{netto} = \frac{1}{8} W_{netto} . L^2 \quad (3.6)$$



Gambar 3.3 Prategang sistem perimbangan beban

Tegangan yang terjadi pada serat penampang adalah:

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_{\text{netto}} \cdot C}{I} \quad (3.7)$$

3.2 Sistem Prategang

Cara yang biasa dilakukan untuk mendapatkan tegangan awal (pemberian tegangan) terhadap beton adalah dengan menggunakan tendon baja yang ditarik. Terdapat dua macam cara pelaksanaan pemberian prategang, yaitu pratarik (*pretensioning*) dan pasca tarik (*post tensioning*).

A. Sistem Pratarik

Sistem pratarik didefinisikan sebagai cara pemberian prategang pada beton, yaitu tendon ditarik sebelum dilakukan pengecoran adukan beton ke dalam acuan yang telah disiapkan dan gaya prategang dipertahankan sampai beton cukup keras. Sistem ini biasanya dilakukan disuatu tempat khusus di lapangan pencetakan (*casting yard*) disebut juga beton pracetak. Cara sederhana untuk menegangkan komponen struktur pratarik adalah dengan menarik kabel-kabel

diantara dua dinding penahan (*bulkhead*) dan diangkurkan pada ujung-ujung peralatan kerja. Setelah beton mengeras, kabel-kabel dipotong dan lepas dari dinding penahan dan gaya prategang dialihkan ke beton. Untuk susunan ini kedua-duanya, dinding panahan dan peralatan, harus dirancang untuk menahan gaya prategang dan eksentrisitasnya.

B. Sistem pasca tarik

Sistem pasca tarik disebut juga penarikan purna adalah cara pemberian prategang pada beton, yaitu tendon ditarik setelah betonnya dicetak terlebih dahulu dan mempunyai cukup kekerasan untuk menahan tegangan sesuai dengan yang diinginkan. Pada pelaksanaannya yaitu pertama-tama acuan beton dipasang sesuai dengan rencanaletak komponen struktur dengan sekaligus dipasang pipa selongsong yang akan menyelubungi tendon. Selanjutnya tendon dimasukkan kedalam pipa selongsong yang sudah disiapkan dalam beton, kemudian tendon ditarik kemudian dijangkarkan.

3.3 Prategang Parsial

3.3.1 Perilaku Beton Prategang Parsial

Elemen struktur prategang parsial adalah elemen struktur prategang yang direncanakan dengan mengijinkan terjadinya tarik pada saat beban layan. Namun demikian tidak semua struktur yang direncanakan dengan prategang parsial akan mengalami tegangan tarik pada saat beban layan. Demikian juga sebaliknya, pada

struktur yang direncanakan dengan sistem prategang penuh mungkin akan mengalami tegangan tarik pada beban kerja berlebih.

Perbedaan antara prategang penuh dengan prategang parsial sebenarnya hanya terletak pada tingkat tegangan tarik yang dipakai. Tegangan tarik akan lebih besar dan terjadi lebih sering untuk suatu struktur yang didesain dengan prategang parsial daripada menggunakan prategang penuh. Untuk memberikan keamanan tambahan pada beton prategang parsial, diberikan suatu tulangan non-prategang (tulangan biasa) untuk meningkatkan kekuatan batas yang lebih tinggi pada balok. Suatu struktur prategang dapat dikatakan merupakan prategang parsial bila salah satu atau kedua pernyataan dibawah ini terpenuhi, meskipun kadang-kadang hanya digunakan pada pernyataan pertama saja.

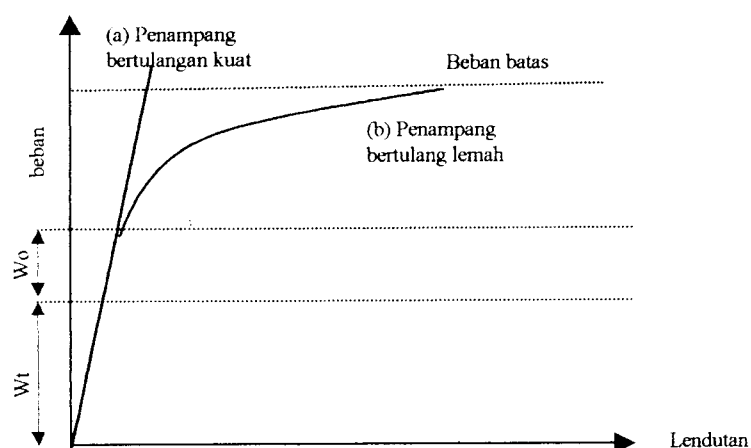
1. Di bawah kondisi beban kerja, tegangan tarik pada beton diijinkan.
2. Tulangan non-prategang digunakan pada komponen struktur.

Suatu keuntungan yang penting dari prategang parsial adalah pengurangan lendutan ke atas adalah penting terutama ketika beban gelagar atau beban mati relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan beban rencana total. Meminimumkan keatas awal juga berarti menurunkan efek rangkai lentur dan mempermudah kontrol dari ketidakseragaman lendutan keatas tersebut.

Untuk lebih memahami perilaku dari balok prategang parsial, perlu untuk mempelajari dari balok tersebut yaitu dengan memberikan jumlah tulangan dan besar gaya prategang yang berbeda-beda. Perbedaan pada perilaku suatu balok yang

bertulangan kuat (*over-reinforced*) dan bertulangan lemah (*under-reinforced*) terlihat dengan membandingkan kurva (a) dan kurva (b) dalam gambar 3.4. Sedangkan perilaku dari prategang kuat (*over-prestressed*) dan prategang lemah (*under-prestressed*) dapat dilihat pada gambar 3.5.

Suatu penampang yang diberi tulangan kuat akan mengalami suatu kegagalan akibat tekan pada beton sebelum tagangan tarik baja melewati batas luluhnya. Deformasi batas dari gaya dan lendutan dari balok adalah kecil dan kegagalan yang terjadi adalah kegagalan getas. Apabila tulangan yang diberikan terlalu kuat, meskipun bajanya tidak diberi gaya prategang, lendutan pada titik sebelum runtuh akan tetap terbatas. Ketika penampang tersebut diberi tulangan lemah, lendutannya akan terus meningkat sangat nyata sebelum kegagalan terjadi, sehingga akan memberikan suatu tanda yang cukup sebelum terjadi keruntuhan. Keruntuhan akan bermula dengan perpanjangan baja yang berlebihan dan berakhir dengan keruntuhan beton secara bertahap pada daerah tekan.



Gambar 3.4 Kurva beban dan lendutan pada tulangan kuat dan lemah

Dalam usaha mencegah terjadinya kegagalan yang tiba-tiba atau keruntuhan yang getas dan juga untuk faktor ekonomis maka suatu beton prategang yang didesain berdasarkan peraturan ACI adalah *under-reinforced*. Ketika suatu penampang *under-reinforced* didesain untuk prategang penuh, yang mensyaratkan tidak terjadinya tegangan tarik pada saat beban kerja, hubungan antara beban dan defleksi diberikan oleh kurva b pada gambar 3.5. Sebelum retak, penampang akan menahan satu beban tambahan W_o diatas beban kerja W_t , yang besarnya adalah:

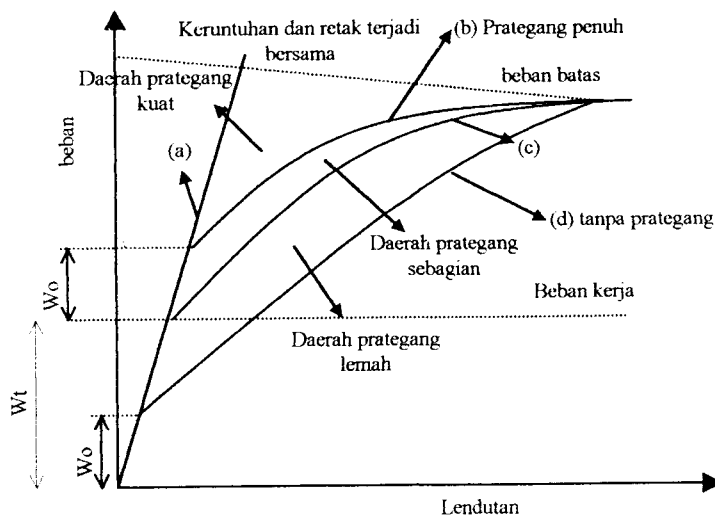
$$W_o = k \cdot \frac{f_r I_g}{c_b} \quad (3.8)$$

dengan:

k = suatu konstanta yang tergantung pada panjang bentang dan kondisi ujung-ujung.

f_r = modulus keruntuhan dari beton (Mpa)

c_b = jarak dari cgc ke serat terluar (mm)



Gambar 3.5 Kurva beban lendutan untuk berbagai tingkat prategang

Jika suatu penampang yang sama bertulangan lemah dengan sejumlah baja yang sama diberi suatu prategang yang lebih kecil, sehingga retak baru akan terjadi bila beban kerja tercapai, tegangan tarik akan sama dengan modulus keruntuhan (f_r) dibawah beban layan, hubungan beban lendutan ditunjukkan oleh kurva (c), dengan lendutan pada penampang retak mulai terjadi pada beban layan. Jika balok tidak diberi gaya prategang sama sekali, tetapi masih diberi tulangan dengan jumlah baja yang sama, dan direkatkan pada beton, balok akan berperilaku seperti kurva (d). Balok tersebut akan mulai retak ketika beban W_o tercapai, meskipun kekuatan batasnya tidak banyak berkurang.

Jika balok diberi tulangan gaya prategang tinggi (*over-reinforced*), balok akan mulai retak bila beban telah melampaui $W_t + W_o$, dan kurva beban lendutan akan berada diantara kurva (a) dan (b), gambar 3.5. untuk kasus yang ekstrim ketika suatu balok diberi tulangan sangat lemah tetapi diberi gaya prategang yang sangat tinggi, retak dan keruntuhan akan terjadi secara bersamaan sedemikian rupa sehingga keruntuhan getas terjadi. Pada prinsipnya balok prategang parsial akan mempunyai kurva beban lendutan yang terletak diantara kurva (b) dan (d), tergantung dari besarnya prategang. Tetapi dalam pelaksanaannya retak yang terjadi pada saat beban kerja tidak diijinkan, sehingga kurva lendutan biasanya terletak diantara kurva (b) dan (c), dan jarang berada dibawah kurva (c).

Jumlah penampang yang digunakan tergantung pada tipe struktur. Untuk struktur yang tidak boleh mengalami retak pada kondisi beban kerja dan sering

mengalami beban berlebih, sebaiknya digunakan prategang penuh yang diperlihatkan oleh kurva (b). Struktur yang jarang mengalami beban berlebih, prategang parsial diantara kurva (b) dan (c) dapat diijinkan. Jumlah baja prategang dapat dihemat bila digunakan desain dengan prategang parsial, tetapi jika diinginkan kekuatan batas yang sama, paling tidak harus ditambahkan tulangan non-prategang.

3.3.2 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Prategang Parsial

(a) Keuntungan prategang parsial

Prategang parsial mempunyai beberapa keuntungan diantaranya yaitu:

1. Pengendalian lendutan keatas (*camber*) yang lebih baik.
2. Penghematan jumlah baja prategang.
3. Penghematan dalam pekerjaan penarikan dan pengangkuran ujung.
4. Kemungkinan kekenyalan yang lebih besar pada struktur.
5. Pemanfaatan yang ekonomis dari baja lunak.

(b) Kerugian prategang parsial

Adapun kerugian dari prategang parsial adalah:

1. Retak yang lebih dini.
2. Lendutan yang lebih besar akibat beban berlebihan (*overload*).
3. Tegangan tarik utama yang lebih tinggi dalam beban kerja.
4. Sedikit pengurangan dalam kekuatan lentur batas untuk jumlah baja yang sama.

3.4 Balok Menerus

Balok menerus adalah balok yang berada pada tiga atau lebih bentangan yang mempunyai reaksi, gaya geser, dan momen lentur yang tidak dapat ditentukan hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan statika dasar yaitu $\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, dan $\Sigma M=0$ (Ghali, A dan Neville, A.M , 1990).

Perbedaan antara balok menerus dengan balok sederhana dapat dilihat pada perbandingan yang sederhana antara kekuatan dari balok yang ditumpu sederhana dengan balok menerus yang dijelaskan dengan gambar 3.6 dan gambar 3.7.

Pada Gambar 3-6(a) beban w' total yang dapat dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas momen batas dari penampang tengah bentang. Jika T' adalah tarikan batas yang ditimbulkan dalam tendon, yang bekerja dengan lengan momen a' , maka momen lawan batas pada tengah bentang adalah $T'.a'$. dengan setengah bentang diambil sebagai benda bebas seperti Gambar 3-6 (b) , dan dengan mengambil momen pada tumpuan kiri, kita peroleh:

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

$$w' = \frac{8.T' a'}{L^2} \quad (3.9)$$

diagram momen yang dihasilkan oleh beban w' ditunjukkan dalam Gambar 3-6 (c).

Pada Gambar 3-7 (a), dengan penampang, panjang bentang, dan baja prategang yang sama dengan balok sederhana dalam Gambar 3-6. Pada Gambar 3-7 (b) dengan

mengambil setengah bentang dan mengambil momen pada tumpuan kiri, kita akan

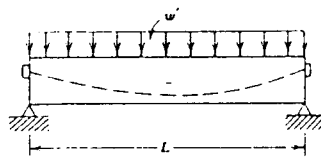
peroleh:

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

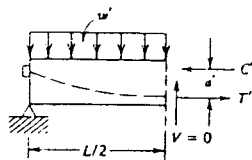
$$w' = \frac{16 T' a'}{L^2} \quad (3.10)$$

Pada balok menerus terlihat ada dua momen lawan, satu pada tengah-tengah bentang dan satu lagi diatas tumpuan. Dengan demikian kapasitas memikul beban (*load carrying capacity*) pasti dipengaruhi oleh c.g.s. diatas tumpuan tengah. Bidang momen yang dihasilkan oleh beban w' diberikan dalam Gambar 3-7 (c).

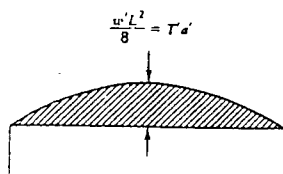
Dengan membandingkan Gambar 3-6 dengan Gambar 3-7 terlihat bahwa $w_c' = 2w'$. Ini berarti bahwa dua kali beban pada balok sederhana dapat dipikul oleh bentang balok menerus, dengan jumlah beton dan baja sama.



(a) Tampak Balok

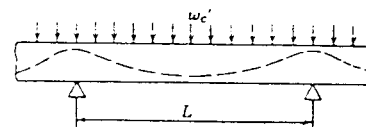


(b) Benda-bebas Setengah Bentang

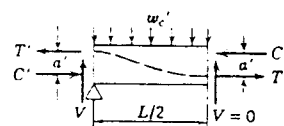


(c) Diagram Momen

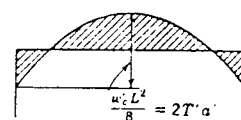
Gambar 3.6 Balok sederhana



(a) Tampak Balok



(b) Benda-bebas Setengah Bentang



(c) Diagram Momen

Gambar 3.7 Balok menerus

Besar $T \rightarrow$ dr Setiap perletakan

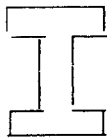
3.5 Perencanaan Balok Prategang

3.5.1 Analisis dan Dimensi Penampang

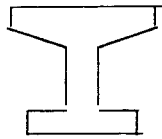
Untuk menentukan dimensi penampang suatu struktur pertama kali diperlukan data dan perhitungan mengenai beberapa hal, antara lain penentuan besar momen yang direncanakan.

Bentuk-bentuk penampang beton prategang yang sering digunakan adalah :

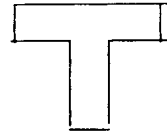
- a. Penampang I simetris
- b. Penampang I tidak simetris
- c. Penampang T
- d. Penampang T terbalik
- e. Penampang kotak
- f. Penampang persegi panjang



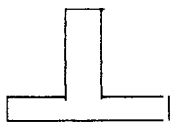
(a) Bentuk I simetris



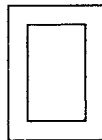
(b) Bentuk I tidak simetris



(c) Bentuk T



(d) Bentuk T terbalik



(e) Bentuk Kontak



(f) Bentuk Persegi panjang

Dalam praktek tinggi penampang h biasanya sudah ditentukan, diketahui atau diasumsikan. Cara empiris untuk menentukan tebal pelat adalah bervariasi antara $L/35$ untuk beban berat dan $L/55$ untuk beban ringan. Lin dan Burn (1993), Winarni (1987) memberikan persamaan untuk pendekatan tinggi penampang sebagai berikut:

$$h = k\sqrt{M} \quad (3.11)$$

dengan h = tinggi balok dalam cm

M = momen maksimum yang terjadi dalam tm

$k = 10 - 15$

Perhitungan momen dilakukan dengan bantuan program komputer

3.5.2 Modulus Penampang

Besarnya penampang yang direncanakan harus mampu untuk menahan tegangan akibat momen-momen yang terjadi. Agar dapat dicapai kondisi yang demikian maka modulus penampang yang diperlukan baik terhadap sisi atas maupun sisi bawah adalah:

$$S_t \geq \frac{(1-R)M_0 + M_D + M_L}{R.f_{ti} - f_{cs}} \quad (3.12)$$

$$S_b \geq \frac{(1-R)M_0 + M_D + M_L}{R.f_{ts} - f_{ci}} \quad (3.13)$$

Dengan

R = rasio kehilangan gaya prategang

M_0 = momen yang terjadi akibat berat sendiri balok dalam KN.m

M_D = momen yang terjadi akibat beban mati dalam KN.m

M_L = momen yang terjadi akibat beban hidup dalam KN.m

S_t = modulus penampang terhadap sisi atas dalam m

S_b = modulus penampang terhadap sisi bawah dalam m

3.5.3 Dimensi Penampang Rencana

Dari modulus penampang yang didapat maka dimensi penampang dapat direncanakan dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{I}{c} \quad (3.14)$$

Dengan I = momen inersia

c = jarak garis netral kesisi luar penampang

Dengan ditetapkan nilai lebar balok maka tinggi balok dapat dicari.

3.6 Analisis Beton Prategang

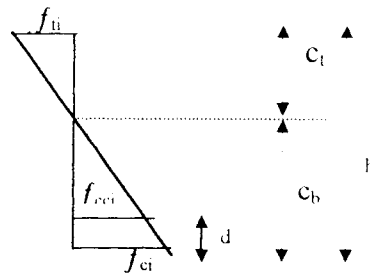
3.6.1 Tinjauan Tegangan Terhadap Gaya Prategang

Dalam bentuk yang paling sederhana, diambil bentuk penampang persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon dan dibebani oleh gaya eksternal. Gaya tarik prategang pada tendon menghasilkan gaya tekan P yang sama pada beton.

1. Untuk beton prategang penuh

- Tegangan tendon pada pusat beton

$$f_{ct} = f_u - \frac{e_t}{h} (f_u - f_{ct}) \quad (3.15)$$



- Gaya prategang awal

$$P_i = |f_{cci}| \cdot A_c \quad (3.16)$$

- Gaya prategang efektif (P_e)

$$R = 1 - LOP$$

$$P_e = P_i \cdot R \quad (3.17)$$

2. Untuk prategang parsial

- Gaya prategang awal (P_{ip})

$$P_{ip} = (1-r) \cdot P_i$$

$$r = (1 - \% \text{prategang parsial}) \quad (3.18)$$

3.6.2 Menghitung Luas Baja Prategang

Luas baja prategang yang diperlukan:

$$A_{ps} = \frac{P_i}{f_{ps}} \quad (3.19)$$

dengan :

$f_{ps} = 0,7 f_{pu}$ untuk tendon pasca tarik

$f_{ps} = 0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$, akibat gaya penjangkaran tendon.

$f_{ps} = 0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$, sesaat setelah pemindahan gaya prategang.

Untuk beton prategang dengan tulangan non-prategang :

Luas baja prategang yang diperlukan

$$A_{psp} = \frac{P_i p}{f_{psl}} \quad (3.20)$$

Luas baja non-prategang yang diperlukan :

$$M_{np} = A_{psp} \cdot f_{psl} \left[(h - d') - \left(\frac{a}{2} \right) \right] + A_s \cdot f_y \left[(h - d') - \frac{a}{2} \right] \quad (3.21)$$

$$A_{sn} = \frac{M_{np} - \left(A_{psp} \cdot f_{psl} \left[(h - d') - \frac{a}{2} \right] \right)}{f_y \left[(h - d') - \frac{a}{2} \right]} \quad (3.22)$$

3.7 Tata Letak Tendon

Persamaan-persamaan tegangan dibawah ini merupakan dasar penting dalam analisis balok beton prategang (Nilson, Arthur H, 1987).

1. Pada saat transfer

$$f_u \geq \frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) c_1}{r^2} \right) - \frac{M_o(x)}{S_1} \quad (3.23)$$

$$|f_{ci}| \geq \left| \frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) c_2}{r^2} \right) + \frac{M_o(x)}{S_2} \right| \quad (3.24)$$

2. Pada saat layan

$$|f_{cs}| \geq \left| -\frac{P_c}{A_c} \left(1 + \frac{e(x) c_1}{r^2} \right) + \frac{M_t(x)}{S_1} \right| \quad (3.25)$$

$$f_{ts} \geq \frac{P_c}{A_c} \left(1 - \frac{e(x) c_2}{r^2} \right) + \frac{M_t(x)}{S_2} \quad (3.26)$$

Persamaan-persamaan tersebut digunakan untuk mengontrol agar tegangan di sepanjang bentangan tidak melampaui nilai-nilai tegangan ijin, dengan demikian persamaan tersebut dapat digunakan untuk perencanaan penampang yang memenuhi syarat.

Pada balok menerus misalnya dengan empat perletakan, dengan prinsip bahwa titik berat tendon diletakkan pada sisi momen lentur yang menyebabkan tarik, maka perletakkan kabel untuk daerah lapangan berada dibawah garis netral dan di tumpuan perletakan kabel di atas garis netral. Dengan demikian, eksentrisitas letak kabel prategang di sepanjang balok harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak menyebabkan timbulnya tegangan-tegangan yang melampaui tegangan ijin yang diharapkan, dengan kata lain , letak tendon prategang diatur tidak menetap pada elevasi tertentu di sepanjang balok, terkadang di bawah atau di atas garis netral bervariasi sesuai dengan kebutuhannya.

Dengan mengembangkan persamaan-persamaan (3.23,3.24,3.25,3.26) maka tata letak tendon dapat diperhitungkan dengan menggunakan batasan-batasan (Arthur H. Nilson, 1987)

$$\bullet \quad e(x) \leq -\frac{f_{ti} S_t}{P_i} - \frac{S_t}{Ac} + \frac{M_o(x)}{P_i} \quad (3.27)$$

$$\bullet \quad e(x) \leq -\frac{f_{ci} S_b}{P_i} - \frac{S_b}{Ac} + \frac{M_o(x)}{P_i} \quad (3.28)$$

$$\bullet \quad e(x) \geq \frac{f_{cs} S_t}{P_e} + \frac{S_t}{Ac} + \frac{M_t(x)}{P_e} \quad (3.29)$$

$$\bullet \quad e(x) \geq -\frac{f_{ts} S_b}{P_e} - \frac{S_b}{Ac} + \frac{M_t(x)}{P_e} \quad (3.30)$$

3.8 Tegangan Beton dan Tendon

Kontrol tegangan dilakukan pada beton prategang sistem pasca tarik dengan kondisi terekat.

- Untuk prategang penuh

Pada saat transfer, dipakai penampang netto :

$$A_{c \text{ netto}} = A_c - A_{\text{selubung}} \quad (3.31)$$

Pada saat layan, dipakai penampang bruto :

$$A_{t \text{ bruto}} = A_c + (n-1) A_{ps} \quad (3.32)$$

- Untuk prategang parsial

Pada saat transfer, dipakai penampang netto :

$$A_{c\text{ netto}} = A_c - A_{\text{selubung}} - (n-1)A_{sn} \quad (3.33)$$

Pada saat layan, dipakai penampang bruto :

$$A_{t\text{ bruto}} = A_c + (n-1) A_{ps} + (n-1)A_{sn} \quad (3.34)$$

A. Tegangan ijin beton

Tegangan ijin beton sesuai SK SNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut

1. Sesaat setelah pelimpahan (transfer) gaya prategang

- Tegangan pada tepi tarik $f_{ti} = 0,25 \sqrt{f'_{ci}}$
- Tegangan pada tepi tekan $f_{ci} = 0,6 f'_{ci}$

2. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang

- Tegangan pada tepi tekan $f_{cs} = 0,45 f'_c$
- Tegangan pada tepi tarik $f_{ts} = 0,5 \sqrt{f'_c}$

B. Tegangan pada saat transfer

1. Tegangan beton

Kontrol tegangan pada kondisi beton pasca tarik

- Pada serat tarik (atas)

$$f_{ti} = -\frac{P_i}{A_{cnet}} + \frac{P_i e c_t}{I_{cnet}} - \frac{M_o c_t}{I_{cnet}} \quad (3.35)$$

- Pada serat tekan (bawah)

$$f_{ci} = -\frac{P_i}{A_{cnet}} - \frac{P_i e c_b}{I_{cnet}} + \frac{M_o c_b}{I_{cnet}} \quad (3.36)$$

2. Tegangan tendon

$$f_{ts} = -\frac{P_e}{A_t \text{ brut}} + \frac{P_e \cdot e \cdot c_t}{I_e \text{ brut}} - \frac{M_l \cdot c_t}{I_e \text{ brut}} \quad (3.40)$$

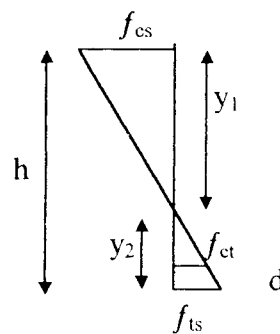
- Pada serat tarik

$$f_{cs} = -\frac{P_e}{A_c \text{ brut}} - \frac{P_e \cdot e \cdot c_b}{I_e \text{ brut}} + \frac{M_l \cdot c_b}{I_e \text{ brut}} \quad (3.41)$$

2. Tegangan tendon

- Tegangan efektif tendon

$$f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}} \quad (3.42)$$



$$y_1 = \frac{f_{cs}}{f_{cs} + f_{ts}} h \quad y_2 = h - y_1$$

- Tegangan beton didaerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = \frac{y_2 \cdot d_i}{y_1} f_{cs} \quad (3.43)$$

- Tegangan tendon saat akhir/layan

$$f_s = f_{se} + n f_{ct} \geq f_{si} \quad (3.44)$$

3.9 Analisis Kekuatan Struktur

3.9.1 Analisis Lentur

Saat beban yang bekerja pada beton bertulang sama dengan nol, maka tegangan pada tulangan juga nol, sedang pada beton prategang terjadi sebaliknya, tanpa beban luar besar tegangan pada kabel-kabel tarik tidak sama dengan nol melainkan sebesar tegangan prategang efektif f_{se} yaitu besar tegangan prategang yang terjadi setelah dikurangi dengan kehilangan tegangan pada proses pelaksanaan prategang (Winter, George dan Nilson, Arthur H , 1993). Besar regangan tulangan pada saat beban bekerja sama dengan nol adalah:

$$\epsilon_{se} = \frac{f_{se}}{E_s} \quad (3.45)$$

Selanjutnya, besar regangan dan tegangan yang terjadi karena bekerjanya beban luar dapat ditambahkan pada tegangan dan regangan awal ini.

Untuk baja prategang, keruntuhan terjadi hanya setelah baja melampaui tegangan leleh f_{py} . Seluruh kekuatan tarik baja prategang f_{pu} , tidak dapat dipakai untuk memikul besar momen nominal melainkan hanya suatu bagian yang lebih kecil dari kekuatan tersebut yaitu pada besar $f_{ps} < f_{pu}$ yang dapat dipakai. Untuk perencanaan nilai perkiraan f_{ps} disusun melalui persamaan berikut (Nilson, Arthur H 1987) ini.

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \rho_p f_{pu}}{\beta_1 f'_c} \right) \quad (3.46)$$

Sedang f_{ps} menurut SK-SNI dihitung dengan rumus:

- Tendon terekat (pratarik dan pascatarik)

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \rho_p f_{pu}}{\beta_1 f'_c} \right) \quad (3.47)$$

Apabila menyertakan tulangan non prategang

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d(w-w')}{d_p} \right) \right) \quad (3.48)$$

dan $\left(\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d(w-w')}{d_p} \right) \geq 0,17$ serta nilai $d' \leq 0,15.d_p$

dengan $\gamma_p = 0,28$ untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,90$ kabel bebas tegangan

$\gamma_p = 0,40$ untuk $\frac{f_{pu}}{f_{pu}} = 0,85$ kabel dengan relaksasi rendah

β_1 = konstanta yang tergantung pada mutu beton

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

$$f'_c > 30 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \geq 0,65$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b.d_p} = \text{rasio penulangan prategang}$$

SK-SNI memberikan batasan rasio tulangan prategang

$$w_p = \frac{\rho \cdot f_{ps}}{f'_c} \leq 0.36 \cdot \beta_1$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_y}{f'_c} \text{ dan } w' = \frac{\rho' \cdot f_y}{f'_c} \rightarrow \text{ untuk tulangan non prategang}$$

- Tendon tak terekat

- Perbandingan antara bentang terhadap tinggi komponen ≤ 35

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \cdot \rho_p} \quad (3.49)$$

dimana $f_{ps} \leq f_{py}$ dan $f_{ps} \leq f_{se} + 400$

- Perbandingan antara bentang terhadap tinggi komponen > 35

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_p} \quad (3.50)$$

dimana $f_{ps} \leq f_{py}$ dan $f_{ps} \leq f_{se} + 200$

$$f_{se} \geq 0,50 f_{pu} ; f_{se} = \frac{P_e}{A_{ps}}$$

Besar gaya tarik yang terjadi pada saat keruntuhan adalah :

$$\Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} \quad (3.51)$$

Besar gaya tekan yang terjadi saat keruntuhan adalah :

$$\Sigma N_D = 0,85 f'_c \cdot ab \quad (3.52)$$

Dengan keseimbangan gaya-gaya, $\Sigma N_T = \Sigma N_D$, maka didapatkan :

$$a = \frac{A_{ps} f_{se}}{0,85 f_c' b} = \frac{\rho_p b d f_{ps}}{0,85 f_c' b} = \frac{\rho_p d f_{ps}}{0,85 f_c'} \quad (3.53)$$

Selanjutnya persamaan tersebut dimasukkan dalam kuat momen nominal

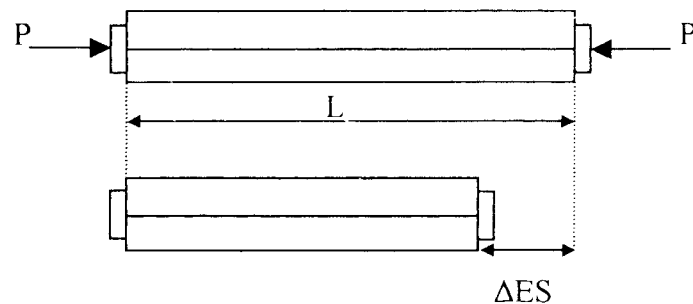
$$M_n = \sum N_i \left[d - \frac{a}{2} \right] \quad (3.54)$$

3.10 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur beton prategang karena berpengaruh pada tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang, pada keadaan awal ataupun keadaan *service*.

Kehilangan gaya prategang dapat diperkirakan dengan lebih terinci sebagai berikut:

3.10.1 Akibat Perpendekan Elastis Beton



Gambar 3.8 Perpendekan elastis pada beton

Mengacu pada hukum Hooke, perpendekan elastis pada beton adalah:

$$\Delta_{ES} = \frac{P_i \cdot L}{A_c \cdot E_c} \quad (3.55)$$

Regangan yang terjadi pada beton adalah:

$$\epsilon_{ES} = \Delta_{ES} / L \quad (3.56)$$

Kehilangan tegangan adalah:

Sistem pratarik

$$\Delta f_{pES} = \epsilon_{ES} E_s = \frac{E_s P_o}{E_c \cdot A_c} = n \cdot f_{cs} \quad (3.57)$$

Sistem pasca tarik

- Jika hanya terdapat satu tendon, maka tidak terjadi kehilangan akibat perpendekan elastis beton.
- Jika tendon digunakan lebih dari satu dan ditarik bertahap, sehingga gaya prategang menekan beton secara bertahap, maka perpendekan elastis beton bertambah setiap pengankuran tendon.

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\Delta f_{pES})_j \quad (3.58)$$

Dimana :

- | | |
|--|-----------------------------|
| P_o = gaya tekan = $0,9 P_i$ | L = panjang batang |
| A_c = Luas penampang betom | E_c = modulus elastisitas |
| n = perpandingan modulus = E_s / E_c | N = jumlah tendon |
| j = jumlah pengankuran | |

3.10.2 Akibat Pengankuran/Pergeseran Ankur

Untuk kebanyakan sistem *post tensioned*, pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh, dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke ankur. Didalam ankur mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir. Besarnya nilai gelincir rata-rata 6.35 mm – 9.53 mm (1/4 in – 3/8 in)

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} E_p \quad (3.59)$$

Dimana :

Δ_A = pergelinciran ankur L = Panjang bentang

3.10.3 Akibat Rangkak Pada Beton

Rangkak beton adalah besarnya regangan tambahan pada suatu struktur beton yang mengalami regangan konstan, yang diukur dari regangan elastis sampai regangan yang terjadi pada saat tertentu (Nawy,1990). Kehilangan gaya prategang akibat rangkak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta f_{pCR} = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cs} - f_{csd}) \quad (3.60)$$

Dimana :

$K_{cr} = 2,0$ untuk sistem pratarik

$K_{cr} = 1,6$ untuk sistem pasca tarik

$$f_{cs} = \text{tegangan beton} = -\frac{P_o}{Ac} \left(1 - \frac{e^2}{r^2} \right) + \frac{M_D \cdot e}{I_c}$$

f_{csd} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang.

3.10.4 Akibat Susut Pada Beton

Susut pada beton prategang mengakibatkan perpendekan tendon yang ditarik, berarti mengakibatkan kehilangan tegangan. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta f_{pSH} = K_{SH} \cdot \epsilon_{PS} E_{PS} \quad (3.61)$$

Dimana :

$$\epsilon_{PS} = 8,2 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \cdot \frac{v}{s} \right) (100 - R.H) \quad (3.62)$$

$\frac{v}{s}$ = perbandingan volume terhadap luas permukaan

RH = kelembaban relatif

K_{SH} = koefisien susut dilihat dalam tabel

Tabel 3.1 Koefisien susut

	Jangka waktu setelah perawatan (<i>curing</i>) sampai penarikan tendon / transfer (hari)							
	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

3.10.5 Akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja adalah pengurangan tegangan dalam baja pada regangan konstan dan besarnya tergantung waktu dan perbandingan antara f_{pi} dengan f_{pv} . Kehilangan gaya prategang ini pada sistem pratarik dapat terjadi pada sebelum dan sesudah transfer gaya prategang.

Kehilangan tegangan akibat relaksasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \cdot \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_y} - 0.55 \right) \quad (3.63)$$

t = dalam jam

Menurut ACI-ASCE, kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan

$$\Delta f_{pR} = \{K_{re} - J (\Delta f_{pSH} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{Pes})\} C \quad (3.64)$$

Dimana

Δf_{psh} = kehilangan gaya prategang akibat susut beton

Δf_{pCR} = kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton

Δf_{Pes} = kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

K_{re}, J, C = dilihat dari tabel

Tabel 3.2 Nilai K_{re} dan J

Tipe tendon	K_{re} (Mpa)	J
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 Mpa	138	0,150
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 Mpa	128	0,140
Kawat stress- relieved derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	121	0,130
Strand relaksasi rendah derajat 1720 Mpa	35	0,040
Kawat relaksasi rendah derajat 1720 Mpa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	30	0,035

Tabel 3.3 Nilai C

f_{pi}/f_{pu}	Strand atau kawat Stress- relieved	Batang stress-relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0.8		1.28
0.79		1.22
0.78		1.16
0.77		1.11
0.76		1.05
0.75	1.45	1.00
0.74	1.36	0.95
0.73	1.27	0.90
0.72	1.18	0.85
0.71	1.09	0.8
0.7	1.00	0.75
0.69	0.94	0.7
0.68	0.89	0.66
0.67	0.83	0.61
0.66	0.78	0.57
0.65	0.73	0.53
0.64	0.68	0.49
0.63	0.63	0.45
0.62	0.58	0.41
0.61	0.53	0.37
0.6	0.49	0.33

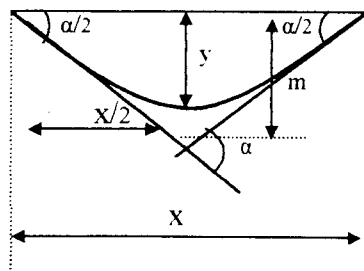
3.10.6 Akibat Gesekan

Pada balok pasca tarik, terjadi gesekan pada dinding saluran yang akan mengakibatkan kehilangan tegangan. Peraturan ACI memberikan gaya dongkrak sampai $0.8 f_{pu}$. Beberapa nilai pendekatan untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat gesekan ini diberikan pada tabel 3.4.

Lin dan Burn (1993) memberikan persamaan untuk memprediksikan kehilangan gaya prategang akibat gesekan sebagai berikut:

$$\Delta f_{pF} = f_{pi} \cdot [(\mu \cdot \alpha) + (K \cdot L)] \quad (3.65)$$

Dimana f_{pi} = Tegangan awal tendon
 K = Koefisien gesekan pergoyangan
 μ = Koefisien gesekan lengkung
 α = Perubahan sudut kabel dari ujung dongkrak ketitik x
 (dalam radian)



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{x/2} = \frac{2m}{x}$$

jika $y = \frac{1}{2} m$ dan $\alpha/2 = 4y / x$, maka $\alpha = (8y / x)$ radian.

Tabel 3.4 Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon-tendon *post tensioned*.

Tipe Tendon	Koefisien Wobble K Tiap meter	Koefisien Kelengkungan μ
Tendon Pada saat selubung logam fleksibel		
Tendon Kawat	0.0033 – 0.0049	0.15 – 0.25
Strand dengan untai 7-kawat	0.0016 – 0.0066	0.15 – 0.25
Batang baja mutu tinggi	0.0003 – 0.0020	0.08 – 0.30
Tendon Pada selubung logam kaku		
Strand dengan untai 7-kawat	0.0007	0.15 – 0.25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand dengan untai 7-kawat	0.001 – 0.0066	0.05 – 0.15
Tendon yang diberi lapisan mastik:		
Tendon kawat dan strand dengan untai 7-kawat	0.0033 – 0.0066	0.05 – 0.15

3.11 Analisis Lendutan

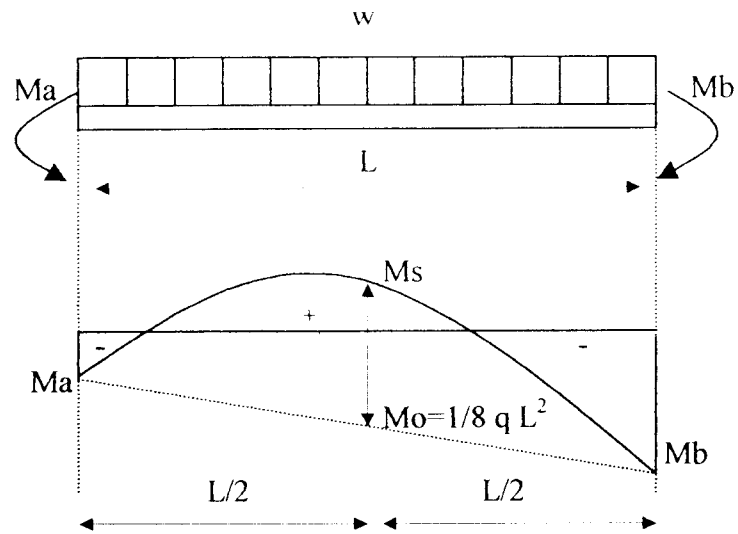
Lendutan adalah perubahan posisi suatu titik dari batang sebelum bekerjanya beban sehingga beban bekerja. Lendutan pada balok prategang berbeda dengan balok bertulang biasa. Pada balok bertulang biasa lendutan dipengaruhi oleh beban yang bekerja padanya selain faktor susut dan rangkai pada lendutan jangka panjang. Pada balok prategang selain dipengaruhi beban yang bekerja juga dipengaruhi oleh gaya prategang yang bekerja. Lendutan akibat gaya prategang ini dapat digunakan dengan lebih menguntungkan untuk menghasilkan lendutan keatas. Lendutan pada balok beton prategang terdiri dari dua jenis yaitu lendutan jangka pendek dan lendutan jangka panjang. Terdapat faktor-faktor yang tergantung pada waktu dapat

memperbesar lendutan, seiring dengan bertambahnya waktu, sehingga dalam mendesain suatu struktur harus dievaluasi lendutan jangka pendek (*short term*), maupun lendutan jangka panjang (*long term*) agar lendutan ini terjamin dan tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu. Faktor-faktor yang tergantung waktu ini disebabkan oleh rangkai (*creep*) dan susut (*shrinkage*) dari beton serta relaksasi dari baja.

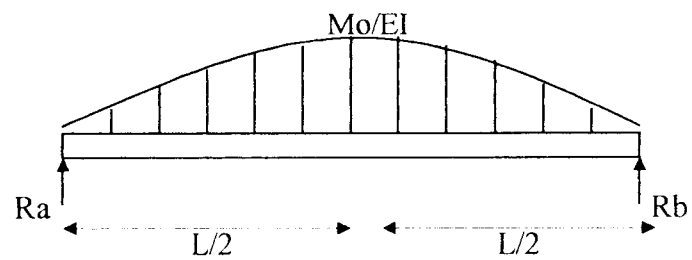
a. Lendutan jangka pendek (*short term*)

Lendutan jangka pendek adalah lendutan yang terjadi segera setelah beban bekerja. Pada balok prategang lendutan jangka pendek dibedakan menjadi dua yaitu lendutan yang arahnya keatas (*chamber*) diakibatkan oleh gaya prategang awal dan lendutan yang arahnya ke bawah diakibatkan oleh berat sendiri balok.

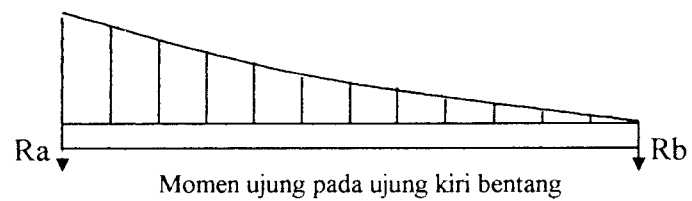
Besar lendutan jangka pendek δP_i akibat gaya prategang awal P_i dapat ditentukan berdasarkan perubahan momen prategang sepanjang bentang, dengan memakai prinsip luas momen (George Winter & Arthur H, Nilson ,1993). Dan lendutan yang arahnya kebawah akibat berat sendiri beton δ_g ,dapat diperoleh dengan menggunakan metode balok konjugasi (Wang, Chu-Kia dan solmon, Charles G, 1989). Didalam metode balok konjugasi ini lendutan pada suatu titik tertentu sama dengan momen lentur pada titik tersebut untuk balok yang dibebani dengan diagram M El. Sistem dalam gambar 3-9 dapat dianggap terdiri dari tiga balok konjugasi terpisah yang diperlihatkan pada gambar 3-10.



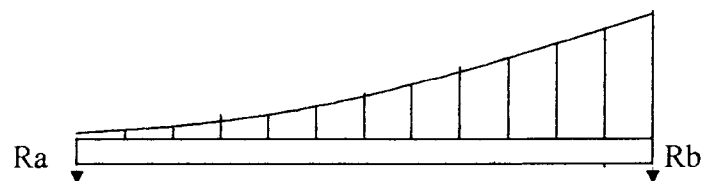
Gambar 3.9 Diagram momen lentur untuk balok menerus dengan beban merata



Balok sederhana dengan beban merata



Momen ujung pada ujung kiri bentang



Momen ujung pada ujung kanan bentang

Gambar 3.10 Balok-balok konjugasi

Lendutan di titik tengah pada ketiga balok konjugasi tersebut adalah :

- Akibat beban merata, $\delta_s = \frac{2}{3} \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{Mo}{EI} \right) \left\{ \frac{L}{2} - \frac{3}{8} \left(\frac{L}{2} \right) \right\} = \frac{5MoL^2}{48.EI}$ (3.66)

- Akibat momen ujung kiri $\delta_a =$

$$\frac{1}{3} \left(\frac{-Ma}{EI} \right) \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{L}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{-Ma}{2EI} \right) \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{L}{2} \right) = \frac{-Ma.L^2}{16EI}$$
 (3.67)

- Akibat momen ujung kanan $\delta_b = \frac{-Mb.L^2}{16.EI}$ (3.68)

Lendutan ditengah bentang pada struktur bentangan menerus yang menahan beban merata di seluruh panjangnya digunakan pendekatan perkiraan sebagai berikut:

$$\delta_m = \delta_s + \delta_a + \delta_b$$
 (3.69)

$$\delta_m = \frac{L^2}{48.EI} (5.Mo - 3.(Ma + Mb))$$
 (3.70)

Sedangkan momen positif ditengah bentang adalah

$$M_m = Mo - \frac{1}{2} (Ma + Mb)$$

$$\delta_m = \frac{5L^2}{48.EI} \left(M_m - \frac{1}{10} (Ma + Mb) \right)$$
 (3.71)

- Lendutan ke atas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\delta_{pi} = \frac{5.P_i . e . L^2}{48 EI} - \frac{P_i . e . L^2}{8EI}$$

b. Lendutan jangka panjang (*long term*)

Pada balok prategang lendutan jangka panjang dipengaruhi oleh lendutan sesaat (jangka pendek), rangkai beton, susut beton, relaksasi baja, dan kehilangan gaya prategang yang dipengaruhi waktu.

Faktor yang berpengaruh:

❖ Rangkai beton

Rangkai beton (*creep*) adalah besarnya regangan tambahan pada suatu struktur beton yang mengalami regangan konstan, yang diukur dari regangan yang terjadi pada saat tertentu (Nawy, 1990)

Untuk menghitung koefisien rangkai beton dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_t = \frac{t^{0,6}}{10 + t^{0,6}} C_u \quad (3.73)$$

Dimana, C_t = koefisien rangkai pada waktu t

C_u = koefisien rangkai batas = 2,35 K

K = koefisien koreksi untuk rangkai

$K = 1,0$ jika dalam kondisi standar.

t = dalam hari

Tabel 3.5 Faktor yang mempengaruhi rangkai pada kondisi standar

Keterangan	Kondisi standar
Tipe semen	Tipe I dan tipe III
Slomp beton	2,7 in
Kadar udara	< 6 %
Kehalusan agregat	50 %
Kadar semen	278 – 449 kg/m ³
<i>Initial moist curing</i>	7 hari
Kelembaban relatif	40 %
Temperatur beton	23 ± 2 °C

❖ Susut Beton

Susut pada beton (*shrinkage*) adalah kondisi akibat pengeringan dan perubahan kimiawi yang tergantung pada waktu dan keadaan kelembaban, tetapi tidak pada tegangan.

Untuk menghitung koefisien susut dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35 + t} (\epsilon_{SH})_u \quad (3.74)$$

Dimana:

t = umur beton

$$\epsilon_{SH} = 800 \cdot 10^{-6} \text{ in/in}$$



❖ Relaksasi Baja

Relaksasi baja adalah pengurangan tegangan dalam baja pada regangan konstan dan besarnya tergantung waktu dan perbandingan antara f_{pi} dengan f_{py} .

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \cdot \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \cdot \left(\frac{f_{pi}}{f_y} - 0.55 \right) \quad (3.75)$$

Total lendutan yang terjadi pada akhir umur rencana dengan metode *Approximate Time Step*

$$\delta_T = \delta_{pi} - \delta_m + \left\{ 1 - \frac{\Delta_p}{P_i} + \lambda \cdot (kr \cdot Ct) \right\} \delta_{pi} - (1 + kr \cdot Ct) \delta_D - (1 + kr \cdot Ct \cdot \beta_s) \delta_{SD} - \delta_L$$

Dimana, (3.76)

δ_{pi} = lendutan keatas akibat gaya prategang

Δ_p = Total kehilangan gaya prategang minus kehilangan elastis beton.

P_i = Gaya prategang pada saat transfer

δ_{SD} = Lendutan akibat beban mati

δ_D = Lendutan akibat berat sendiri balok

δ_L = Lendutan akibat beban hidup

Ct = Koefisien rangkai pada waktu t

BAB IV

PERENCANAAN DAN ANALISIS

4.1 Data Analisis

Direncanakan sebuah balok dengan :

- Mutu beton $f_c' = 45 \text{ Mpa}$
- Saat transfer kuat beton diperkirakan mencapai 80 % f_c'
 $f_{ci}' = 0,8 \times 45 = 36 \text{ Mpa}$
- Kuat tarik ultimit baja prategang (f_{pu}) = 1860 Mpa
- Modulus elastis beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{45} = 31528,5585 \text{ Mpa}$
- Modulus elastik baja prategang (E_s) = $2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$
- $n = \frac{E_s}{E_c} = 6,343$
- Bentang balok = $L = 60 \text{ m}$
- Jarak antar gelagar = $B = 1,8 \text{ m}$
- Kelas jembatan I
- $\gamma \text{ beton} = 24 \text{ kN/m}^3$

4.2 Tegangan Ijin Beton

Tegangan yang terjadi pada balok beton prategang harus memenuhi persyaratan ijin sebagai berikut:

1. Saat Transfer

a. Serat bawah (tekan) $f_{ci} = 0,6 \times f_{ci}' = 0,6 \times 36 = -21,6 \text{ Mpa}$

b. Serat atas (tarik) $f_{ti} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,25 \times \sqrt{36} = 1,5 \text{ Mpa}$

2. Saat Layan

a. Serat bawah (tarik) $f_{ts} = 0,5 \times \sqrt{f_c'} = 0,5 \times \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa}$

b. Serat atas (tekan) $f_{cs} = 0,45 \times f_c' = 0,45 \times 45 = -20,25 \text{ Mpa}$

4.3 Pembebanan

• Beban Mati

- Pelat lantai tebal 22 cm $= 0,22 \times 1,8 \times 24 = 9,504 \text{ kN/m}$

- Aspal $= 0,05 \times 22 \times 1,8 = 1,98 \text{ kN/m}$
 $\underline{\hspace{10em}}$
 $= 11,484 \text{ kN/m}$

• Beban Sendiri

- diasumsikan $= 15 \text{ kN/m}$

• Beban Hidup

- Beban merata $= 22 \times 1,8 \times 70\% \times \frac{1}{2,75} = 10,08 \text{ kN/m}$

- Beban titik $= 120 \times 1,8 \times 70\% \times \frac{1}{2,75} = 54,982 \text{ kN}$

4.4 Perhitungan Momen

Bentangan terletak pada 3 perletakkan dan perhitungan momen menggunakan metode *slope deflection*.

A. Momen akibat beban mati

- Bentang A-B-C

- FEM

$$= 1/12 w L^2$$

$$FEM_{AB} = -861,3 \text{ kn.m}$$

$$FEM_{BA} = +861,3 \text{ kn.m}$$

$$FEM_{BC} = +861,3 \text{ kn.m}$$

$$FEM_{CB} = -861,3 \text{ kn.m}$$

- $M_{AB} = 2 EK (2\theta_A + \theta_B - 3\psi) + FEM_{AB}$
 $= 0$

- $M_{BA} = 2 EK (\theta_A + 2\theta_B - 3\psi) + FEM_{BA}$
 $= 3 \theta_B + 1291.95$

- $M_{BC} = 2 EK (2\theta_B + \theta_C - 3\psi) + FEM_{BC}$
 $= 4\theta_B + 2\theta_C - 861,3$

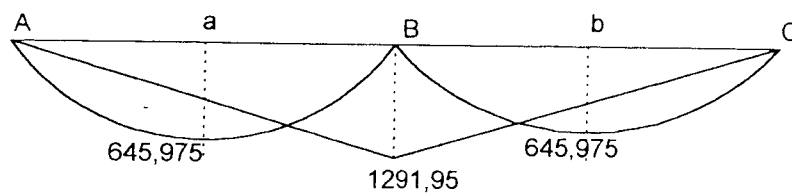
- $M_{CB} = 2 EK (\theta_B + 2\theta_C - 3\psi) + FEM_{CB}$
 $= 2\theta_B + 4\theta_C + 861,3 = 0$

- $\Sigma MB = 0 \quad M_{BA} + M_{BC} = 0$

Diperoleh : $\theta_B = 0$ dan $\theta_C = -215,325$

Momen yang terjadi:

- $M_{AB} = 0$
- $M_{BA} = 1291,95 \text{ kN.m}$
- $M_{BC} = -1291,95 \text{ kN.m}$
- $M_{CB} = 0$



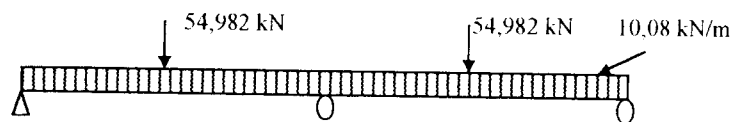
B. Momen Akibat beban sendiri

$$M_a = 843,75 \text{ kN.m}$$

$$M_B = -1687,5 \text{ kN.m}$$

$$M_b = 843,75 \text{ kN.m}$$

C. Momen Akibat beban hidup



Dihitung dengan menggunakan metode deformasi konsisten (dapat dilihat pada lampiran) dan menghasilkan momen sebesar:

$$M_a = 824,73 \text{ kN.m}$$

$$M_B = -1443,27 \text{ kN.m}$$

$$M_b = 824,73 \text{ kN.m}$$

4.5 Perhitungan Modulus Tampang rencana

$$S_t \geq \frac{(1-R)M_D + M_{SD} + M_L}{R.f_u - f_{cs}}$$

$$S_t \geq \frac{(1-0,8)1291,95.10^6 + 1687,5.10^6 + 1443,27.10^6}{(0,8.1,5 + 20,25)}$$

$$S_t \geq 1,58.10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_b \geq \frac{(1-R)M_D + M_{SD} + M_L}{f_{ts} - R.f_{ci}}$$

$$S_b \geq \frac{(1-0,8)121,95.10^6 + 1687,5.10^6 + 1443,27.10^6}{3,35 + (0,8.21,6)}$$

$$S_b \geq 1,489 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

4.6 Perencanaan Prategang Penuh Sistem Pasca-Tarik

4.6.1 Perhitungan Dimensi Penampang

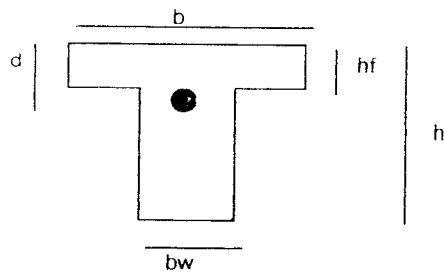
Untuk menentukan tinggi balok menggunakan persamaan $h = k\sqrt{M}$

$$M = 1687,5 \text{ kn.m} = 168,75 \text{ t.m}$$

$$h = 10\sqrt{168,75} \text{ s/d } 15\sqrt{168,75}$$

$$h = 129,9 \text{ cm s/d } 194,8 \text{ cm}$$

$$h \text{ diambil } 150 \text{ cm} = 1500 \text{ mm}$$



$$b = 800 \text{ mm}$$

$$hf = 200 \text{ mm}$$

$$bw = 400 \text{ mm}$$

$$hw = 1500 - 200 = 1300 \text{ mm}$$

Cek tinggi penampang

$$St = 200 \cdot 800 \cdot (Ct - 100) + \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot (Ct - 200)^2$$

$$1,58 \cdot 10^8 = 160000 \cdot Ct - 16000000 + 200 Ct^2 - 80000 \cdot Ct + 8000000$$

$$0 = 200 \cdot Ct^2 + 80000Ct - 166000000$$

$$Ct = 732,7 \text{ mm}$$

$$Sb = \frac{1}{2} \cdot Cb^2 \cdot 400$$

$$1,489 \cdot 10^8 = 200 \cdot Cb^2$$

$$Cb = 862,8 \text{ mm}$$

Maka: $h = Ct + Cb = 732 + 862,8 \text{ mm} = 1595 \text{ mm}$ diambil 1500 mm

4.6.2 Perhitungan Propertis Penampang

- a. Luas tampang

$$A_c = 680000 \text{ mm}^2$$

- b. Menentukan Letak Pusat Berat

$$C_t = \frac{(h_f \cdot b \cdot (h_f / 2) + h_w \cdot h_w \cdot (h_f + h_w / 2))}{A_c}$$

$$= \frac{(200 \cdot 1000 \cdot (200 / 2) + 400 \cdot 1350 \cdot (200 + 1350 / 2))}{740000}$$

$$= 673,53 \text{ mm}$$

$$C_b = h - C_t$$

$$= 1500 - 673,53$$

$$= 826,47 \text{ mm}$$

- c. Momen akibat beban sendiri

$$W_{SD} = A_c \cdot \gamma$$

$$= 0,68 \cdot 2,4$$

$$= 16,32 \text{ kN/m}$$

$$M = 1836 \text{ kN.m}$$

- d. Momen Inersia Balok

$$I = (1/12 \cdot 800 \cdot 200^3) + (800 \cdot 200 \cdot (673,53 - 100)^2) + (1/12 \cdot 1300^3 \cdot 400) \cdot$$

$$+ (1300 \cdot 400 \cdot (650 - 826,47)^2)$$

$$= 1,426 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

- e. Jari-jari putar

$$r^2 = \frac{I}{Ac} = \frac{1.426.10^{11}}{680000}$$

$$= 209691,465 \text{ mm}^2$$

f. Modulus penampang

$$S_t = \frac{I}{C_t}$$

$$= \frac{1.426.10^{11}}{674,53}$$

$$= 2,117.10^8 \text{ mm}^4 > S_t \quad \text{ok!}$$

$$S_b = \frac{I}{C_b}$$

$$= \frac{1.426.10^{11}}{826,47}$$

$$= 1,725.10^8 \text{ mm}^4 > S_b \quad \text{ok!}$$

4.6.3 Perhitungan Desain Beton Prategang

$$M_{SD} = 1836 \text{ kN.m}$$

$$M_T = M_{SD} + M_D + M_L$$

$$= 1836 + 1291,95 + 1443,27$$

$$= 4571,22 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{SD}}{M_T} = 0,4016 > 0,2 \quad \text{ok}$$

a. Besar Gaya Prategang

❖ Tegangan beton pada pusat beton

$$\begin{aligned}
 f_{cci} &= f_u - \frac{e_t}{h} (f_u - f_{ci}) \\
 &= 1,5 - \frac{673,53}{1500} \cdot (1,5 + 21,6) \\
 &= -8,8723 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

❖ Gaya Prategang Awal

$$\begin{aligned}
 P_i &= |f_{cci}| A_c \\
 &= 8,8723 \cdot 680000 \\
 &= 6033164 \text{ N} \\
 &= 6033,164 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Luas Baja Prategang

Berdasarkan Lampiran 1 Digunakan kabel tendon VSL tipe 6-12 dan tipe *strand* ASTM A416-85 *Grade* 270 .

Jumlah tendon yang dibutuhkan

$$\frac{6033,164 \cdot 10^3}{3128 \cdot 10^3} = 1,93 \approx 2.bh$$

Data mengenai kabel tendon adalah sebagai berikut:

- a. Diameter satuan kabel : 15,2 mm
- b. Luas satuan kabel : 140 mm²
- c. Kuat tarik tendon : 1860 Mpa
- d. Tegangan leleh kawat : 1670 Mpa
- e. Diameter internal/eksternal selubung : 80/87mm

Jadi dipakai 2 buah tendon VSL berisi 12 kabel.

$$A_{ps} = 12 \cdot 140 \cdot 2 = 3360 \text{ mm}^2$$

4.6.4 Kontrol Kekuatan Lentur

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \frac{3360}{800 \cdot (1500 - 80)} = 0,002957$$

$$f_c' = 45 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008(45 - 30) = 0,73$$

$$\frac{f_{pv}}{f_{pu}} = \frac{1670}{1860} = 0,898 \geq 0,85 \rightarrow \gamma_p = 0,4$$

$$f_{ps} = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \cdot 0,002957 \cdot 1860}{0,73 \cdot 45} \right] = 1735,40 \text{ Mpa}$$

$$w_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_c'} = \frac{0,002957 \cdot 1735,40}{45} = 0,114 < 0,36 \cdot \beta_1$$

Besar kapasitas momen adalah:

$$\text{Gaya tarik : } \Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} = 3360 \cdot 1735,40 = 5830,95 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tekan : } \Sigma N_D = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

Keseimbangan gaya dalam $N_T = N_D$ maka

$$(b \cdot a) = \frac{N_D}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{5830,95 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 45} = 152443,1373 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{152443,1373}{800} = 190,554 \text{ mm}$$

$$M_u = 1,2(1836 + 1291,95) + (1,6 \cdot 1443,27) = 6062,772 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_u}{\theta} = \frac{6062,772}{0,8} = 7578,47 \text{ kNm}$$

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 5830,95 \left(1420 - \frac{190,554}{2}\right)$$

$$= 7724,394 \text{ kN.m}$$

$$> \frac{Mu}{\theta} = 7578,47 \text{ kN.m ok}$$

Maka tidak diperlukan tulangan non prategang

4.6.5 Perhitungan Sifat Penampang

A. Saat Transfer

$$A_c = 680000 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 87^2 = 11889,357 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{netto}} = A_c - A_s = 668110,64 \text{ mm}^2$$

$$d' = 80 \text{ mm}$$

$$C_t = \frac{(hf \cdot b \cdot (hf / 2) + bw \cdot hw \cdot (hf + hw / 2) - A_s \cdot (d'))}{A_{\text{netto}}}$$

$$= \frac{(200 \cdot 800 \cdot (200 / 2) + 400 \cdot 1300 \cdot (200 + 1300 / 2) - 11889,357 \cdot 80)}{668110,64}$$

$$= 684,09 \text{ mm}$$

$$C_b = 1500 - 684,09 = 815,91 \text{ mm}$$

$$E = C_t - d' = 684,09 - 80 = 604,09 \text{ mm}$$

$$I = \left(\frac{1}{12} \cdot 800 \cdot 200^3\right) + \left(800 \cdot 200 \cdot (684,09 - 200/2)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 1300^3\right) - \left(400 \cdot 1300 \cdot (815,91 - (200 + 1300/2))^2\right) - \left(\frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 87^4 \cdot 2\right) - \left(11889,357 \cdot 604,09^2\right)$$

$$= 1,383 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$St = \frac{1,383 \cdot 10^{11}}{684,09} = 2,0219 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$Sb = \frac{1,383 \cdot 10^{11}}{815,91} = 1,695 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

- Menghitung eksentrisitas tendon

$$e \leq \frac{1,5 \cdot 2,0219 \cdot 10^8}{6033,2 \cdot 10^3} + \frac{2,0219 \cdot 10^8}{668 \cdot 10^3} + \frac{1836 \cdot 10^6}{6033,2 \cdot 10^3} = 657,228 \text{ mm}$$

$$e \leq -\frac{21,6 \cdot 1,695 \cdot 10^8}{6033,2 \cdot 10^3} - \frac{1,695 \cdot 10^8}{668 \cdot 10^3} + \frac{1836 \cdot 10^6}{6033,2 \cdot 10^3} = 657,522 \text{ mm}$$

Diambil $e = 657,522 \text{ mm} > e(\text{kritis}) = 604,09 \text{ mm}$

Dipakai $e = 604,09 \text{ mm}$

B. Saat Layan

$$Ac = 680000 \text{ mm}^2$$

$$Aps = 12 \cdot 140 \cdot 2 = 3360 \text{ mm}^2$$

$$n = 6,3435$$

$$A_{\text{tran}} = Ac + (n-1)Aps = 680000 + (5,3435 \cdot 3360) = 697954,01 \text{ mm}^2$$

$$Ct = \frac{(200 \cdot 800 \cdot (100) + 400 \cdot 1300 \cdot (850) + (6,3435 - 1) \cdot 3360 \cdot 80)}{697954,01}$$

$$= 658,26 \text{ mm}$$

$$Cb = 1500 - 658,26 = 841,738 \text{ mm}$$

$$E = Ct - 80 = 578,26 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I &= (1/12.800.200^3) + (800.200.(658,26-200.2)^2) + (1/12.400. \\
 &\quad 1300^3) + (400.1300.(841,738-(200+1300.2)^2) + (6.343-1). \\
 &\quad 3360.578,26^2) \\
 &= 1,896.10^{11} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$St = \frac{1,896.10^{11}}{658,26} = 2,88.10^8 \text{ mm}^4$$

$$Sb = \frac{1,896.10^{11}}{841,738} = 2,25.10^8 \text{ mm}^4$$

4.6.6 Kehilangan Gaya Prategang

- ✓ Akibat Perpendekan elastis

Karena penarikan tendon dilakukan langsung, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton adalah:

$$\Delta f_{pES} = 0 \text{ Mpa.}$$

- ✓ Akibat pengangkuran/pergeseran tendon

Pergeseran ankur $\Delta_A = 0,635 \text{ cm}$

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} . Eps = \frac{0,635}{3000} . 200000 = 42,33 \text{ Mpa}$$

- ✓ Akibat rangkaiak beton

$$f_{CS} = \frac{-6033,2.10^3}{697954,01} \left(1 + \frac{604,09^2}{207034,1} \right) + \frac{1291,95.10^6}{1,383.10^{11}} = -19,304 \text{ kN}$$

$$= 91,495 \text{ Mpa}$$

✓ Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR} = (K_{re} - J(\Delta f_{pa} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}).C$$

Dari tabel diperoleh :

$$K_{re} = 35$$

$$J = 0.15$$

$$\Delta f_{pR} = (35 - 0.15 (114,55 + 25,9678)) = 18,933 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan gaya prategang adalah:

$$\begin{aligned} \Delta f_p &= 0 + 42,33 + 114,55 + 91,495 + 25,9678 + 18,933 \\ &= 293,2758 \text{ Mpa} \\ &= \frac{1302 - 293,2758}{1302} \cdot 100\% = 77,474\% \end{aligned}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$100 - 77,474 = 22,525 \%$$

Gaya Prategang efektif

$$\begin{aligned} P_e &= (1 - LOP) \cdot P_i \\ &= (1 - 0.77474) \cdot 6033,2 \\ &= 4674,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.6.7 Kontrol Tegangan Beton dan Tendon

A. Saat Transfer

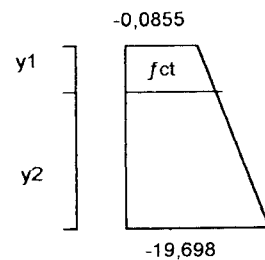
- Tegangan beton

$$f_{ti} = -\frac{6033,2 \cdot 10^3}{6,681 \cdot 10^5} + \frac{6033,2 \cdot 10^3 \cdot 604,09 \cdot 684,0916}{1,383 \cdot 10^{11}} - \frac{1836 \cdot 10^6 \cdot 684,0916}{1,383 \cdot 10^{11}}$$

$$= -0,0855 \text{ Mpa} < 1,5 \text{ Mpa} \text{ ok}$$

$$f_{ci} = -\frac{6033,2 \cdot 10^3}{6,681 \cdot 10^5} - \frac{6033,2 \cdot 10^3 \cdot 604,09 \cdot 815,9}{1,383 \cdot 10^{11}} + \frac{1836 \cdot 10^6 \cdot 815,9}{1,383 \cdot 10^{11}}$$

$$= -19,698 \text{ Mpa} < 21,6 \text{ Mpa} \text{ ok}$$



- Tegangan tendon

$$A_{ps} = 3360 \text{ mm}^2$$

$$f_{si} = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{6033,2 \cdot 10^3}{3360} = 1795,6 \text{ Mpa}$$

$$y1 = 80 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1500 - 80 = 1420 \text{ mm}$$

$$f_{ci} = \frac{(y_1 \cdot f_{ci}) + (y_2 \cdot f_{ti})}{h} = \frac{(80 \cdot 0,0855) + (1420 \cdot 19,698)}{1500} = -1,1315 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 1796,1 + (6.343 - 1) \cdot 1,1315 = 1788,417 \text{ Mpa}$$

B. Saat Layan

Tegangan efektif

$$\begin{aligned} P_e &= (1 - \text{LOP}) \cdot P_i \\ &= (1 - 0,7747) \cdot 6033,2 \\ &= 4674,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_t = 4571,22 \text{ kN.m}$$

Menghitung eksentrisitas tendon

$$e \geq -\frac{20,25 \cdot 2,88 \cdot 10^8}{46741835} + \frac{2,88 \cdot 10^8}{697954,01} + \frac{4571,22 \cdot 10^6}{46741835} = 142,86 \text{ mm}$$

$$e \geq -\frac{3,354 \cdot 2,25 \cdot 10^8}{46741835} - \frac{2,25 \cdot 10^8}{697954,01} + \frac{4571,22 \cdot 10^6}{46741835} = 493,64 \text{ mm}$$

Diambil eksentrisitas = 493,64 mm < Ct-d = 578,26 mm

Oleh karena itu dipakai e = 578,26 mm

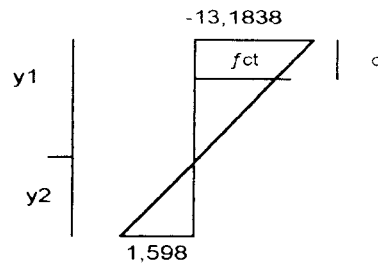
Kontrol tegangan beton dan tendon

- Tegangan beton

$$\begin{aligned} f_{ti} &= -\frac{4674,18 \cdot 10^3}{697954,01} + \frac{4674,18 \cdot 10^3 \cdot 578,26 \cdot 658,26}{2,88 \cdot 10^{11}} - \frac{4571,22 \cdot 10^6 \cdot 658,26}{2,88 \cdot 10^{11}} \\ &= -13,1838 \text{ Mpa} < 20,25 \text{ Mpa} \quad \text{ok} \end{aligned}$$

$$f_{ti} = -\frac{4674,18 \cdot 10^3}{697954,01} - \frac{4674,18 \cdot 10^3 \cdot 578,26 \cdot 841,738}{2,25 \cdot 10^{11}} - \frac{4571,22 \cdot 10^6 \cdot 841,738}{2,25 \cdot 10^{11}}$$

$$= 1,598 \text{ Mpa} < 3,35 \text{ Mpa ok}$$



- Tegangan Tendon

$$f_{se} = \frac{4674,18 \cdot 10^3}{3360} = 1391,126 \text{ Mpa}$$

$$y_2 = \frac{1,598}{(1,598 + 13,1838)} \cdot 1500 = 162,1594 \text{ mm}$$

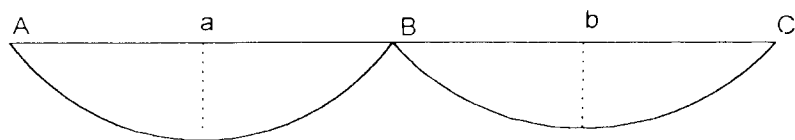
$$y_1 = 1500 - 162,1594 = 1337,84 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{(1337,84 - 80)}{1337,84} - 13,1838 = -12,398 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 1391,126 + (6,343 - 1)12,398 = 1312,4956 \text{ Mpa}$$

4.6.8 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek



Lendutan pada titik a dan b

1. Lendutan akibat gaya prategang

• δ_{pi}

$$\left(\frac{5.6033,2 \cdot 10^3 \cdot 604,09 \cdot 300000^2}{48.31528,55 \cdot 1,383 \cdot 10^{11}} \right) - \left(\frac{6033,2 \cdot 10^3 \cdot 604,09 / 2 \cdot 300000^2}{8.31528,55 \cdot 1,383 \cdot 10^{11}} \right)$$

$$= 31,339 \text{ mm}$$

2. Lendutan akibat beban mati

• δ_{pi}

$$\frac{5 \cdot 300000^2}{48.31528,55 \cdot 1,383 \cdot 10^{11}} \cdot \left(645,975 \cdot 10^6 - \frac{1}{10} (1291,95 \cdot 10^6 + 0) \right)$$

$$= 11,109 \text{ mm}$$

3. Lendutan akibat momen beban sendiri

• δ_{pi}

$$\frac{5 \cdot 300000^2}{48.31528,55 \cdot 1,383 \cdot 10^{11}} \cdot \left(918 \cdot 10^6 - \frac{1}{10} (1836 \cdot 10^6 + 0) \right)$$

$$= 15,787 \text{ mm}$$

Total lendutan saat transfer = $31,339 - 11,109 - 15,787 = 4,442 \text{ mm} (\uparrow)$

B. Lendutan jangka panjang

Koefisien rangkai:

1. Pada umur 1 bulan

$$C_t = \left(\frac{30^{0.6}}{10 + 30^{0.6}} \right) \cdot 2,35 = 1,022$$

2. Pada umur 1 th

$$C_t = \left(\frac{365^{0.6}}{10 + 365^{0.6}} \right) \cdot 2,35 = 1,821$$

3. Pada umur 3 th

$$C_t = \left(\frac{1095^{0.6}}{10 + 1095^{0.6}} \right) \cdot 2,35 = 2,0411$$

4. Pada umur 5 th

$$C_t = \left(\frac{1825^{0.6}}{10 + 1825^{0.6}} \right) \cdot 2,35 = 2,1144$$

1. Akibat rangkai dari beton karena gaya prategang

$$\delta_{pi} = \left[1 - \frac{\Delta p}{P_i} + (\lambda \cdot Kr \cdot C_t) \right] \delta_p$$

$$Kr = 1$$

$$\frac{\Delta p}{P_i} = \frac{6033,22 - 4674,18}{6033,22} = 0,225$$

$$1 - \frac{\Delta p}{2.P_i} = 1 - \frac{0,225}{2} = 0,8873$$

$$\delta_{pi} = [1 - 0,225 + (0,8873 \cdot 1,022)] 31,339 = 52,702 \text{ mm}$$

untuk 1 th $\delta = 74,9345 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 81,0418 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 83,0822 \text{ mm}$

2. Akibat rangkai dari beton akibat berat mati

$$\delta_{pi} = (1 + kr.Ct) \cdot \delta_p$$

$$= (1 + 1 \cdot 1,022) 11,109$$

$$= 22,463 \text{ mm}$$

untuk 1 th $\delta = 31,3445 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 33,784 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 34,599 \text{ mm}$

3. Akibat rangkai dari beton akibat beban sendiri

$$\beta_s = 1,125 \cdot 30^{-0,118} = 0,8367$$

$$\delta_{pi} = (1 + kr.Ct \cdot \beta_s) \cdot \delta_p$$

$$= (1 + 1 \cdot 1,022 \cdot (0,8367)) \cdot 15,787$$

$$= 29,288 \text{ mm}$$

untuk 1 th $\delta = 33,705 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 33,424 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 32,989 \text{ mm}$

4. Lendutan akibat momen beban hidup

- δ_{pi}

$$= \frac{5 \cdot 30000^2}{48 \cdot 31528,55 \cdot 1,383 \cdot 10^{11}} \left(824,73 \cdot 10^6 - \frac{1}{10} (1443,27 \cdot 10^6 + 0) \right)$$

$$= 12,410 \text{ mm}$$

$$\text{untuk 1 th } \delta = 12,410 \text{ mm}$$

$$\text{untuk 3 th } \delta = 12,410 \text{ mm}$$

$$\text{untuk 5 th } \delta = 12,410 \text{ mm}$$

Total lendutan jangka panjang :

$$1 \text{ bulan} = 52,7018 - 22,463 - 29,288 - 12,410 = -11,4604 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$1 \text{ tahun} = -2,526 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$3 \text{ tahun} = 1,4225 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$5 \text{ tahun} = 3,0826 \text{ mm } (\uparrow)$$

Chek Lendutan

Berdasarkan peraturan SK SNI 1991 Pasal 3.2.5 pada tabel 3.2.5 (b) batas lendutan

$$\text{adalah } \frac{L}{480} = \frac{30000}{480} = 62,5 \text{ mm} > 11,4604 \text{ ok}$$

4.7 Perhitungan Prategang Parsial 90% Sistem Pasca-Tarik

4.7.1 Perhitungan Desain Beton Prategang

$$M_{SD} = 1836 \text{ kN.m}$$

$$M_T = M_{SD} + M_D + M_L$$

$$= 1836 + 1291,95 + 1443,27$$

$$= 4571,22 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_D}{M_T} = 0,40 > 0,2 \text{ ok}$$

a. Besar Gaya Prategang

❖ Tegangan beton pada pusat beton

$$\begin{aligned} f_{cci} &= f_{ti} - \frac{c_t}{h} (f_{ti} - f_{ci}) \\ &= 1,5 - \frac{673,53}{1500} \cdot (1,5 + 21,6) \\ &= -8,8723 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

❖ Gaya Prategang Awal

$$\begin{aligned} P_i &= 90\% \cdot |f_{cci}| \cdot A_c \\ &= 90\% \cdot 8,8723 \cdot 680000 \\ &= 5429,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Luas Baja Prategang

Digunakan kabel tendon VSL tipe 6-11 dan tipe *strand* ASTM A416-85 *Grade* 270 .

$$\text{Jumlah tendon} = \frac{5429,88}{3080} = 1,763 \approx 2bh$$

Data mengenai kabel tendon adalah sebagai berikut:

- f. Diameter satuan kabel : 15,2 mm
- g. Luas satuan kabel : 140 mm²
- h. Kuat tarik tendon : 1860 Mpa
- i. Tegangan leleh kawat : 1670 Mpa
- j. Diameter internal/eksternal selubung : 80/87mm

Jadi dipakai 2 buah tendon VSL berisi 11 kabel. Dengan $A_{ps} = 3080 \text{ mm}^2$

4.7.2 Kontrol Kekuatan Lentur

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b.d} = \frac{3080}{800.(1500 - 80)} = 0,00271$$

$$f_c' = 45 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008(45-30) = 0,73$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1670}{1860} = 0,898 \geq 0,85 \rightarrow \gamma_p = 0,4$$

$$f_{ps} = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \cdot 0,00271 \cdot 1860}{0,73 \cdot 45} \right] = 1745,838 \text{ Mpa}$$

$$W_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_c'} = \frac{0,00271 \cdot 1745,838}{45} = 0,1051 < 0,36 \cdot \beta_1$$

Besar kapasitas momen adalah:

$$\text{Gaya tarik : } \Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} = 3080 \cdot 1745,838 = 5377,182 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tekan : } \Sigma N_D = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

Keseimbangan gaya dalam $N_T = N_D$ maka

$$(b \cdot a) = \frac{N_D}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{5377,182}{0,85 \cdot 45} = 140579,9 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{140579,9}{800} = 175,725 \text{ mm}$$

$$M_u = 1,2(1836 + 1291,95) + (1,6 \cdot 1443,27) = 6062,772 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_u}{\theta} = \frac{6062,772}{0,8} = 7578,47 \text{ kNm}$$

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 5377,182 \left(1420 - \frac{175,725}{2}\right) \\ = 7163,145 \text{ kN.m}$$

$$< \frac{M_u}{\theta} = 7578,47 \text{ kN.m} \quad \text{tidak ok}$$

Oleh karena itu dibutuhkan tulangan non-prategang sebesar:

$$\text{Dicoba } \rho_s = 0,0012$$

$$w = \rho \frac{f_y}{f_c'} = 0,00271 \frac{400}{45} = 0,0241$$

$$w' = \rho_s \frac{f_y}{f_c'} = 0,0012 \frac{400}{45} = 0,01067$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\frac{\rho_p \cdot f_{pu}}{f_c'} + \frac{d \cdot (w - w')}{d_p} \right) \right)$$

$$f_{ps} = 1860 \left[1 - \frac{0,4}{0,73} \left(\frac{0,00271 \cdot 400}{45} + \frac{1460}{1420} (0,0241 - 0,01067) \right) \right]$$

$$= 1821,36 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$3080 \cdot 1821,36 + A_s \cdot 400 = 0,85 \cdot 45 \cdot a \cdot 800$$

$$a = 183,326 + 0,013 \cdot A_s$$

$$\frac{Mu}{\phi} = A_{ps} \cdot f_{ps} \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right)$$

$$7,7405 \cdot 10^9 =$$

$$3080,1821,36 \left(1420 - \frac{183,326 + 0,013 A_s}{2} \right) + 400 \cdot A_s \left(1460 - \frac{183,326 + 0,013 A_s}{2} \right)$$

$$= 2,6 A_s^2 + 583798,42 - 126779975$$

$$A_s = 216,95 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan baja 2Ø16 dengan luas 402 mm²

Chek :

$$a = 183,326 + 0,013 \cdot 402 = 188,58 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{402}{800 \cdot 1420} = 0,0003538$$

$$\phi M_n = 3080,1821,36 \left(1420 - \frac{188,58}{2} \right) + 402 \cdot 400 \left(1460 - \frac{188,58}{2} \right)$$

$$= 7656,558 \text{ kN.mm}$$

$$> \frac{Mu}{\theta} = 7578,47 \text{ kN.m} \quad \text{ok!}$$

4.7.3 Perhitungan Sifat Penampang

A. Saat Transfer

$$A_c = 680000 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 20,25 \cdot \pi \cdot 87^2 = 11889,357 \text{ mm}^2$$

$$A_{sn} = 402 \text{ mm}^2$$

$$A_{n_{\text{etto}}} = A_c - A_s - A_{sn} = 667708,64 \text{ mm}^2$$

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$C_i = \frac{(hf \cdot b \cdot (hf/2) + bw \cdot hw \cdot (hf + hw/2) - A_s \cdot (d) - A_{sn}(h - d'))}{A_{n_{\text{etto}}}}$$

$$= \frac{(200 \cdot 800 \cdot (100) + 400 \cdot 1300 \cdot (850) - 11889,36(80) - 402 \cdot (1460))}{667708,64}$$

$$= 683,624 \text{ mm}$$

$$C_b = 1500 - 683,624 = 816,376 \text{ mm}$$

$$E = 683,624 - 80 = 603,624 \text{ mm}$$

$$I = (1/12 \cdot 800 \cdot 200^3) + (800 \cdot 200 \cdot (683,624 - 200/2)^2) + (1/12 \cdot 400 \cdot 1300^3) - (400 \cdot 1300 \cdot (816,376 - (200 + 1300/2)^2) - (1/64 \cdot \pi \cdot 87^2 \cdot 2) - (11889,36 \cdot (603,624)^2 - (1/64 \cdot \pi \cdot 19^2 \cdot 2) - (402 \cdot (1500 - 40)^2)$$

$$= 1,381 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$St = \frac{1,381 \cdot 10^{11}}{683,624} = 2,02 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$Sb = \frac{1,381 \cdot 10^{11}}{816,376} = 1,69 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

- Menghitung eksentrisitas tendon

$$e \leq \frac{1,5 \cdot 2,02 \cdot 10^8}{5429,88 \cdot 10^3} + \frac{2,02 \cdot 10^8}{667,7 \cdot 10^3} + \frac{1836 \cdot 10^6}{5429,88 \cdot 10^3} = 696,426 \text{ mm}$$

$$e \leq -\frac{21,6 \cdot 1,69 \cdot 10^8}{5429,88 \cdot 10^3} - \frac{1,69 \cdot 10^8}{667,7 \cdot 10^3} + \frac{1836 \cdot 10^6}{5429,88 \cdot 10^3} = 757,645 \text{ mm}$$

Karena $e = 757,645 \text{ mm} > C_t - d = 603,624 \text{ mm}$

maka diambil $e = 603,624 \text{ mm}$

B. Saat Layan

$$A_c = 680000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 11.140 \cdot 2 = 3080 \text{ mm}^2$$

$$A_{sn} = 402 \text{ mm}^2$$

$$n = 6,343$$

$$\begin{aligned} A_{trans} &= A_c + (n-1)A_{ps} + (n-1)A_{sn} \\ &= 680000 + (5,343 \cdot 3080) + (5,343 \cdot 402) \\ &= 698605,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_t &= \frac{(800 \cdot 200 \cdot 100) + (400 \cdot 1300 \cdot 850) + (5,343 \cdot 3080 \cdot 1420) + (5,343 \cdot 402 \cdot 1460)}{698605,9} \\ &= 661,965 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C_b = 1500 - 661,965 = 838,035 \text{ mm}$$

$$E = C_t - 80 = 581,965 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I &= (1/12 \cdot 800 \cdot 200^3) + (800 \cdot 200 \cdot (661,965 - 200/2)^2) + (1/12 \cdot 400 \cdot 1300^3) + \\ &\quad (400 \cdot 1300 \cdot (838,035 - (200 + 1300/2))^2) + (6,343 - 1) \cdot 3080 \cdot 581,965^2 + \\ &\quad (6,343 - 1) \cdot 402 \cdot (838,035 - 40)^2 \\ &= 1,887 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$St = \frac{1,887 \cdot 10^{11}}{661,965} = 2,85 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$Sb = \frac{1,887 \cdot 10^{11}}{838,034} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

4.7.4 Kehilangan Gaya Prategang

- ✓ Akibat Perpendekan elastis

Karena penarikan tendon dilakukan langsung, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton adalah:

$$\Delta f_{pES} = 0 \text{ Mpa.}$$

- ✓ Akibat pengangkuran/pergeseran tendon

Pergeseran ankur $\Delta_A = 0,635 \text{ cm}$

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} \cdot E_{ps} = \frac{0,635}{3000} \cdot 200000 = 42,33 \text{ Mpa}$$

- ✓ Akibat rangkai beton

$$f_{cs} = \frac{-5429,88 \cdot 10^3}{667708,64} \left(1 + \frac{603,62^2}{206796,1} \right) + \frac{1291,95 \cdot 10^6}{1,38 \cdot 10^{11}} = -16,8125 \text{ kN}$$

$$f_{csd} = \frac{1836 \cdot 10^6 \cdot 603,62}{1,38 \cdot 10^{11}} = 8,026 \text{ kN}$$

$$\Delta f_{PCR} = 1,6 \frac{200000}{31528,55} (16,8125 - 8,026) = 89,177 \text{ Mpa}$$

✓ Akibat susut beton

$$\frac{v}{s} = 1.5$$

$$RH = 70 \%$$

$$K_{SH} = 0,58$$

$$\begin{aligned}\Delta f_{pSH} &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} E_s \cdot \left(1 - 0,06 \frac{v}{s}\right) \cdot (100 - RH) \\ &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,58 \cdot 200000 \cdot (1 - 0,06 \cdot 1,5) \cdot (100 - 70) \\ &= 25,96776 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

✓ Akibat gesekan

$$\alpha = \frac{8.603,624}{30000} = 0,16096$$

Dari tabel diperoleh:

$$K = 0,001$$

$$\mu = 0,15$$

$$f_{pi} = P_i / A_{ps} = 1302$$

$$\begin{aligned}\Delta f_{pF} &= f_{pi} [(\mu \cdot \alpha) + (K \cdot L)] \\ &= 1302 \cdot [(0,05 \cdot 0,16096) + (0,0003 \cdot 30)] \\ &= 91,454 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

✓ Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR} = (K_{re} - J(\Delta f_{pa} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH})) \cdot C$$

Dari tabel diperoleh :

$$K_{re} = 35$$

$$J = 0.15$$

$$\Delta f_{pR} = (35 - 0.15 (89,177 + 25,9678)) = 24,11 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan gaya prategang adalah:

$$\begin{aligned} \Delta f_p &= 0 + 42.33 + 89,177 + 25.9678 + 91,454 + 24,11 \\ &= 273,038 \text{ Mpa} \\ &= \frac{1302 - 273,038}{1302} \cdot 100\% = 79,029\% \end{aligned}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$100 - 79,029 = 20,97 \%$$

4.7.5 Kontrol Tegangan Beton dan Tendon

A. Saat Transfer

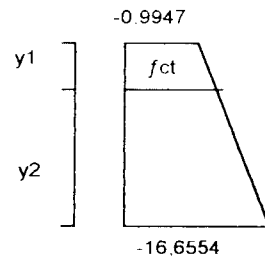
- Tegangan beton

$$f_{ti} = -\frac{5429,88 \cdot 10^3}{667708,64} + \frac{5429,88 \cdot 10^3 \cdot 603,624 \cdot 683,624}{1,38 \cdot 10^{11}} - \frac{1836 \cdot 10^6 \cdot 683,624}{1,38 \cdot 10^{11}}$$

$$= -0,995 \text{ Mpa} < 1,5 \text{ Mpa} \text{ ok}$$

$$f_{ci} = -\frac{5429,88 \cdot 10^3}{667708,64} - \frac{5429,88 \cdot 10^3 \cdot 603,624 \cdot 816,376}{1,38 \cdot 10^{11}} + \frac{1836 \cdot 10^6 \cdot 816,376}{1,38 \cdot 10^{11}}$$

$$= -16,655 \text{ Mpa} < 21,6 \text{ Mpa} \text{ ok}$$



- Tegangan tendon

$$A_{ps} = 3080 \text{ mm}^2$$

$$f_{si} = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{5429,88 \cdot 10^3}{3080} = 1762,95 \text{ Mpa}$$

$$y_1 = 80 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1500 - 80 = 1420 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{(y_1 f_{ci}) + (y_2 f_{ti})}{h} = \frac{(80 \cdot 0,997) + (1420 \cdot 16,655)}{1500} = -1,83 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 1762,95 + (6,343 - 1) \cdot 1,83 = 1751,339 \text{ Mpa}$$

B. Saat Layan

Tegangan efektif

$$P_e = (1 - \text{LOP}) \cdot P_i$$

$$= (1 - 20,97\%) \cdot 5429,88$$

$$= 4281,175 \text{ Mpa}$$

Menghitung eksentrisitas tendon

$$e \geq \frac{20,25 \cdot 2,85 \cdot 10^8}{4281,175 \cdot 10^3} + \frac{2,85 \cdot 10^8}{698605,91} + \frac{4571,22 \cdot 10^6}{4281,175 \cdot 10^3} = 128,03 \text{ mm}$$

$$e \geq -\frac{3,354 \cdot 2,55 \cdot 10^8}{4281,175 \cdot 10^3} - \frac{2,25 \cdot 10^8}{698605,91} + \frac{4571,22 \cdot 10^6}{4281,175 \cdot 10^3} = 566,91 \text{ mm}$$

karena $e = 566,91 \text{ mm} < C_t - d = 581,965 \text{ mm}$ maka

e diambil $581,965 \text{ mm}$

Kontrol tegangan beton dan tendon

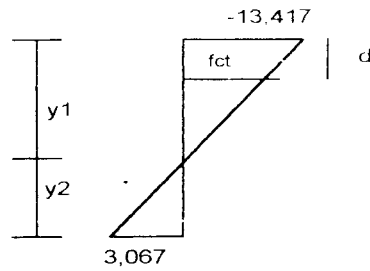
- Tegangan beton

$$f_u = -\frac{4281,175 \cdot 10^3}{698605,9} + \frac{4281,175 \cdot 10^3 \cdot 581,965 \cdot 661,965}{2,85 \cdot 10^{11}} - \frac{4571,22 \cdot 10^6 \cdot 661,965}{2,85 \cdot 10^{11}}$$

$$= -13,417 \text{ Mpa} < 20,25 \text{ Mpa} \quad \text{ok}$$

$$f_{ci} = -\frac{4281,175 \cdot 10^3}{698605,9} - \frac{4281,175 \cdot 10^3 \cdot 581,965 \cdot 838,034}{2,25 \cdot 10^{11}} + \frac{4571,22 \cdot 10^6 \cdot 838,034}{2,25 \cdot 10^{11}}$$

$$= 3,067 \text{ Mpa} < 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok}$$



- Tegangan Tendon

$$f_{se} = \frac{4281,175 \cdot 10^3}{3080} = 1393,23 \text{ Mpa}$$

$$y_2 = \frac{3,067}{(3,067 + 13,417)} \cdot 1500 = 279,0995 \text{ mm}$$

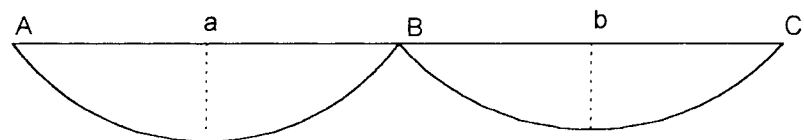
$$y_1 = 1500 - 279,0995 = 1220,9 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{(1220,9 - 80)}{1220,9} - 13,417 = -12,538 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 1393,23 + (6,343 - 1) \cdot 12,538 = 1313,70 \text{ Mpa}$$

4.7.6 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek



Lendutan pada titik a dan b

1. Lendutan jangka pendek

a. Lendutan akibat gaya prategang

- δ_{pi}

$$\left(\frac{5.5429,88 \cdot 10^3 \cdot 603,624 \cdot 30000^2}{48.31528,55 \cdot 1,38 \cdot 10^{11}} \right) - \left(\frac{5429,88 \cdot 10^3 \cdot 603,24 / 2 \cdot 30000^2}{8.31528,55 \cdot 1,38 \cdot 10^{11}} \right)$$

$$= 28,233 \text{ mm}$$

b. Lendutan akibat beban mati

- δ_{pi}

$$\frac{5 \cdot 30000^2}{48.31528,55 \cdot 1,38 \cdot 10^{11}} \left(645,975 \cdot 10^6 - \frac{1}{10} (1291,95 \cdot 10^6 + 0) \right)$$

$$= 11,1286 \text{ mm}$$

c. Lendutan akibat momen beban sendiri

- δ_{pi}

$$\frac{5 \cdot 30000^2}{48.31528,55 \cdot 1,38 \cdot 10^{11}} \left(918 \cdot 10^6 - \frac{1}{10} (1836 \cdot 10^6 + 0) \right)$$

$$= 15,815 \text{ mm}$$

$$\text{Total lendutan saat transfer} = 28,232 - 11,1286 - 15,815 = 1,289 \text{ mm } (\uparrow)$$

2. Lendutan jangka panjang

Koefisien rangkai:

A. Pada umur 1 bulan

$$C_t = \left(\frac{30^{0,6}}{10 + 30^{0,6}} \right) \cdot 2,35 = 1,022$$

B. Pada umur 1th

$$C_t = \left(\frac{365^{0,6}}{10 + 365^{0,6}} \right) \cdot 2,35 = 1,821$$

C. Pada umur 3 th

$$C_t = \left(\frac{1095^{0,6}}{10 + 1095^{0,6}} \right) \cdot 2,35 = 2,0411$$

D. Pada umur 5 th

$$C_t = \left(\frac{1825^{0,6}}{10 + 1825^{0,6}} \right) \cdot 2,35 = 2,1144$$

a. Lendutan akibat rangkai dari beton karena gaya prategang

$$\delta_{pi} = \left[1 - \frac{\Delta p}{Pi} + (\lambda \cdot Kr \cdot Ct) \right] \cdot \delta_p$$

$$Kr = 1$$

$$\frac{\Delta p}{Pi} = \frac{5429,88 - 4281,175}{5429,88} = 0,2097$$

$$1 - \frac{\Delta p}{2 \cdot Pi} = 1 - \frac{0,2097}{2} = 0,895$$

$$\delta_{pi} = [1 - 0,2097 + (0,895 \cdot 1,022)] 28,232 = 48,141 \text{ mm}$$

untuk 1 th $\delta = 68,343 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 73,895 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 75,750 \text{ mm}$

b. Akibat rangkai dari beton akibat berat mati

$$\begin{aligned}\delta_{pi} &= (1 + kr.Ct).\delta_p \\ &= (1 + 1.1,022)11,1286 \\ &= 22,502 \text{ mm}\end{aligned}$$

untuk 1 th $\delta = 31,399 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 33,843 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 34,660 \text{ mm}$

c. Akibat rangkai dari beton akibat beban sendiri

$$\begin{aligned}\delta_{pi} &= (1 + kr.Ct.\beta_s).\delta_p \\ &= (1 + 1.1,022.(0,8367)).15,815 \\ &= 29,340 \text{ mm}\end{aligned}$$

untuk 1 th $\delta = 33,764 \text{ mm}$

untuk 3 th $\delta = 33,483 \text{ mm}$

untuk 5 th $\delta = 33,047 \text{ mm}$

d. Lendutan akibat momen beban hidup

• δ_{pi}

$$\begin{aligned}&= \frac{5 \cdot 30000^2}{48.31528,55.1,38.10^{11}} \left(824,73.10^6 - \frac{1}{10} (1443,27.10^6 + 0) \right) \\ &= 12,432 \text{ mm}\end{aligned}$$

Total lendutan jangka panjang :

$$1 \text{ bulan} = 48,1412 - 22,502 - 29,34 - 12,432 = -16,1335 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$1 \text{ tahun} = -9,25 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$3 \text{ tahun} = -5,86 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$5 \text{ tahun} = -4,389 \text{ mm } (\downarrow)$$

Chek Lendutan

Berdasarkan peraturan SK SNI 1991 Pasal 3.2.5 pada tabel 3.2.5 (b) batas lendutan

$$\text{adalah } \frac{L}{480} = \frac{30000}{480} = 62,5 \text{ mm} > 16,1335 \text{ ok}$$

4.8 Analisis Lendutan dengan Metode *Incremental Time Step*

$$\varepsilon_1 = \frac{f_1}{E_c} = \frac{0.0855}{31528.558} = 2.71 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{f_2}{E_c} = \frac{19.69853}{31528.558} = 6.24 \cdot 10^{-4}$$

$$\phi_{pi} = \frac{-6.24 \cdot 10^{-4} + 2.71 \cdot 10^{-6}}{59.06} = -8.4 \cdot 10^{-6} \text{ rad/in}$$

$$\Delta_{pi} = \frac{-8.4 \cdot 10^{-6} \cdot (30000/25.4)^2}{8} = 1,83667 \text{ in} = 46.63 \text{ mm}$$

$$\delta_t = \frac{30^{0.6}}{10 + 30^{0.6}} \cdot 0.583 \cdot 10^{-6} = 2.5355 \cdot 10^{-7}$$

Akibat rangkai

$$\varepsilon_{SH.30} = \frac{37}{37 + 35} \cdot 800 \cdot 10^{-6} = 411 \cdot 10^{-6} \text{ in/in}$$

akibat relaksasi

$$\frac{fp}{fpi} = 1 - \frac{\log t}{10} \left(\frac{fpi}{fy} - 0.55 \right)$$

$$\frac{fp}{fpi} = 1 - \frac{\log(30.24)}{10} \left(\frac{1302}{1670} - 0.55 \right) = 0,93438$$

$$f_1 = 0,0855 \text{ Mpa} = 12,4 \text{ psi}$$

$$f_2 = 19,698 \text{ Mpa} = 2856,8 \text{ psi}$$

$$\Delta \varepsilon_{lgross} = 12,4 \times 2,5355 \cdot 10^{-7} = 3,144 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta \varepsilon_{lgross} = 2856,8 \times 2,5355 \cdot 10^{-7} = 7,244 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta \varepsilon_{pg} = \left[3,144 \cdot 10^{-6} + \frac{895,91}{1500} (7,244 \cdot 10^{-4} - 3,144 \cdot 10^{-6}) \right] = 4,339 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta fp_{rel} = 0,066 \times 1302 = 85,932 \text{ Mpa} = 12462,9 \text{ psi}$$

Total kehilangan baja prategang :

$$\Delta fp = (\varepsilon_{cr} + \varepsilon_{sh}) Ep + \Delta fp_{rel}$$

$$\Delta fp = (4,339 \cdot 10^{-4} + 278 \cdot 10^{-6}) 27 \cdot 10^6 + 12462,9 = 31606,136 \text{ psi}$$

$$\Delta f = + \frac{\Delta P}{Ac} \left(1 \pm \frac{e \cdot c}{r^2} \right)$$

$$\Delta f_1 = + \frac{5,21 \cdot 31606,136}{1054,26} \left(1 - \frac{23,78 \cdot 26,93}{320,983} \right) = -155,4287 \text{ psi} = 1,075 \text{ Mpa}$$

$$\Delta f_2 = + \frac{5,21 \cdot 31606,136}{1054,26} \left(1 + \frac{23,78 \cdot 32,122}{320,983} \right) = 527,894 \text{ psi} = 3,6398 \text{ Mpa}$$

Akibat modulus elastis

$$\Delta'_1 = \frac{1,075}{31528,558} = 3,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta'_2 = \frac{3,6398}{31528,558} = 1,154 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta \varepsilon_{1net} = (3,144 \cdot 10^{-6} - 3,4 \cdot 10^{-5}) = 3,0847 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta \varepsilon_{1net} = (7,244 \cdot 10^{-4} - 1,154 \cdot 10^{-4}) = 6,089 \cdot 10^{-4}$$

$$\phi_{30} - \phi_0 = \frac{(6,089 \cdot 10^{-4} + 3,0847 \cdot 10^{-5})}{59,06} = 1,0832 \cdot 10^{-5}$$

$$\phi_{pi} + \Delta \phi = (1,0832 \cdot 10^{-5} + 1,05 \cdot 10^{-5}) = 2,997 \cdot 10^{-7}$$

lendutan keatas:

$$\Delta_{30} = \phi_{30} \frac{l^2}{8}$$

$$\Delta_{30} = 2,997 \cdot 10^{-7} \frac{(30000 / 25.4)^2}{8} = 0,052267 in$$

$$\Delta_0 = -11,109 mm$$

$$\Delta_i = \Delta_0 [1 + C_i]$$

$$\Delta_i = -11,109 [1 + 1,022] = -22,46 mm = 0.884 in$$

$$\Delta_l = -11,109 \frac{10,08}{16,32} = 6,86 mm = 0,1938 in$$

$$\Delta_{net} = -0,129 + 0,884 + 0,1938 = 0,948 in = 28,713 mm$$

Tabel 4.1 Parameter Pengaruh Lendutan

Waktu (hari)	Rangkak		Susut		Relaksasi		<i>Increment</i> $\Delta(1-f_p/f_{pi})$
	δt (10^{-6})	$\Delta \delta t$ (10^{-6})	$\epsilon_{sh,t}$ (10^{-6})	$\Delta \epsilon_{sh,t}$ (10^{-6})	f_p/f_{pi}	$1-f_p/f_{pi}$	
-7	0	0	0	0	-	-	-
0	0	0	133	133	1	0	-
30	0,2535	0,2535	411	278	0,9344	0.0656	0.06562
360	0,4510	0,1975	730	319	0.9096	0.0904	0.02478
1080	0,5064	0,0553	775	44,75	0.8986	0.1014	0.01096
1800	0,5245	0,0182	784	9,75	0.8935	0.10645	0.00509

Tabel 4.2 Perhitungan Lendutan 1

Waktu (hari)	Tegangan		Rangkak		G. Steel	Susut	relaksasi	Total
	f_1 (Mpa)	f_2 (Mpa)	$\Delta \epsilon_{1g}$ (10^{-6})	$\Delta \epsilon_{2g}$ (10^{-6})	$\Delta \epsilon_p$ (10^{-6})	$\Delta \epsilon_{sh}$ (10^{-6})	$\Delta f_{p,rel}$ Mpa	Δf_p psi
0	-0,0855	-19,698	-	-	-	-	-	-
30	-0,0855	-19,698	3,144	724,4	433,9	277,8	85,432	31606,1
360	-0,0855	-19,698	2,449	564,2	338,2	319,2	32,266	22429,3
1080	-0,0855	-19,698	6,861	158,1	95,5	44,7	14,265	5854,20
1800	-0,0855	-19,698	0,225	52	31,4	9,75	6,633	2074,85

Tabel 4.3 Perhitungan Lendutan 2

Waktu (hari)	Teg beton		<i>Concrete strain</i>		rangkak		Curvature increment	Total cur vature
	Δf_1	Δf_2	Δ'_1	Δ'_2	$\Delta \epsilon_{1 \text{ net}}$	$\Delta \epsilon_{2 \text{ net}}$	$\Sigma \phi$	Δ_p
	psi	psi	(10^{-6})	(10^{-6})	(10^{-6})	(10^{-6})	(10^{-6})	
0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	155,43	527,89	34,5	115,4	30,847	608,9	0,3	0,0522
360	155,43	527,89	34,5	115,4	31,542	448,8	-2,4	-0,652
1080	155,43	527,89	34,5	115,4	33,305	42,62	-9,25	-1,6125
1800	155,43	527,89	34,5	115,4	33,765	63,4	-11	-1,924

Tabel 4.4 Besar Lendutan

Waktu (hari)	Δ_p		Δ_o		Δ_l		$-\Delta_p + \Delta_o + \Delta_p$	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,052	1,327	0,884	22,462	0,1938	6,861	1,1304	28,713
360	0,652	16,561	1,234	31,344	0,1938	6,861	0,7758	19,706
1080	1,613	40,947	1,330	33,784	0,1938	6,861	-0,087	-2,251
1800	1,924	48,877	1,362	34,598	0,1938	6,861	-0,368	-9,355

BAB V

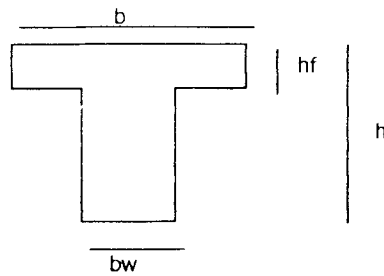
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data dan Asumsi Desain

Pada perencanaan beton prategang ini kami menggunakan balok menerus dengan bentang 60 m diatas 3 perletakkan dan 4 perletakan. Sedangkan untuk jarak antar balok kami memakai panjang 1,8 m. Gaya prategang parsial yang dipakai adalah 90%, 80%, dan 75 % dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh. Perhitungan lendutan dengan menggunakan metode *Approximate Time Step* dan *Incremental Time Step* pada umur pembebanan 1 bulan (30 hari), 1 tahun (360 hari), 3 tahun (1080 hari), dan 5 tahun (1800 hari).

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton dengan kuat desak karateristik $f_c' = 45$ Mpa, tegangan ultimit tulangan aktif (tendon) $f_{pu} = 1860$ Mpa dan tulangan pasif (non prategang) $f_y = 360$ Mpa.

Penampang girder yang digunakan adalah penampang bentuk T dengan ukuran sebagai berikut :



Tabel 5.1 Ukuran Girder

Perletakan	h (mm)	b (mm)	hf (mm)	Bw (mm)
3	1500	800	200	400
4	1200	500	150	300

Data beban yang bekerja pada balok menerus adalah:

1. Untuk balok menerus dengan 3 perletakan.

- $W_D = 11,484 \text{ kN/m}^2$
- $W_{DS} = 16,32 \text{ kN/m}^2$
- $W_L = 10,08 \text{ kN/m}^2$ ditambah beban titik $P = 54,982 \text{ kN}$

2. Untuk balok menerus dengan 4 perletakan.

- $W_D = 11,484 \text{ kN/m}^2$
- $W_{DS} = 9,36 \text{ kN/m}^2$
- $W_L = 10,08 \text{ kN/m}^2$ ditambah beban titik $P = 54,982 \text{ kN}$

Dari data diatas dengan perhitungan mekanika menggunakan metode *slope deflection* dan deformasi konsisten maka diperoleh momen eksternal yang terjadi pada balok menerus.

Tabel 5.2 Besar Momen yang Terjadi

Jumlah Perletakkan	Momen Tumpuan (kN.m)			Momen Lapangan (kN.m)		
	M _D	M _{DS}	M _L	M _D	M _{DS}	M _L
3	1291,95	1836	1443,27	645,975	918	824,73
4	459,36	1053	667,186	114,84	526,5	111,71

5.2 Pembahasan Hasil Perhitungan

5.2.1 Gaya Prategang

Beberapa hal dapat diperoleh dari perhitungan analisa balok beton prategang pasca-tarik adalah kapasitas tampang elemen struktur terhadap kekuatan lentur. Dalam analisis kapasitas penampang yang mampu menahan lentur ini dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap-tahap tertentu, yaitu: pada tahap penarikan (transfer) dan pada saat beban layan telah bekerja. Kapasitas penampang pada saat transfer adalah penampang netto sedangkan pada saat layan adalah penampang transformasi yang selanjutnya digunakan untuk memeriksa tegangan pada saat transfer maupun saat layan.

Analisis pada tahap perencanaan balok prategang parsial dalam tugas akhir ini hanya menggunakan tampang T sistem pasca-tarik dengan grouting. Tipe tendon

yang digunakan adalah tendon tipe selongsong disesuaikan dengan besarnya gaya prategang yang dibutuhkan. Hasil perhitungan gaya prategang yang dibutuhkan pada balok menerus adalah sebagai berikut.

Tabel 5.3 Besar Gaya Prategang

% Prategang	Gaya prategang awal (kN)	
	3 perletakan	4 perletakan
100%	6033,2	3616,31
90%	5429,88	3254,68
80%	4826,56	2893,05
75%	4524,9	2712,23

Perbandingan antara balok menerus 3 perletakkan dengan 4 perletakan adalah bahwa gaya prategang yang dibutuhkan pada balok menerus dengan 4 perletakan lebih sedikit dibandingkan dengan balok menerus dengan 3 perletakan, ini dikarenakan pada pemakaian balok menerus dengan 3 perletakan menggunakan girder dengan ukuran penampang yang lebih besar sehingga menghasilkan momen yang lebih besar dari pada 4 perletakkan sehingga gaya prategang yang dibutuhkan semakin besar.

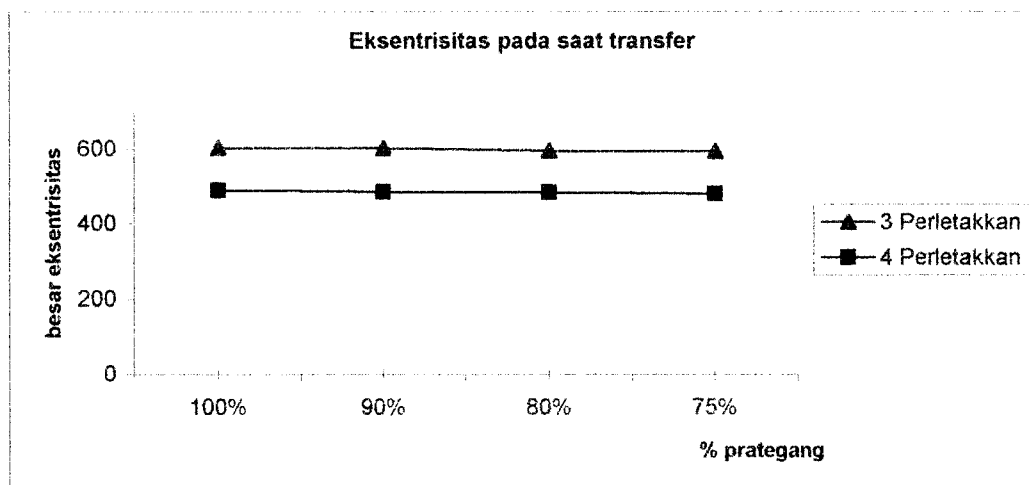
5.2.2 Eksentrisitas Tendon

Pada tabel 5.4 dapat dilihat bahwa eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang beton pada balok prategang parsial saat transfer semakin kecil seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan, keadaan ini berlaku baik

terhadap 3 perletakan maupun 4 perletakan pada balok menerus. Hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 5.1

Tabel 5.4 Besar eksentrisitas

No	%	3 Perletakan		4 Perletakan	
		Transfer (mm)	Layan (mm)	Transfer (mm)	Layan (mm)
1	100%	604,091	578,261	489,879	463,608
2	90%	603,624	581,965	486,417	470,342
3	80%	596,319	599,711	484,684	481,025
4	75%	595,058	607,257	480,168	490,120



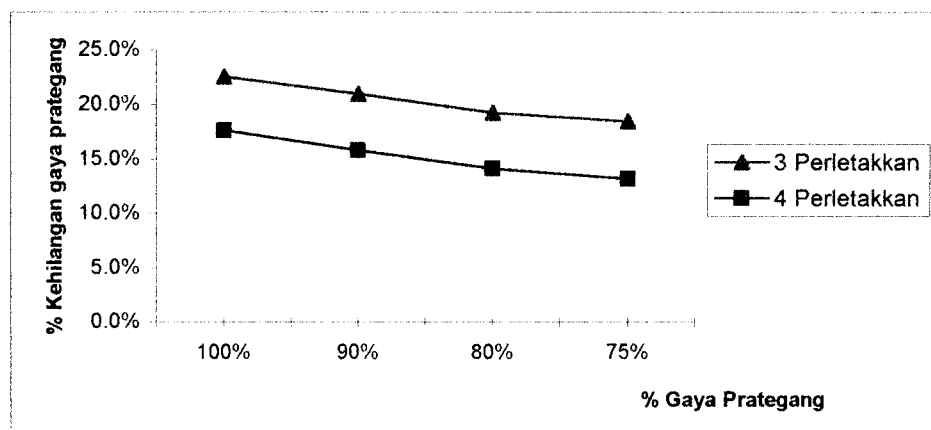
Gambar 5.1 Prosentase Prategang terhadap Eksentrisitas Tendon

5.2.3 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut adalah: pengangkuran tendon, gesekan tendon, relaksasi baja, deformasi elastik beton, rangkai beton, dan susut beton. Hasil perhitungan prosentase kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada tabel 5.5. Perbandingan antara % prategang dengan kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada gambar 5.2

Tabel 5.5 Besar Prosentase Kehilangan Gaya Prategang

% Prategang	3 Perletakan	4 Perletakan
100%	22,525 %	17,623 %
90%	20,971 %	15,829%
80%	19,272 %	14,146 %
75%	18,491 %	13,233 %



Gambar 5.2 Perbandingan % Gaya Prategang terhadap Kehilangan Gaya Prategang

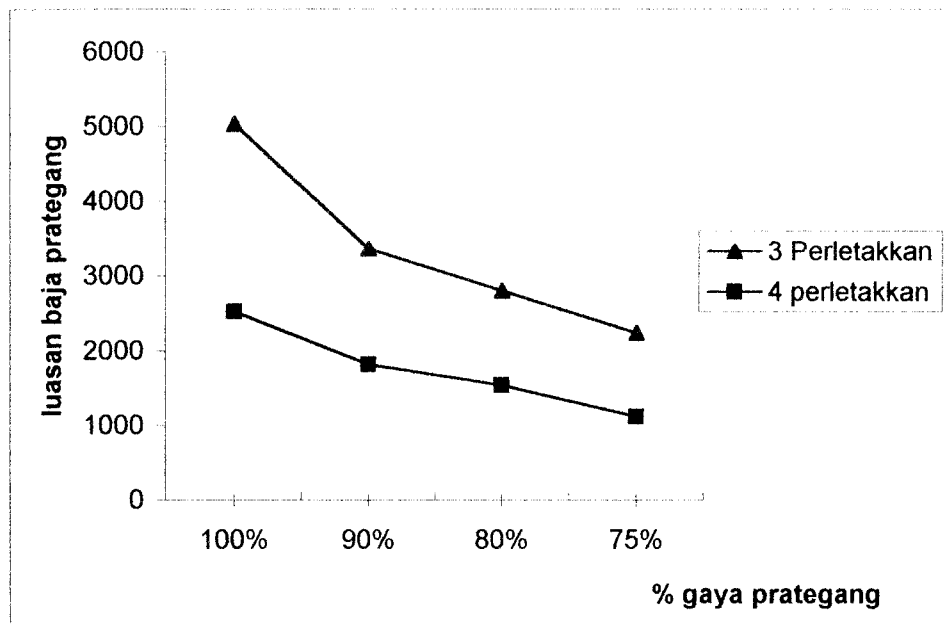
Pada gambar 5.2 memperlihatkan bahwa prosentase kehilangan gaya prategang semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan. Ini disebabkan karena kehilangan gaya prategang akibat rangkai dan akibat gesekan tendon pada prategang parsial semakin besar. Keadaan ini berlaku baik pada balok menerus dengan 3 perletakan maupun dengan 4 perletakan.

5.2.4 Luasan Baja Prategang

Luasan baja prategang berkaitan dengan tipe tendon yang digunakan, hal ini tergantung dari besar gaya prategang yang diperlukan, semakin besar gaya prategang yang dibutuhkan maka semakin besar pula luasan baja prategangnya. Pada kondisi prategang parsial luasan baja prategang semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang. Hasil perhitungan luasan ini dapat dilihat pada tabel 5.6 dan perbandingan antara gaya prategang dengan luasan baja prategang dapat dilihat pada gambar 5.3

Tabel 5.6 Besar Luasan Baja Prategang

% Gaya Prategang	Gaya Prategang (kN)		Luasan Baja Prategang (mm ²)	
	3 Perletakan	4 Perletakan	3 Perletakan	4 Perletakan
100%	6033,2	3616,31	3360	2520
90%	5429,88	3254,68	3080	1960
80%	4826,56	2893,05	2520	1680
75%	4524,9	2712,23	2240	1400



Gambar 5.3 Perbandingan Prosentase Gaya Prategang terhadap Luasan Baja Prategang

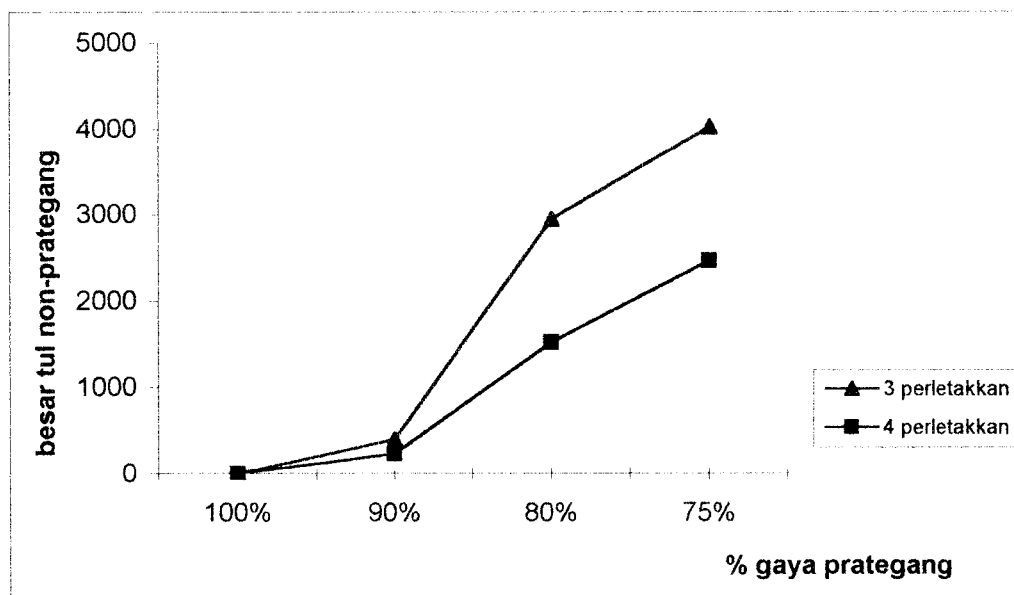
5.2.5 Luasan Baja Non-Prategang

Luasan baja non-prategang diperlukan untuk menambah kekuatan batas pada benton prategang parsial. Pada hasil perhitungan makin kecil gaya prategang yang digunakan maka semakin besar luasan baja non-prategang diperlukan. Hal ini terjadi untuk mengimbangi kekuatan dari beton prategang parsial dan meningkatkan kapasitas momen dari penampang. Pada 3 perletakan perbandingan besar dari luasan baja non prategang adalah lebih besar dari 4 perletakan karena momen yang terjadi pada 3 perletakan nilainya lebih besar.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.7 dan perbandingan besar gaya prategang terhadap besar luasan baja non-prategang dapat dilihat pada gambar 5.4

Tabel 5.7 Besar Baja Non-Prategang

% Gaya Prategang	Luasan baja non-prategang (mm ²)	
	3 Perletakan	4 perletakan
100%	0	0
90%	402	236
80%	2945	1521
75%	4021	2463



Gambar 5.4 Perbandingan % Gaya Prategang terhadap Luasan Baja Non-Prategang

5.2.6 Tegangan Beton

Tegangan yang terjadi pada penampang balok beton prategang menghasilkan tegangan di serat atas dan di serat bawah balok. Tegangan-tegangan beton tersebut dianalisis pada saat transfer dan saat layan.

1. Serat Atas

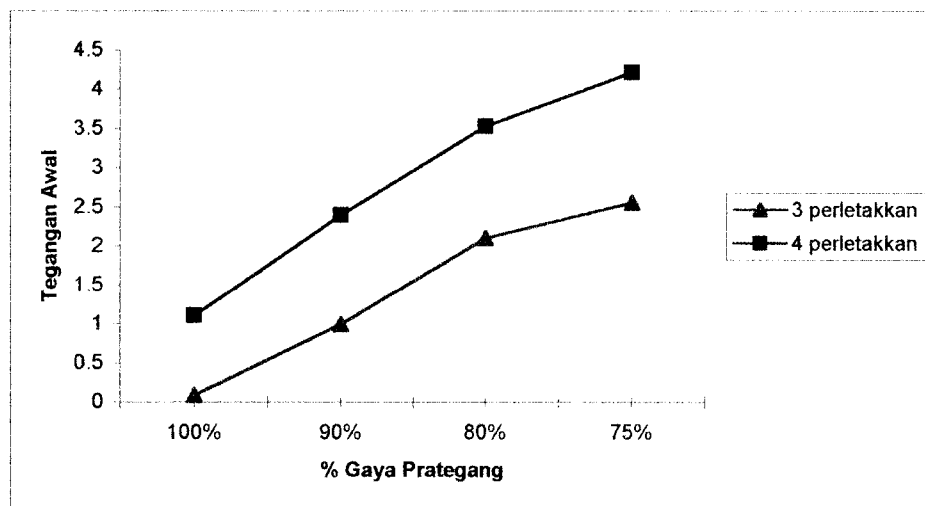
Tegangan beton serat atas pada saat transfer maupun layan merupakan tegangan desak yang nilainya dapat dilihat pada tabel 5.8. Pada tabel 5.8 memperlihatkan nilai tegangan desak pada serat atas, dimana semakin kecil gaya prategang yang diberikan maka nilai tegangan desaknya semakin besar ini dikarenakan eksentrisitas pada prategang parsial semakin kecil. Keadaan ini berlaku pada balok menerus dengan 3 perletakan maupun dengan 4 perletakan.

2. Serat Bawah

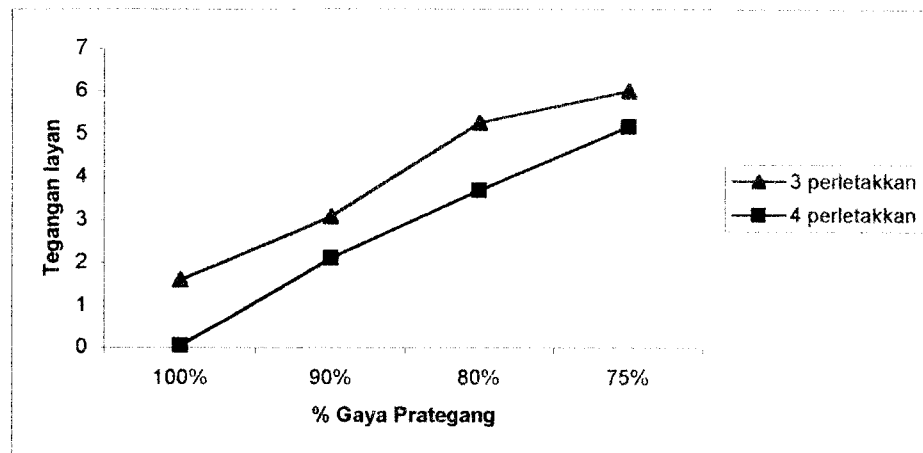
Tegangan beton awal atau saat transfer yang terjadi pada serat bawah menghasilkan tegangan berupa tegangan desak. Setelah pemberian beban kerja atau pada saat layan tegangan berubah menjadi tegangan tarik yang besarnya tegangan dapat dilihat pada tabel 5.8. Perbandingan tegangan saat layan dapat dilihat pada gambar 5.6 dimana nilai tegangan tarik terbesar terjadi pada gaya prategang 75 % dari gaya prategang penuh. Hal ini berarti makin berkurang gaya prategangnya akan didapat tegangan tarik yang besar. Keadaan ini berlaku pada balok menerus 3 perletakan dan 4 perletakan.

Tabel 5.8 Tegangan yang terjadi pada balok menerus prategang parsial.

%	3 Perletakan					4 Perletakan				
	e mm	Transfer		Layan		e mm	Transfer		Layan	
		f_t	f_b	f_t	f_b		f_t	f_b	f_t	f_b
100%	604,1	-0,086	-19,698	-13,183	1,598	489,8	-1,107	-18,719	-13,542	0,053
90%	603,6	-0,994	-16,655	-13,417	3,017	486,4	-2,398	-15,298	-14,343	2,095
80%	596,3	-2,106	-13,411	-14,407	5,262	484,7	-3,534	-12,094	-14,685	3,675
75%	595,0	-2,562	-11,899	-14,616	6,00	480,2	-4,229	-10,307	-15,598	5,171



Gambar 5.5 Perbandingan Tegangan Awal / Transfer pada Serat Atas



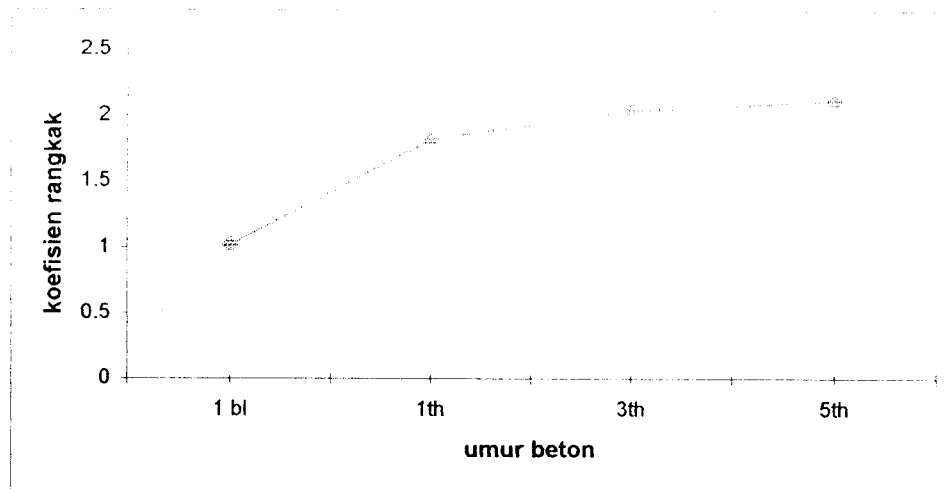
Gambar 5.6 Perbandingan Tegangan Layan pada Serat Bawah

5.2.7 Faktor Koefisien Rangkak

Nilai faktor koefisien rangkak beton dipengaruhi oleh tipe semen, slump beton, kadar udara, kehalusan agregat, kadar semen, *initial moist curing*, kelembaban relatif, temperatur beton, umur pembebanan balok beton, dan rasio antara luas keliling. Nilai faktor koreksi terhadap lama pembebanan menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu. Peningkatan terbesar terjadi pada waktu beton berumur 5 th. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.9 dan perbandingan faktor koefisien rangkak dengan waktu dapat dilihat pada gambar 5.7.

Tabel 5.9 Besar Faktor Koefisien Rangkak

	U M U R			
	1 Bln	1 Thn	3 Thn	5 Thn
Koefisien Rangkak	1,022	1,821	2,041	2,114

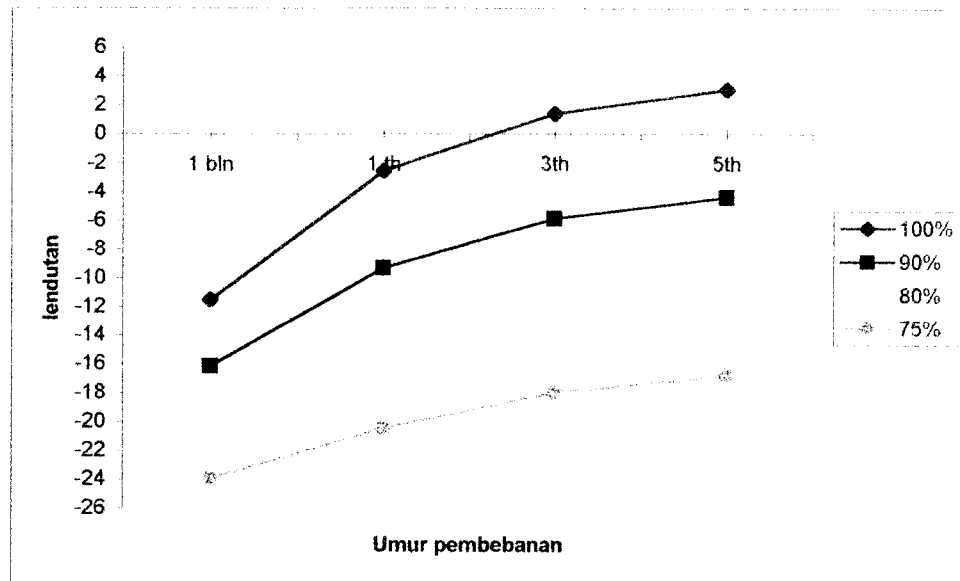


Gambar 5.7 Perbandingan Koefisien Rangkak dengan Umur Beton

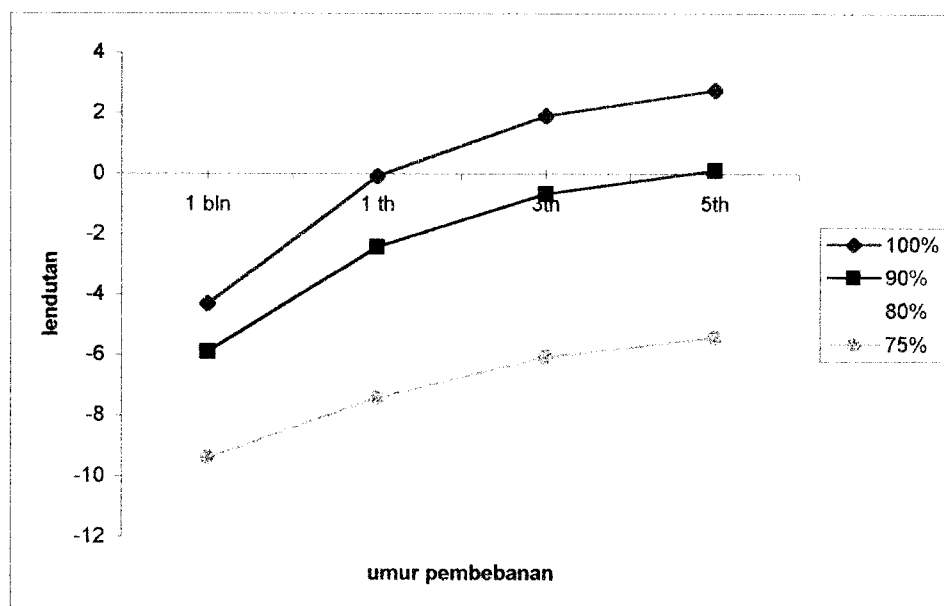
5.2.8 Lendutan

Lendutan yang terjadi pada penampang balok beton prategang terdiri dari lendutan sesaat, yaitu sebelum beban layan bekerja dan lendutan akhir yang terjadi setelah beban layan bekerja. Perhitungan lendutan menggunakan metode *Approximate Time Step Method* dan *Incremental Time Step* pada umur pembebanan 1 bulan, 1 tahun, 3 tahun dan 5 tahun. Saat transfer lendutan yang terjadi pada gaya prategang penuh adalah lendutan keatas (*chamber*), semakin berkurang gaya prategang maka lendutan sesaat berubah menjadi lendutan kebawah dengan besar dapat dilihat pada tabel 5.10.dan 5.11 Pada saat gaya prategang pertama kali dikerjakan, umumnya sebuah gelagar akan melendut keatas. Dengan bertambahnya waktu, rangkak dan penyusutan yang terjadi pada beton akan menyebabkan besar gaya prategang berkurang secara berangsur-angsur. Walaupun demikian, besar

defleksi keatas tetap akan bertambah, akibat adanya perbedaan pada besar rangkai yang terjadi, yaitu lebih besar terjadi pada serat-serat bawah (yang mengalami tegangan) dibandingkan dengan serat-serat bagian atas gelagar. Besar lendutan akhir atau setelah beban layan bekerja dapat dilihat pada tabel 5.10 dan 5.11 Lendutan yang terjadi pada 1 bulan menghasilkan lendutan kebawah yang besar dan ini merupakan lendutan terbesar balok, dan semakin bertambah waktu lendutan yang terjadi semakin ke atas. Hal ini dikarenakan rangkai yang terjadi pada beton menyebabkan terjadinya pertambahan baik pada komponen lendutan ke atas yang disebabkan oleh gaya prategang maupun terjadinya pertambahan baik pada komponen lendutan ke bawah yang disebabkan oleh beban mati dan beban hidup. Walaupun adanya kehilangan pada gaya prategang, tetapi besar lendutan keatas jauh lebih besar. Keadaan ini berlaku pada prategang penuh maupun prategang parsial pada balok menerus dengan 3 perletakan maupun dengan 4 perletakan. Lendutan yang terjadi pada 4 perletakan nilainya jauh lebih kecil dibandingkan dengan 3 perletakan, hal ini terjadi dikarenakan momen maksimal yang terjadi pada 4 perletakan lebih kecil dibandingkan dengan 3 perletakan. Hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 5.9 Hasil lendutan dari kedua metode ini aman karena keduanya memenuhi syarat lendutan. Pada 3 perletakan metode *Approximate Time Step* nilainya lebih kecil dibandingkan dengan metode *Incremental Time Step* atau rata-rata 30-50 % nya, sedangkan pada 4 perletakan besarnya dengan metode *Incremental* hasilnya lebih



Gambar 5.8 Besar Lendutan pada Balok Menerus 3 Perletakan

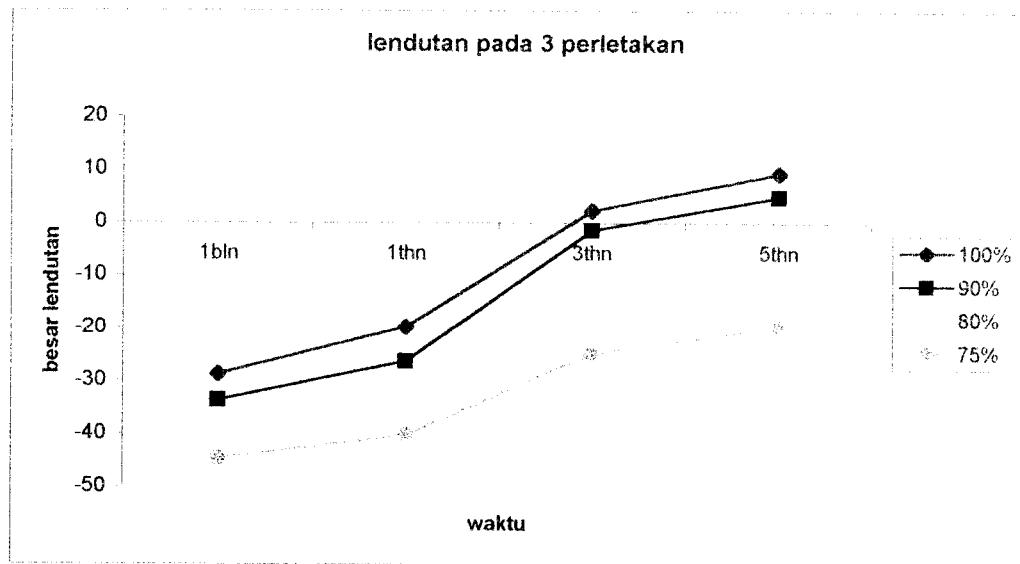


Gambar 5.9 Besar Lendutan pada Balok Menerus 4 Perletakan

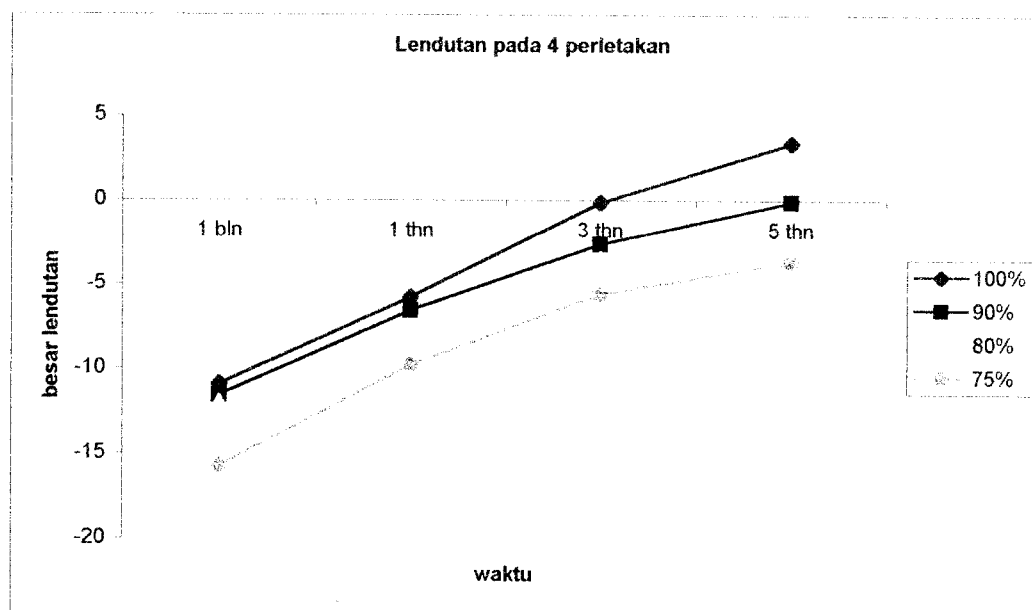
Tabel 5.11 Besar Lendutan pada Balok Menerus Metode *Incremental Time Step*

%	Besar Lendutan 3 perletakan				
Prategang	Transfer	Layan (mm)			
	(mm)	1 bln	1 thn	3 thn	5 thn
100%	4,442	-28,713	-19,706	2,252	9,355
90%	1,289	-33,634	-26,230	-1,379	-4,931
80%	-2,148	-41,733	-36,902	-19,597	-14,146
75%	-3,763	-44,568	-40,127	-24,710	-19,686

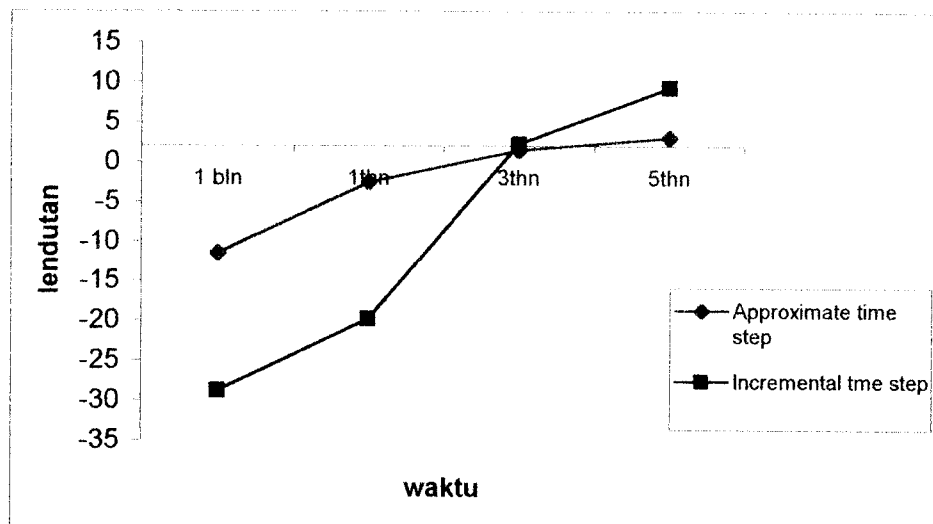
%	Besar Lendutan 4 perletakan				
Prategang	Transfer	Layan (mm)			
	(mm)	1 bln	1 thn	3 thn	5 thn
100%	1,033	-10,903	-5,767	-0,103	3,393
90%	-0,142	-11,583	-6,553	-2,606	-0,086
80%	-1,908	-12,028	-8,328	-3,487	-2,110
75%	-2,358	-15,746	-9,768	-5,570	-3,678



Gambar 5.10 Besar Lendutan pada 3 Perletakan



Gambar 5.11 Besar Lendutan pada 4 Perletakan



Gambar 5.12 Perbandingan Lendutan dengan 2 Metode Berbeda

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada balok prategang parsial, tegangan beton pada serat atas pada saat transfer mengalami desak yang akan terus bertambah besar dengan semakin berkurangnya gaya prategang yang diberikan. Pada saat layan tegangan beton serat bawah mengalami tegangan tarik yang akan terus bertambah seiring dengan pengurangan gaya prategang.
2. Rangkak beton akan memberikan tambahan lendutan yang terjadi akibat lendutan seketika seiring dengan bertambahnya waktu serta akan menyebabkan bertambahnya besar kehilangan gaya prategang.
3. Lendutan antara waktu setelah transfer gaya prategang sampai waktu penempatan pada umur 30 hari pertama, diperhitungkan sebagai lendutan jangka pendek akibat gaya prategang dan berat sendiri balok. Lendutan yang dihasilkan berupa lendutan keatas yang besarnya semakin

bertambah dengan bertambahnya umur beton. Serta semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang.

4. Dengan semakin bertambahnya umur pembebanan, superposisi lendutan akan menghasilkan lendutan kebawah yang semakin kecil dan akhirnya pada umur beton tertentu dapat terjadi lendutan keatas.
5. Dengan menggunakan metode *Approximate Time Step* lendutan yang terjadi lebih kecil dibandingkan metode *Incremental Time Step*. Perbandingan besarnya pada balok menerus dengan 3 perletakan adalah 30-50% sedangkan pada 4 perletakan 25-60%

6.2 Saran-saran

1. Pada saat perhitungan desain dan analisis balok menerus beton prategang parsial, perlu ditinjau masalah geser dan torsi sebagaimana disyaratkan dalam SK-SNI 1991.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1991, *Tata Cara Perhitungan Struktur Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1993-03)*, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Ghali, a dan Neville, AM, 1990, *Analisa Struktur*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Lin, TY dan Burns, N H, 2000, *Desain Struktur Beton Prategang*, jilid 1 dan 2, Edisi ketiga, Interaksara, Jakarta.
- Nawy, EG, 1996, *Prestressed Concrete A Fundamental Approach*, PrenticeHill, New York.
- Nilson, A H, 1982, *Design of Prestressed Concrete*, Second Edition, John Willey & Son Inc, New York.
- Raju, K, 1993 *Beton Prategang*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Wang, Chu-Kia dan Salmon, C G, 1989, *Desain Beton Bertulang*, Jilid 2, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Winarni Hadipratomo, Ir, 1994, *Struktur Beton Prategang*, Nova, Bandung.

LAMPIRAN

SERT

MENI

EPTE
UN :

	Ok

M.SAM
A.KADII



MULTISTRAND SYSTEM



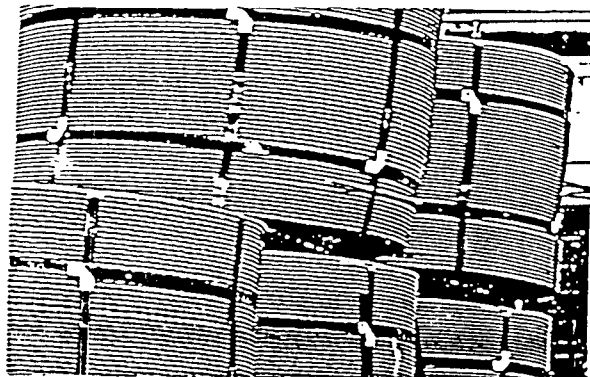
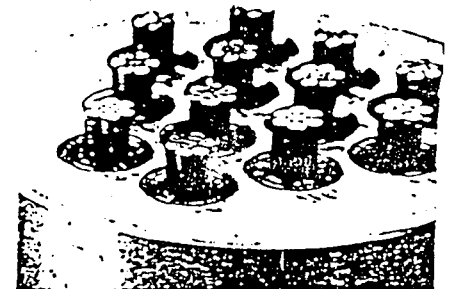
Strand Properties

Strand type		13 mm (0.5")		15 mm (0.6")	
		Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270	Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270
Nominal diameter	(mm)	12.9	12.7	15.7	15.2
Nominal area	(mm ²)	100	98.7	150	140
Nominal mass	(kg/m)	0.785	0.775	1.18	1.10
Yield strength	(MPa)	1580 ¹⁾	1670 ²⁾	1500 ¹⁾	1670 ²⁾
Tensile strength	(MPa)	1860	1860	1770	1860
Min. breaking load P_b	(kN)	186.0	183.7	265.0	260.7
Young's modulus	(GPa)	circa 195			
Relaxation ³⁾ after 1000 h at 20°C and $0.7 \times P_b$	(%)	max 2.5			

1) Measured at 0.1% residual strain (0.1% offset method)

2) Measured at 1.0% extension (1% extension under load method)

3) Valid for relaxation class 2 acc. to Euronorm 138-79/BS 5896, 1980, or low relaxation grade acc. to ASTM A 416-85



Tendon Properties

13 mm (0.5") strand				
Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load	
			Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)
5-1	1	25/30	186	184
5-2	2	40/45	372	367
5-3	3	40/45	558	551
5-4	4	45/50	744	735
5-6 ²⁾	6	50/55	1116	1102
5-7	7	55/60	1302	1296
5-12	12	65/72	2232	2204
5-18 ²⁾	18	80/87	3348	3307
5-19	19	80/87	3534	3490
5-22	22	85/92	4092	4041
5-31	31	100/107	5766	5695
5-37	37	120/127	6882	6797
5-43	43	130/137	7998	7899
5-55	55	140/150	10 220	10 104

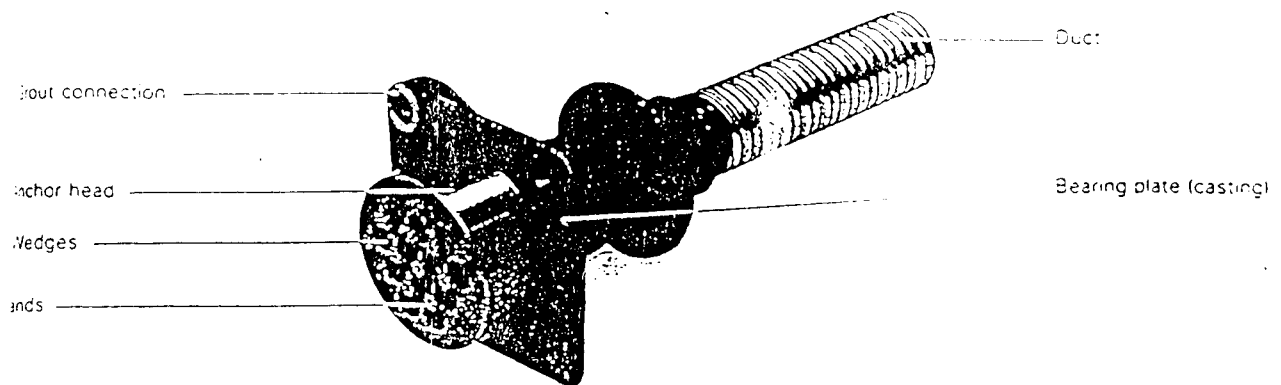
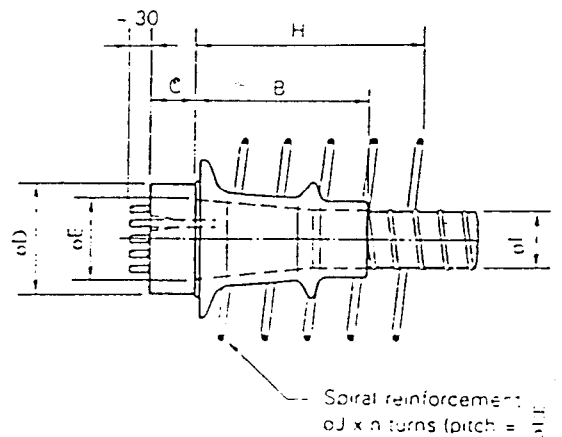
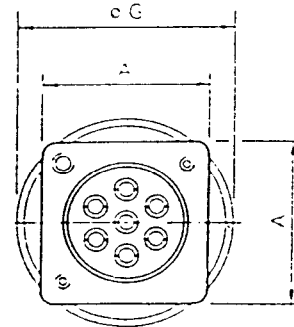
15 mm (0.6") strand				
Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load	
			Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)
6-1	1	30/35	265	261
6-2	2	45/50	530	521
6-3	3	45/50	795	782
6-4	4	50/55	1060	1043
6-6 ²⁾	6	60/67	1590	1564
6-7	7	60/67	1855	1825
6-12	12	80/87	3180	3128
6-18 ²⁾	18	95/102	4770	4693
6-19	19	95/102	5035	4953
6-22	22	110/117	5830	5735
6-31	31	130/137	8215	8082
6-37	37	140/150	9805	9646
6-43	43	150/160	11 395	11 210
6-55	55	170/180	14 575	14 309

- 1) Standard size for corrugated steel ducts
For polyethylene ducts PT-PLUS[®] see page 6
- 2) For intermediate stressing and anchorages type 2

MULTISTRAND SYSTEM



Pressing Anchorage VSL Type EC


 $X = \text{Anchorage spacing}$
 $X_1 = \text{Clearance to edge}$
 $X_2 = \frac{1}{2} X + \text{required cover of spiral reinforcement}$

	Tendon unit	A	B	C	dD	dE	dF internal/external	dG	H	dJ	n	X ²
Strand type 13 mm [0.5"]	5-3	120	130	50	90	50	40/45	130	150	10	3	155
	5-4	125	135	50	95	55	45/50	160	150	10	3	180
	5-7	165	155	55	110	74	55/60	205	200	12	4	235
	5-12	215	215	60	150	104	65/72	295	250	14	5	305
	5-19	270	235	75	180	135	80/87	365	300	16	6	385
	5-22	290	335	85	190	150	85/92	395	360	18	6	415
	5-31	340	365	95	230	172	100/107	470	400	18	8	490
	5-37	370	380	105	240	188	120/127	510	420	20	7	535
	5-55	430	460	130	290	230	140/150	620	540	22	9	655
Strand type 15 mm [0.6"]	6-3	135	125	50	90	55	45/50	160	150	10	3	185
	6-4	150	155	55	110	65	50/55	190	200	12	4	210
	6-7	190	170	60	135	84	60/67	260	250	14	5	280
	6-12	250	245	75	170	118	80/87	345	300	16	6	365
	6-19	310	305	95	200	150	95/102	440	350	18	7	460
	6-22	340	365	100	220	172	110/117	470	400	18	8	495
	6-31	390	350	120	260	192	130/137	560	480	20	8	590
	6-37	430	450	135	290	215	140/150	610	540	22	9	640
	6-55	520	530	160	340	255	170/180	740	630	26	9	780

Dimensions in mm

Subject to modification

- 1) Standard diameter for corrugated steel duct. For polyethylene ducts PT-PLUS[®] see page 6.
 - 2) Anchorage spacings are in accordance with test requirements of CEB/FIP (Recommendations for acceptance and application of post-tensioning systems, March 1981). Modifications to these values may be possible.
- Dimensions are valid for:
Nominal concrete strength at 28 days: 35 MPa (cube), 28 MPa (cylinder)

Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches 90 % of its nominal strength.

Max. prestressing force is 75 % of min. tendon breaking load (temporary oversteering to 90 %).

Dimensions for other concrete strengths on request.

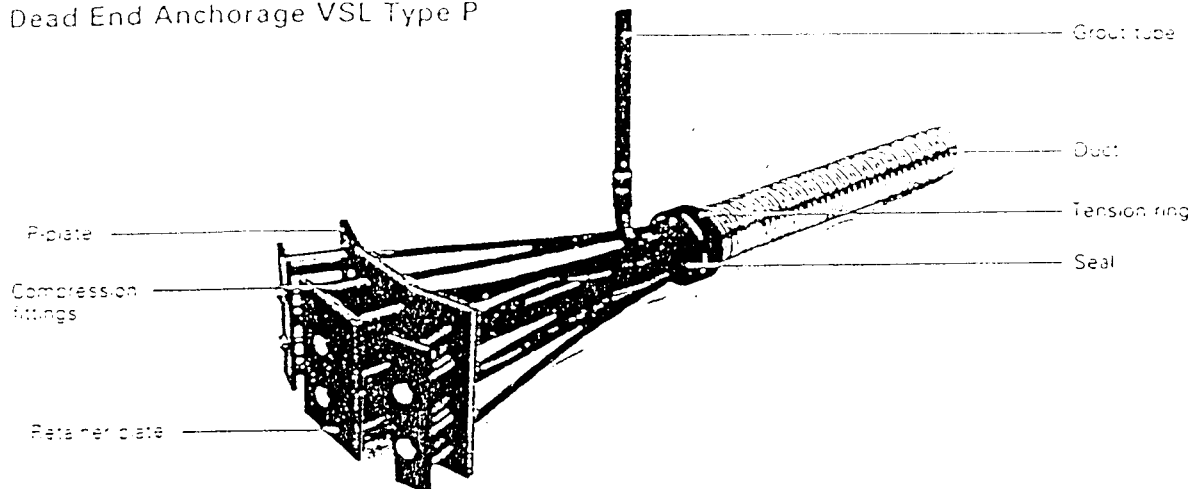
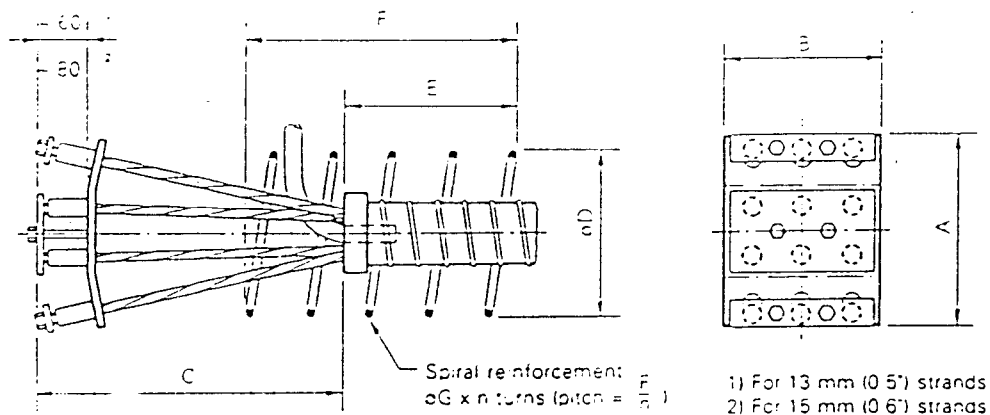
Yield strength of spiral reinforcement ≥ 420 MPa

Spirals may be replaced by suitable orthogonal reinforcement.



Lampiran 2c

Dead End Anchorage VSL Type P



Where the force must be transferred into the concrete exclusively via the bearing plate, polyethylene tubes may be used for sheathing the strands between the end of the duct and the bearing plate.

Strand type 13 mm (0.5")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	oD	E	F	oG	n
5-3		190	60	260	130	90	190	8	4
5-4	1	120	120	360	130	90	190	8	4
	2	230	65	360	130	90	190	8	4
5-7		230	110	360	180	100	250	12	4
5-12		230	190	410	200	140	320	14	5
5-19		300	230	510	230	140	320	14	5
5-22		350	230	610	300	140	320	16	5
5-31		500	230	810	300	140	320	16	5
5-37	1	600	230	960	350	170	380	18	6
	2	470	300	810	350	170	380	18	6
5-43	1	690	230	1010	400	170	380	18	6
	2	530	300	860	400	170	380	18	6
5-55	1	860	230	1310	400	170	380	20	6
	2	600	360	910	400	170	380	20	6

Dimensions in mm.
Dimensions are valid for:
Nominal concrete strength at 28 days: 35 MPa (cube), 28 MPa (cylinder).
Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches 80 % of its nominal strength.

Strand type 15 mm (0.6")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	oD	E	F	oG	n
6-2		180	60	280	130	90	190	8	4
6-3		230	70	330	180	100	250	12	4
6-4	1	260	80	430	180	100	250	12	4
	2	145	145	360	180	100	250	12	4
6-7		270	140	430	200	140	320	14	5
6-12		270	230	430	230	140	320	14	5
6-19		370	270	630	300	140	320	16	5
6-22		420	270	730	300	140	320	16	5
6-31	1	600	270	980	400	170	380	18	6
	2	480	340	780	400	170	380	18	6
6-37	1	720	270	1180	400	170	380	20	6
	2	560	340	980	400	170	380	20	6
6-43	1	800	270	1280	400	200	440	20	7
	2	650	340	1080	400	200	440	20	7
6-55	1	1000	270	1780	460	220	500	22	8
	2	800	340	1280	460	220	500	22	8

Subject to modification:
Max. prestressing force is 75 % of min. tendon breaking load (temporary over-stressing to 80 %).
Dimensions for other concrete strengths on request.
Yield strength of spiral reinforcement: ≥ 420 MPa.
Spirals may be replaced by a suitable orthogonal reinforcement.

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN BALOK MENERUS PRATELANG PARSIAL DENGAN 3 PERLETAKAN

L m	B m	f_{pu} Mpa	f_c' Mpa	f_{ci}' Mpa	y mm^3	W_d Km/m^2	W_{sd} Km/m^2	W_l Km/m^2	E_s Mpa	c_t mm	n
100%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	673.529412	6.343455255
90%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	673.529412	6.343455255
80%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	673.529412	6.343455255
75%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	673.529412	6.343455255

Mo kN.m	Mds kN.m	MI kN.m	f_{ci} Mpa	f_{ti} Mpa	f_{is} Mpa	f_{cs} Mpa	St mm^3	Sb mm^3	h mm	b mm	hf mm	bw mm
100%	1291.95	1687.5	21.6	1.5	3.35410197	20.25	158002797	148914646	1500	800	200	400
90%	1291.95	1687.5	21.6	1.5	3.35410197	20.25	158002797	148914646	1500	800	200	400
85%	1291.95	1687.5	21.6	1.5	3.35410197	20.25	158002797	148914646	1500	800	200	400
75%	1291.95	1687.5	21.6	1.5	3.35410197	20.25	158002797	148914646	1500	800	200	400

Ac mm^2	Wo Km/m^2	Mo kN.m	f_{ci} Mpa	Pi kN	Aps mm^2	As mm^2	Asn mm^2	An mm^2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm^4	r mm
100%	680000	16.32	-8.872353	6033.2	4383.3188	11885.3574	0	668110.64	684.0916	815.908	604.09156	1.3832E+11	207034.1
90%	680000	16.32	-8.872353	5429.88	3944.9869	11885.3574	402	667708.64	683.6244	816.376	603.62442	1.3808E+11	206796.06
80%	680000	16.32	-8.872353	4826.56	3506.655	7051.304711	2945	670003.7	676.3189	823.681	586.31895	1.3827E+11	206377.43
75%	680000	16.32	-8.872353	4524.9	3287.4891	7051.304711	4021	668927.7	675.0584	824.942	595.05836	1.3761E+11	205719.72

Pp	Ps	wps	w'	B1	Y	f_{ps} Mpa	NT kN.m	a	Mu kN.m	Mu'o kN.m	Mn kN.m	Chek Mn
100%	0.0029577	0.0012	0.0262911	0.0106667	0.73	0.4	1735.401891	5830.9504	190.55393	6062.772	7578.47	7724.3942
90%	0.0027113	0.0012	0.0241002	0.0106667	0.73	0.4	1821.360865	5609.7915	188.58142	6062.772	7578.47	7436.9527
80%	0.0022183	0.0012	0.0197183	0.0106667	0.73	0.4	1830.418429	4612.6544	189.23707	6062.772	7578.47	6113.5267
75%	0.0019718	0.0012	0.0175274	0.0106667	0.73	0.4	1834.94721	4110.2818	186.88502	6062.772	7578.47	5452.525

St mm^3	Sb mm^3	e1 mm	e2 mm	e3 mm	e4 mm	f_t Mpa	f_b Mpa	n bh	Aps mm^2	f_{si} kN	y1 mm	y2 mm	f_{ct} kN	f_s kN
100%	202197625	169530895.8	657.52213	142.86142	493.84	-0.08550078	-19.69853	12	3360	1795.6	80	1420	-1.131529	1788.4174
90%	201981550	169137247.5	696.42579	757.64508	566.91	-0.98478389	-16.65541	11	3080	1762.95	80	1420	-1.830017	1751.3394
80%	204450342	167872796	749.08238	881.11067	701.47	-2.10636152	-13.41187	9	2520	1915.3	80	1420	-2.709322	1898.1151
75%	203851440	166813764.4	778.07499	852.67982	757.07	-2.56242863	-11.89935	8	2240	2020.04	80	1420	-3.060398	2000.6311

f_{cs} Mpa	Mt kN.m	Atr mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	f_{csd} Mpa	A/pa Mpa	A/pcr Mpa	A/psh Mpa	A/pr Mpa	a	s mm3	s mm3
100%	-19.304979	4571.22	697954.01	658.2616	841.7384	578.2616	1.89589E+11	8.0183528	42.3333333	114.53393	25.9678	18.9335745	0.161091083	288013982
90%	-16.812555	4571.22	698605.91	661.96521	838.03479	581.96521	1.88715E+11	8.0262043	42.3333333	89.177319	25.9678	24.1104038	0.160966511	285082924
80%	-14.044511	4571.22	709201.98	679.71115	820.28885	599.71115	1.704E+11	7.9179342	42.3333333	62.181861	25.9678	29.6174773	0.159018387	250694101
75%	-12.820992	4571.22	713455.37	687.25694	812.74306	607.25694	1.69831E+11	7.9392072	42.3333333	49.547818	25.9678	32.1948222	0.15868223	246823401

	A/pf	total	% hilang	sisir	pe	ft Mpa	fb Mpa	fse Mpa	y1 mm	y2 mm	fct Mpa	fs Mpa
100%	91.4951474	1008.716251	22.5256336	77.4743664	4674.1835	-13.18388	1.598015805	1391.126	1337.8406	162.1594	-12.396	1312.4956
90%	91.4545994	1028.956584	20.9710765	79.0289235	4291.1757	-13.41723	3.06719597	1393.2389	1220.9005	279.0995	-12.538	1313.7043
80%	90.8204849	1051.079084	19.2719598	80.7280402	3696.3873	-14.40735	5.26270861	1546.1854	1098.6762	401.3238	-13.358	1461.4478
75%	90.711066	1061.245201	18.491152	81.508848	3688.1939	-14.61566	6.00147744	1646.5151	1063.3625	436.6375	-13.516	1560.7765

koefisien rangkai				
1 bl	1th	3th	5th	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	

BESAR LENDUTAN

1 BULAN

d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	Ap/pi	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	31.3391606	-11.10919465	4.4426047	0.22525634	0.88737183	52.70185037	-22.463086	-29.288842	-12.410362	-11.4604
90%	28.2328628	-11.12867843	1.28913457	0.20971076	0.89514462	48.14128752	-22.502483	-29.34021	-12.432128	-16.1335
80%	24.7573453	-11.11305492	-15.792847	0.1927196	0.9036402	42.85062332	-22.470892	-29.29902	-12.414675	-21.334
75%	23.2723691	-11.16651754	-15.868823	0.18491152	0.90754424	40.35495979	-22.578994	-29.439971	-12.474399	-23.9384

1 th

d1 mm	d2 mm	d3 mm	Total mm	Ap/pi	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	31.3391606	-11.10919465	4.4426047	0.22525634	0.88737183	74.93457715	-31.344504	-33.705639	-12.410362	-2.52593
90%	28.2328628	-11.12867843	1.28913457	0.20971076	0.89514462	68.34577574	-31.399477	-33.764754	-12.432128	-9.25058
80%	24.7573453	-11.11305492	-15.792847	0.1927196	0.9036402	60.73605183	-31.355396	-33.717352	-12.414675	-16.7514
75%	23.2723691	-11.16651754	-15.868823	0.18491152	0.90754424	57.44023457	-31.50624	-33.879559	-12.474399	-20.42

3th

d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	Ap/pi	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	31.3391606	-11.10919465	4.4426047	0.22525634	0.88737183	81.0418982	-33.784226	-33.424739	-12.410362	1.42257
90%	28.2328628	-11.12867843	1.28913457	0.20971076	0.89514462	73.89594048	-33.843478	-33.483361	-12.432128	-5.86303
80%	24.7573453	-11.11305492	-15.792847	0.1927196	0.9036402	65.64917182	-33.795965	-33.436353	-12.414675	-13.9978
75%	23.2723691	-11.16651754	-15.868823	0.18491152	0.90754424	62.07861273	-33.958551	-33.597209	-12.474399	-17.9515

5th

d1 mm	d2 mm	d3 mm	Total mm	Ap/pi	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	31.3391606	-11.10919465	4.4426047	0.22525634	0.88737183	83.08225638	-34.599298	-32.989914	-12.410362	3.08268
90%	28.2328628	-11.12867843	1.28913457	0.20971076	0.89514462	75.75016166	-34.65998	-33.047773	-12.432128	-4.38972
80%	24.7573453	-11.11305492	-15.792847	0.1927196	0.9036402	67.29036654	-34.611321	-33.001377	-12.414675	-12.7368
75%	23.2723691	-11.16651754	-15.868823	0.18491152	0.90754424	63.62822061	-34.777829	-33.16014	-12.474399	-16.7841

PERHITUNGAN BALOK MENERUS PRATEGANG PARSIAL DENGAN 4PERLETAKKAN

L m	B m	fpu Mpa	f'c Mpa	fci' Mpa	y t/m ³	Wd Kn/m ²	Wsd Kn/m ²	Wl Kn/m ²	l/c Mpa	Es Mpa	ct mm	n
100%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	200000	559.615385	6.343455255
90%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	200000	559.615385	6.343455255
80%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	200000	559.615385	6.343455255
75%	60	1860	45	36	2.4	11.484	15	10.08	31528.558	200000	559.615385	6.343455255

Mo kN.m	Mds kN.m	MI kN.m	fci Mpa	fi Mpa	fci Mpa	fci Mpa	fcs Mpa	St mm ³	Sb mm ³	h mm	b mm	hf mm	bw mm
100%	459.36	600	667.186	21.6	1.5	3.35410197	20.25	63359347	60411934	1200	500	150	300
90%	459.36	600	667.186	21.6	1.5	3.35410197	20.25	63359347	60411934	1200	500	150	300
85%	459.36	600	667.186	21.6	1.5	3.35410197	20.25	63359347	60411934	1200	500	150	300
75%	459.36	600	667.186	21.6	1.5	3.35410197	20.25	63359347	60411934	1200	500	150	300

Ac mm ²	Wo Kn/m ²	Mo kN.m	fci Mpa	fi kN	aps mm ²	As mm ²	asn mm ²	An mm ²	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm ⁴	r mm
100%	390000	9.36	1053	9.272596	3616.3125	2627.3703	8171.282492	0	381828.72	569.8793	630.121	489.87934	4.8958E+10
90%	390000	9.36	1053	9.272596	3254.6813	2364.6333	5944.678699	236	383819.32	566.6746	633.325	486.67461	4.9407E+10
80%	390000	9.36	1053	9.272596	2893.05	2101.8963	5944.678699	1521	382534.32	564.6815	635.318	484.68153	4.8953E+10
75%	390000	9.36	1053	9.272596	2712.2344	1970.5277	3525.652355	2463	384011.35	560.168	639.832	480.168	4.9179E+10

Pp	Ps	wps	w'	B1	Y	fps Mpa	NT kN.m	a	Mu kN.m	Mu/o kN.m	Mn kN.m	Chek Mn
100%	0.0045	0.0012	0.0106667	0.73	0.4	1670.432877	4209.4908	220.1041	2882.33	3602.91	4251.3667	4251.36666
90%	0.0035	0.0012	0.0106667	0.73	0.4	1788.756142	3505.962	188.25422	2882.33	3602.91	3596.6714	3697.2898
80%	0.003	0.0012	0.0106667	0.73	0.4	1802.116957	3027.5565	190.11537	2882.33	3602.91	3103.0708	3750.98166
75%	0.0025	0.0012	0.0106667	0.73	0.4	1815.477772	2541.6689	184.41144	2882.33	3602.91	2612.3127	3664.30365

St mm ³	Sb mm ³	e1 mm	e2 mm	e3 mm	e4 mm	ft Mpa	fb Mpa	n bh	aps mm ²	fci kN	y1 mm	y2 mm	fct kN	fs kN
100%	85910191	77696933.05	547.09757	556.03642	171.72379	344.65	-1.10698739	18	2520	1435.04	80	1120	-2.281137	1420.5744
90%	87187001	78011494.61	587.27267	641.23518	214.28275	424.30	-2.38970041	14	1960	1660.55	80	1120	-3.249456	1639.9389
80%	86690945	77052340.93	631.20807	741.69142	223.98273	494.05	-3.53465732	12	1680	1722.05	80	1120	-4.105343	1696.0115
75%	87793969	76862945.2	661.90794	803.28616	284.60338	562.81	-4.22297822	10	1400	1937.31	80	1120	-4.62856	1907.9492

fcs Mpa	Mt kN.m	Atr mm ²	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm ⁴	fcsd Mpa	A/pa Mpa	A/per Mpa	A/psh Mpa	A/pr Mpa	a mm ³	s mm ³	s mm ³
100%	-22.600905	2179.546	403465.51	543.6084	463.6084	70472262346	10.536343	42.3333333	122.44962	25.96776	17.3228547	0.130634491	129637919	107363139
90%	-19.557571	2179.546	401734.23	548.99648	468.99648	65095298644	10.372455	42.3333333	93.224592	25.96776	23.2847602	0.129779897	118571431	99992238
80%	-16.89799	2179.546	407104.4	561.02547	481.02547	64363255679	10.425755	42.3333333	65.690129	25.96776	28.9017906	0.129248408	114724302	100728985
75%	-15.29331	2179.546	410641.77	570.12015	490.12015	59284251709	10.281077	42.3333333	50.871806	25.96776	31.9247285	0.128044799	103985540	94119937

	Δ/pf	total	% hilang	sisir	pe	ft Mpa	f/b Mpa	f/sc Mpa	y1 mm	y2 mm	f _{ct} Mpa	f _s Mpa
100%	21.3778656	1072.548567	17.6229979	82.3770021	2979.0098	-13.54265	0.053373522	1182.1468	1195.2892	4.710806	-12.636	1101.9893
90%	21.3190525	1095.870502	15.8317587	84.1682413	2739.408	-14.36524	2.129471683	1397.6571	1045.0796	154.9204	-13.266	1313.5075
80%	21.2824754	1117.824511	14.1455828	85.8544172	2483.8112	-14.68496	3.675261372	1478.4591	959.7897	240.2103	-13.461	1393.0702
75%	21.1996431	1129.702729	13.2332773	86.7667227	2353.3169	-15.59891	5.171623906	1680.9406	901.21381	298.7862	-14.214	1590.7734

koefisien rangkai				
1 bl	1th	3th	5th	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	
1.02202651	1.821492015	2.04110487	2.114474	

BESAR LENDUTAN

1 BULAN

	d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	$\Delta p/pi$	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	15.95011	-6.199836368	-8.7166978	1.03357579	0.17622998	0.91188501	28.00425685	-12.536233	-16.171289	-3.6019192	-4.30519
90%	14.6554585	-6.143591457	-8.63762	-0.125753	0.15831759	0.92084121	26.12784711	-12.422505	-16.024584	-3.5692426	-5.88848
80%	13.0103823	-6.200554139	-8.717707	-1.9078788	0.14145583	0.92927209	23.52647758	-12.537685	-16.173162	-3.6023362	-8.78671
75%	12.4918772	-6.171984736	-8.6775397	-2.3576472	0.13233277	0.93383361	22.76107382	-12.479917	-16.098643	-3.5857383	-9.40322

1 th

	d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	$\Delta p/pi$	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	15.95011	-6.199836368	-8.7166978	1.03357579	0.17622998	0.91188501	39.63221583	-17.492789	-18.609942	-3.6019192	-0.07243
90%	14.6554585	-6.143591457	-8.63762	-0.125753	0.15831759	0.92084121	36.916914	-17.334094	-18.441112	-3.5692426	-2.42754
80%	13.0103823	-6.200554139	-8.717707	-1.9078788	0.14145583	0.92927209	33.19216358	-17.494814	-18.612096	-3.6023362	-6.51708
75%	12.4918772	-6.171984736	-8.6775397	-2.3576472	0.13233277	0.93383361	32.08710666	-17.414206	-18.52634	-3.5857383	-7.43918

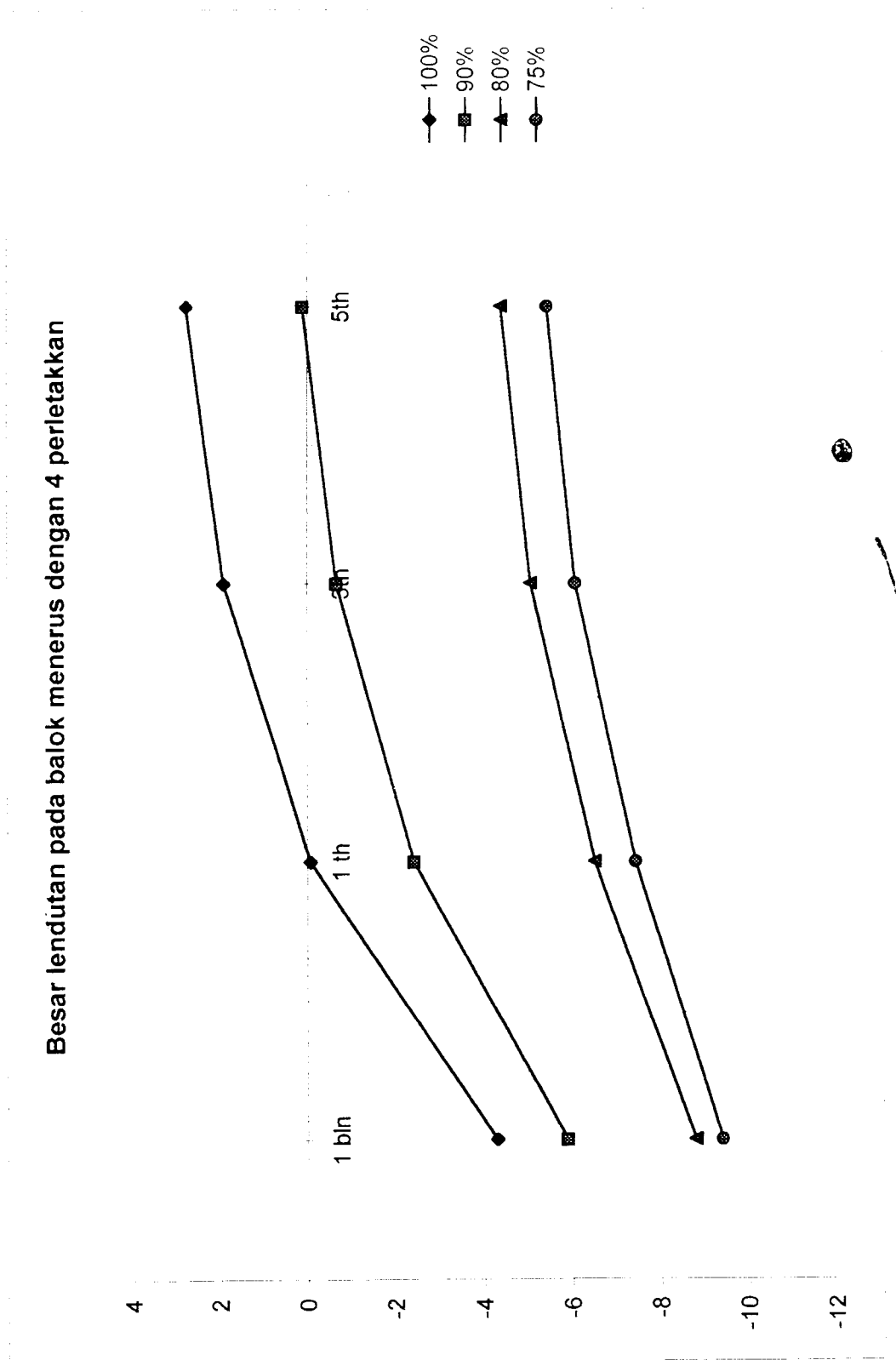
3th

	d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	$\Delta p/pi$	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	15.95011	-6.199836368	-8.7166978	1.03357579	0.17622998	0.91188501	42.82641146	-18.854353	-18.454848	-3.6019192	1.915292
90%	14.6554585	-6.143591457	-8.63762	-0.125753	0.15831759	0.92084121	39.88066632	-18.683306	-18.287425	-3.5692426	-0.65931
80%	13.0103823	-6.200554139	-8.717707	-1.9078788	0.14145583	0.92927209	35.84732362	-18.856535	-18.456984	-3.6023362	-5.06853
75%	12.4918772	-6.171984736	-8.6775397	-2.3576472	0.13233277	0.93383361	34.64896411	-18.769653	-18.371943	-3.5857383	-6.07837

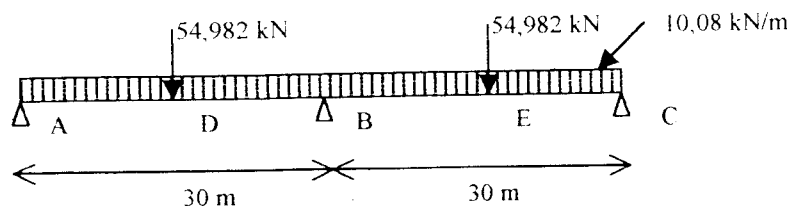
5th

	d1 mm	d2 mm	d3 mm	total mm	$\Delta p/pi$	k	d4 mm	d5 mm	d6 mm	d7 mm	total mm
100%	15.95011	-6.199836368	-8.7166978	1.03357579	0.17622998	0.91188501	43.89454108	-19.309229	-18.214767	-3.6019192	2.767625
90%	14.6554585	-6.143591457	-8.63762	-0.125753	0.15831759	0.92084121	40.87080851	-19.134056	-18.049523	-3.5692426	0.117987
80%	13.0103823	-6.200554139	-8.717707	-1.9078788	0.14145583	0.92927209	36.73437007	-19.311465	-18.216876	-3.6023362	-4.39631
75%	12.4918772	-6.171984736	-8.6775397	-2.3576472	0.13233277	0.93383361	35.50483966	-19.222486	-18.132941	-3.5857383	-5.43633

% Prategang	1 bln	1 th	3th	5th
100%	-4.3052	-0.072434	1.91529	2.76763
90%	-5.8885	-2.427535	-0.6593	0.11799
80%	-8.7867	-6.517083	-5.0685	-4.3963
75%	-9.4032	-7.439177	-6.0784	-5.4363



PERHITUNGAN MOMEN AKIBAT BEBAN HIDUP DENGAN METODE DEFORMASI KONSISTEN



$$V_A \cdot 60 - 10,08 \cdot 60 \cdot (60/2) - 54,985 \cdot 45 - 54,985 \cdot 15 \rightarrow V_A = 357,382 \text{ kN}$$

$$V_C \cdot 60 - 10,08 \cdot 60 \cdot (60/2) - 54,985 \cdot 45 - 54,985 \cdot 15 \rightarrow V_C = 357,382 \text{ kN}$$

Beban 1 satuan di B

$$R_A \cdot 60 - 1 \cdot 30 = 0 \rightarrow R_A = 0,5 \text{ kN}$$

$$R_C \cdot 60 - 1 \cdot 30 = 0 \rightarrow R_C = 0,5 \text{ kN}$$

Daerah A-D

$$M = V_A \cdot x - (10,08/2 \cdot x^2) \rightarrow 357,382 x - 5,04 x^2$$

$$m = 0,5 x$$

$$178,691 x^2 - 2,52 x^3$$

Daerah D-B

$$M = V_A \cdot x - (10,08/2 \cdot x^2) - 54,982 \cdot (x-15) \rightarrow 357,382 x - 5,04 x^2 - 54,982 x + 824,72$$

$$m = 0,5 x$$

$$-2,52 x^3 + 151,2 x^2 + 412,36 x$$

Daerah E-C

$$178,691 x^2 - 2,52 x^3$$

Daerah E-B

$$-2,52 x^3 + 151,2 x^2 + 412,36 x$$

$$Ei\delta B = \int_0^{15} (178,691x^2 - 2,52x^3)dx = 169133,625 \cdot 2 = 338267,25$$

$$= \int_{15}^{30} (-2,52x^3 + 151,2x^2 + 412,36x)dx = 851465,25 \cdot 2 = 1702930,5$$

$$\text{Total} = 2041197,75$$

$$Ei\delta bb = \int_0^{30} 0,5x^2 dx = 4500$$

$$\text{Persamaan } 2041197,75 + V_B \cdot 4500 = 0 \longrightarrow V_B = 453,6 \text{ kN}$$

$$\sum Mc = R_A \cdot 60 - 10,08 \cdot 60 \cdot 30 - 54,982 \cdot 45 - 54,982 \cdot 15 + 453,6 \cdot 30 = 0$$

$$R_A = 130,582 \text{ kN}$$

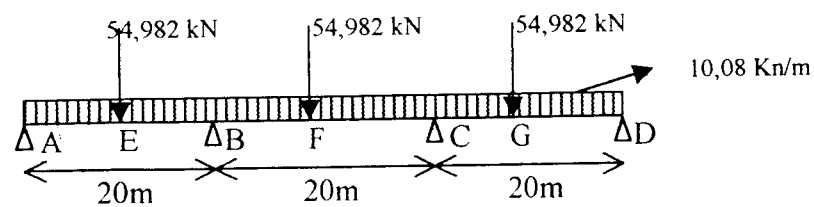
$$R_B = 130,582 \text{ kN}$$

Besar Momen yang terjadi

$$M_D = 824,73 \text{ kN.m}$$

$$M_B = -1443,27 \text{ kN.m}$$

$$M_E = 824,73 \text{ kN.m}$$



$$V_A = 384,873 \text{ kN}$$

$$V_D = 384,873 \text{ kN}$$

Beban 1 satuan di B

$$R_A = 0,667$$

$$R_D = 0,333$$

Beban 1 satuan di C

$$R_A = 0,333 \quad R_D = 0,667$$

Daerah A-E

$$256,71 x^2 - 3,3617 x^3$$

Daerah E-B

$$220,0373 x^2 - 3,36168 x^3 + 366,73 x$$

Daerah B-F

$$91,5447 x^2 - 1,678 x^3 + 823,9 x$$

Daerah F-G

$$109,8537 x^2 + 183,09 x - 1,678 x^3$$

Daerah G-D

$$128,162 x^2 - 1,6783 x^3$$

$$\begin{aligned} Ei\delta_B &= \int_0^{10} (256,71 x^2 - 3,3617 x^3) dx + \int_{10}^{20} (220,0373 x^2 - 3,36168 x^3 + 366,73 x) dx + \\ &\quad \int_{30}^{40} (91,5447 x^2 - 1,678 x^3 + 823,9 x) dx + \int_{10}^{30} (109,8537 x^2 + 183,09 x - 1,678 x^3) dx + \\ &\quad \int_0^{10} (128,162 x^2 - 1,6783 x^3) dx \\ &= 1930990,284 \end{aligned}$$

δ_{bb} defleksi di B akibat beban 1 satuan di B

Daerah A-B

$$= 0,444 x^2$$

Daerah D-B

$$= 0,111 x^2$$

$$\delta_{bb} = \int_0^{20} (0,444 x^2) dx + \int_0^{40} (0,111 x^2) dx = 3552$$

δ_{bc} defleksi di B akibat beban 1 satuan di C

Daerah A-B

$$= 0,222 x^2$$

Daerah B-C

$$= -0,111 x^2 + 6,66 x$$

Daerah D-C

$$= 0,222 x^2$$

$$\begin{aligned} \delta_{bc} &= \int_0^{20} (0,222 x^2) dx + \int_{20}^{40} (-0,111 x^2 + 6,66 x) dx + \int_0^{20} (0,222 x^2) dx \\ &= 3108 \end{aligned}$$

δ_{cc} defleksi di C akibat beban 1 satuan di C

Daerah A-C

$$= 0,111 x^2$$

Daerah D-C

$$= 0,444 x^2$$

$$\delta_{cc} = \int_0^{40} (0,111 x^2) dx + \int_0^{20} (0,444 x^2) dx = 3552$$

Persamaan

$$\delta B + V_B \cdot \delta_{bb} + V_C \cdot \delta_{bc} = 0 \longrightarrow 1930990,284 + 3552 \cdot V_B + 3108 \cdot V_C = 0$$

$$\delta C + V_B \cdot \delta_{cb} + V_C \cdot \delta_{cc} = 0 \longrightarrow 1930990,284 + 3108 \cdot V_B + 3552 \cdot V_C = 0$$

$$V_B = -289,94 \text{ kN}$$

$$V_C = -289,94 \text{ kN}$$

$$\sum M_C = V_A \cdot 60 - 10,08 \cdot 60 \cdot 30 - 54,982 \cdot 50 - 54,982 \cdot 30 - 54,982 \cdot 10 + 289,94 \cdot 40 + 289,94 \cdot 20 = 0$$

$$V_A = -94,93167 \text{ kN}$$

Besar Momen yang terjadi

$$M_E = M_G = 439,167 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C = -667,186 \text{ kN.m}$$

$$M_F = 111,71 \text{ kN.m}$$

LAMPIRAN 5

PERHITUNGAN LENDUTAN DENGAN METODE INCREMENTAL TIME STEP 3 PERLETAKAN

100%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	0	0	0	0				
0	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	0	0	0.0001333	0.000133	1	0		
30	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	2.5355E-07	2.535E-07	0.0004111	0.000278	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
360	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	4.51042E-07	1.975E-07	0.0007303	0.000319	0.9096	0.0903984	0.0247824	1.82149202
1080	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	5.06368E-07	5.533E-08	0.000775	4.47E-05	0.89864	0.101355	0.01095665	2.04110487
1800	-0.0855	-19.69853	2.7118E-06	0.00062478	-1.05E-05	-1.836675	5.2457E-07	1.82E-08	0.0007848	9.75E-06	0.89355	0.1064496	0.00509455	2.114474

time	oncrete stress	rangkak	A	E1	Ap	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	A'1	A'2	Anet1	Anet2	Ao
-7	-0.0855	-19.69853																		
0	-0.0855	-19.69853																		
30	-0.0855	-19.69853	3.144E-06	0.0007244	0.0004339	0.0002778	85.43201737	31606.136	155.42867	527.894	3.4E-05	0.0001154	3.0847E-05	0.0006089	-1.08E-05					
360	-0.0855	-19.69853	2.449E-06	0.0005642	0.0003382	0.0003192	32.26667918	22429.327	155.42867	527.894	3.4E-05	0.0001154	3.1542E-05	0.0004488	-8.13E-06					
1080	-0.0855	-19.69853	6.861E-07	0.0001581	9.55E-05	4.47E-05	14.2655541	5854.2045	155.42867	527.894	3.4E-05	0.0001154	3.3305E-05	4.262E-05	-1.29E-06					
1800	-0.0855	-19.69853	2.257E-07	5.2E-05	3.146E-05	9.755E-06	6.633104917	2074.8515	155.42867	527.894	3.4E-05	0.0001154	3.3765E-05	-6.34E-05	5.025E-07					

Ap+Ao+Al

Apt+Ao

Al

Ao

Ap

E

time

-7

0

30 2.997E-07 0.052267076 0.0522671 1.3275837 0.884358 22.462692 0.193826022 6.8614412 0.936625 23.79028 1.13045 28.713457

360 -2.4E-06 -0.652 -0.652 -16.5608 1.234014 31.343955 0.193826022 6.8614412 0.582014 14.78315 0.77584 19.706336

1080 -9.25E-06 -1.6125176 -1.612518 -40.95795 1.3300643 33.783634 0.193826022 6.8614412 -0.282453 -7.174313 -0.0886 -2.251132

1800 -1.1E-05 -1.92430268 -1.924303 -48.87729 1.3621532 34.598692 0.193826022 6.8614412 -0.562149 -14.2786 -0.3683 -9.355415

90%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	0	0	0	0				
0	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	0	0	0.0001333	0.000133	1	0		
30	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	2.5355E-07	2.535E-07	0.0004111	0.000278	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
360	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	4.51042E-07	1.975E-07	0.0007303	0.000319	0.9096	0.0903984	0.0247824	1.82149202
1080	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	5.06368E-07	5.533E-08	0.000775	4.47E-05	0.89864	0.101355	0.01095665	2.04110487
1800	-0.994	-16.6554	3.1527E-05	0.00052826	-8.41E-06	-1.466622	5.2457E-07	1.82E-08	0.0007848	9.75E-06	0.89355	0.1064496	0.00509455	2.114474

75%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	0	0	0	0	1	0		
0	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	0	0	0.0001333	0.000133	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
30	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	2.5355E-07	2.5355E-07	0.0004111	0.000278	0.9096	0.0903984	0.0247824	1.82149202
360	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	4.51042E-07	1.975E-07	0.0007303	0.000319	0.89864	0.101355	0.01095665	2.04110487
1080	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	5.06368E-07	5.533E-08	0.000775	4.47E-05	0.89355	0.1064496	0.00509455	2.114474
1800	-2.5624	-11.899	8.1272E-05	0.0003774	-5.01E-06	-0.874332	5.2457E-07	1.82E-08	0.0007848	9.75E-06				

time	concrete stress		rangkak		susut		relaksasi		total		Af1	Af2	A'1	A'2	Anet1	Anet2	Ao
	f1	f2	A E1	AE2	Aep	Aesh	Afp										
-7	-2.5624	-11.899															
0	-2.5624	-11.899															
30	-2.5624	-11.899	9.423E-05	0.0004376	0.0002993	0.0002778	85.43201737	27971.301	-6.799684	23.09428	1.5E-06	5.051E-06	-9.274E-05	0.0004325	-8.89E-06		
360	-2.5624	-11.899	7.339E-05	0.0003408	0.0002331	0.0003192	32.26667918	19593.403	-6.799684	23.09428	1.5E-06	5.051E-06	-7.191E-05	0.0003358	-6.9E-06		
1080	-2.5624	-11.899	2.056E-05	9.548E-05	6.531E-05	4.47E-05	14.2655541	5039.0538	-6.799684	23.09428	1.5E-06	5.051E-06	-1.907E-05	9.043E-05	-1.85E-06		
1800	-2.5624	-11.899	6.764E-06	3.141E-05	2.149E-05	9.755E-06	6.633104917	1805.4988	-6.799684	23.09428	1.5E-06	5.051E-06	-5.277E-06	2.636E-05	-5.36E-07		

time	E	Ap	Ap	in	mm	Ao	in	mm	Ap+Ao	in	mm	Ap+Ao+Al
-7												
0												
30	3.879E-06	0.676477796	0.6764778	17.182536	0.884358	22.462692	0.193826022	6.8614412	1.5608358	39.64523	1.75466	44.568409
360	1.889E-06	0.152	0.152	3.8608	1.234014	31.343955	0.193826022	6.8614412	1.386014	35.20475	1.57984	40.127936
1080	-3.16E-06	-0.55102847	-0.551028	-13.99612	1.3300643	33.783634	0.193826022	6.8614412	0.7790359	19.78751	0.97286	24.710692
1800	-4.48E-06	-0.78091894	-0.780919	-19.83534	1.3621532	34.598692	0.193826022	6.8614412	0.5812343	14.76335	0.77505	19.686532

PERHITUNGAN LENDUTAN DENGAN METODE INCREMENTAL TIME STEP 4 PERLETAKAN

100%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	0	0	0	0	1	0		
0	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	0	0	0.0001333	0.00013	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
30	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	2.535E-07	2.535E-07	0.0004111	0.00028	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
360	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	4.51E-07	1.975E-07	0.0007303	0.00032	0.9096	0.0903984	0.0247824	1.82149202
1080	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	5.064E-07	5.533E-08	0.000775	4.5E-05	0.89864	0.101355	0.01095665	2.04110487
1800	-1.10698	-18.71923	3.511E-05	0.00059372	-1.18E-05	-0.916361	5.246E-07	1.82E-08	0.0007848	9.8E-06	0.89355	0.1064496	0.00509455	2.114474

time	concrete stress	rangkai	susut	relaksasi	total	Af1	Af2	A'1	A'2	Anet1	Anet2	Ao
------	-----------------	---------	-------	-----------	-------	-----	-----	-----	-----	-------	-------	----

	concrete stress		rangkap			susut		relaksasi	total	ΔT	ΔT _{max}	ΔT _{min}	ΔT _{avg}	ΔT _{std}	ΔT _{max} - ΔT _{min}
	f1	f2	A E1	AE2	Aep	Aesh	Afp								
-7	-1.10698	-18.71923													
0	-1.10698	-18.71923													
30	-1.10698	-18.71923	4.071E-05	0.0006884	0.000424	0.0002778	85.432017	31337.562	238.21093	689.517	5.2E-05	0.0001508	1.1388E-05	0.0005376	1.162E-05
360	-1.10698	-18.71923	3.171E-05	0.0005362	0.0003316	0.0003192	32.266679	22251.798	238.21093	689.517	5.2E-05	0.0001508	2.0387E-05	0.0003854	8.59E-06
1080	-1.10698	-18.71923	8.882E-06	0.0001502	9.312E-05	4.47E-05	14.265554	5790.1153	238.21093	689.517	5.2E-05	0.0001508	4.3212E-05	-5.87E-07	9.023E-07
1800	-1.10698	-18.71923	2.922E-06	4.942E-05	3.081E-05	9.755E-06	6.6331049	2057.3143	238.21093	689.517	5.2E-05	0.0001508	4.9172E-05	-0.000101	-1.11E-06

time	E	Ap	Ap	Ao	Al	Apt+Ao	Ap+Ao+Al
------	---	----	----	----	----	--------	----------

	E	Ap	Ap	Ao	Al	Apt+Ao	Ap+Ao+Al			
-7										
0										
30	2.034E-07	-0.1725	-0.1725	0.4935655	0.1081755	3.8294118	0.3210655	8.15506	0.42924	10.902721
360	3.234E-06	-0.5698	-0.5698	0.6887106	0.1081755	3.8294118	0.1189106	3.02033	0.22709	5.7679875
1080	1.092E-05	-0.846432	-0.846432	0.7423169	0.1081755	3.8294118	-0.104115	-2.6445	0.00406	0.1031234
1800	1.293E-05	-1.002003	-1.002003	0.7602259	0.1081755	3.8294118	-0.241777	-6.1411	-0.1336	-3.393472

90%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	0	0	0	0	1	0		
0	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	0	0	0.0001333	0.00013	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
30	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	2.535E-07	2.535E-07	0.0004111	0.00028	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
360	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	4.51E-07	1.975E-07	0.0007303	0.00032	0.9096	0.0903984	0.0247824	1.82149202
1080	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	5.064E-07	5.533E-08	0.000775	4.5E-05	0.89864	0.101355	0.01095665	2.04110487
1800	-2.3897	-15.286	7.5795E-05	0.00048483	-8.66E-06	-0.670991	5.246E-07	1.82E-08	0.0007848	9.8E-06	0.89355	0.1064496	0.00509455	2.114474

time	concrete stress														Ao
	rangkak														
	f1	f2	A E1	AE2	Aep	Aesh	susut	relaksasi	total	Af1	Af2	A'1	A'2	Anet1	
-7	-2.3897	-15.286													
0	-2.3897	-15.286													
30	-2.3897	-15.286	8.788E-05	0.0005621	0.0004419	0.0002778	85.432017	31822.711	128.49627	488.916	2.8E-05	0.0001069	-5.978E-05	-0.000455	-1.09E-05
360	-2.3897	-15.286	6.845E-05	0.0004378	0.0003442	0.0003192	32.266679	22593.308	128.49627	488.916	2.8E-05	0.0001069	-4.035E-05	-0.000331	-7.86E-06
1080	-2.3897	-15.286	1.918E-05	0.0001227	9.643E-05	4.47E-05	14.265554	5879.4488	128.49627	488.916	2.8E-05	0.0001069	8.9259E-06	-1.57E-05	-1.44E-07
1800	-2.3897	-15.286	6.308E-06	4.035E-05	3.173E-05	9.755E-06	6.6331049	2081.9834	128.49627	488.916	2.8E-05	0.0001069	2.1792E-05	6.657E-05	1.87E-06
time	concrete stress														Ao
	rangkak														
	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct	
-7	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	0	0	0	0.0001333	0.00013	1	0		
0	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	0	0	0.0001333	0.00013	1	0	0.06561599	1.02202651	
30	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	2.535E-07	2.535E-07	0.0004111	0.00028	0.93438	0.065616	0.0247824	1.82149202	
360	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	4.51E-07	1.975E-07	0.0007303	0.00032	0.9096	0.0903984	0.01095665	2.04110487	
1080	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	5.064E-07	5.533E-08	0.000775	4.5E-05	0.89864	0.101355	0.00509455	2.114174	
1800	-3.53465	-12.09494	0.00011211	0.00038362	-4.6E-06	-0.356282	5.246E-07	1.82E-08	0.0007848	9.8E-06	0.89355	0.1064496			
time	concrete stress														Ao
	rangkak														
	f1	f2	A E1	AE2	Aep	Aesh	susut	relaksasi	total	Af1	Af2	A'1	A'2	Anet1	
-7	-3.53465	-12.09494													
0	-3.53465	-12.09494													
30	-3.53465	-12.09494	0.00013	0.0004448	0.000365	0.0002778	85.432017	29745.35	28.224581	84.6688	6.2E-06	1.852E-05	-0.0001238	-0.000426	-1.16E-05
360	-3.53465	-12.09494	0.0001012	0.0003464	0.0002843	0.0003192	32.266679	20975.229	28.224581	84.6688	6.2E-06	1.852E-05	-9.507E-05	-0.000328	-8.95E-06
1080	-3.53465	-12.09494	2.836E-05	9.705E-05	7.964E-05	4.47E-05	14.265554	5426.1593	28.224581	84.6688	6.2E-06	1.852E-05	-2.219E-05	-7.85E-05	-2.13E-06
1800	-3.53465	-12.09494	9.331E-06	3.193E-05	2.62E-05	9.755E-06	6.6331049	1932.854	28.224581	84.6688	6.2E-06	1.852E-05	-3.159E-06	-1.34E-05	-3.51E-07
time	concrete stress														Ao
	rangkak														
	E	Ap	Ap	Ap	Ao	Aesh	susut	relaksasi	total	Af1	Af2	A'1	A'2	Ap+Ao	
-7															
0															
30	1.65E-06	-0.128185	-0.128185	-3.255906	0.4935655	12.536564	0.1081755	3.8294118	0.3653803	9.28066	0.47356	12.028316			
360	1.355E-05	-0.469	-0.469	-11.9126	0.6887106	17.49325	0.1081755	3.8294118	0.2197106	5.58065	0.32789	8.3283075			
1080	6.729E-06	-0.7132	-0.7132	-18.11528	0.7423169	18.85485	0.1081755	3.8294118	0.0291169	0.73957	0.13729	3.4872272			
1800	4.948E-06	-0.7853	-0.7853	-19.94662	0.7602259	19.309739	0.1081755	3.8294118	-0.025074	-0.6369	0.0831	2.1107759			

75%

time	f1	f2	E1	E2	o pi	Api	dt	Adt	Esh	Aesh	fp/fpi	1-fp/fpi	A(1-fp/fpi)	Ct
-7	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	0	0	0	0	1	0		
0	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	0	0	0.0001333	0.00013	0.93438	0.065616	0.06561599	1.02202651
30	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	2.535E-07	2.535E-07	0.0004111	0.00028	0.93438	0.065616	0.06561599	1.82149202
360	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	4.51E-07	1.975E-07	0.0007303	0.00032	0.9096	0.0903984	0.0247824	2.04110487
1080	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	5.064E-07	5.533E-08	0.000775	4.5E-05	0.89864	0.101355	0.01095665	2.114474
1800	-4.2229	-10.3067	0.00013394	0.0003269	-3.27E-06	-0.569721	5.246E-07	1.82E-08	0.0007848	9.8E-06	0.89355	0.1064496	0.00509455	

time	concrete stress		rangkap		susut		relaksasi		total		Af1	Af2	A'1	A'2	Anet1	Anet2	Ao
	f1	f2	A E1	AE2	Aep	Ao	mm	in	mm	in	mm	mm	in	mm	in	mm	mm
-7	-4.2229	-10.3067															
0	-4.2229	-10.3067															
30	-4.2229	-10.3067	0.0001553	0.000379	0.0003223	0.0002778	85.432017	28592.949	8.0971698	25.1121	1.8E-06	5.492E-06	-0.0001535	-0.000384	1.139E-05		
360	-4.2229	-10.3067	0.000121	0.0002952	0.0002511	0.0003192	32.266679	20077.611	8.0971698	25.1121	1.8E-06	5.492E-06	-0.0001227	-0.000301	8.963E-06		
1080	-4.2229	-10.3067	3.388E-05	8.27E-05	7.033E-05	4.47E-05	14.265554	5174.7002	8.0971698	25.1121	1.8E-06	5.492E-06	-3.211E-05	-8.82E-05	2.547E-06		
1800	-4.2229	-10.3067	1.115E-05	2.721E-05	2.314E-05	9.755E-06	6.6331049	1850.1256	8.0971698	25.1121	1.8E-06	5.492E-06	-9.377E-06	-3.27E-05	8.907E-07		

time	E	Ap	Ap	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
-7																	
0																	
30	-2.35E-07	0.0182125	0.0182125	0.4625984	0.4935655	12.536564	0.1081755	3.8294118	0.5117781	12.9992	0.61995	15.74682					
360	-5.7E-06	-0.4123	-0.4123	-10.47242	0.6887106	17.49325	0.1081755	3.8294118	0.2764106	7.02083	0.38459	9.7684875					
1080	8.65E-06	-0.6312	-0.6312	-16.03248	0.7423169	18.85485	0.1081755	3.8294118	0.1111169	2.82237	0.21929	5.5700272					
1800	4.158E-06	-0.7236	-0.7236	-18.37944	0.7602259	19.309739	0.1081755	3.8294118	0.0366259	0.9303	0.1448	3.6779559					

	100%	90%	80%	75%
1bln	-28.71346	-33.6342734	-41.73328	-44.56841
1thn	-19.70634	-26.2307795	-36.90214	-40.12794
3thn	2.2511321	-1.37946493	-19.59704	-24.71069
5thn	9.3554154	4.931944612	-14.14616	-19.68653

