

397.927
1.03
6
1.00

TUGAS AKHIR



ANALISA DAN DESAIN LENTUR BETON PRATEGANG

Diajukan sebagai Syarat untuk Menyelesaikan Pendidikan
Tingkat Sarjana Strata 1 (S-1) Pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Katolik Soegijapranata.



PERPUSTAKAAN		
No. INV.	105/S/c-1	TGL. 18.02.02
No. PEN.		
PARAP.		

Disusun Oleh :

ALBERT ALIMIN
NIM : 96.12.1628

SWANNY EKA PUSPAWATI
NIM : 96.12.1570

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA
SEMARANG

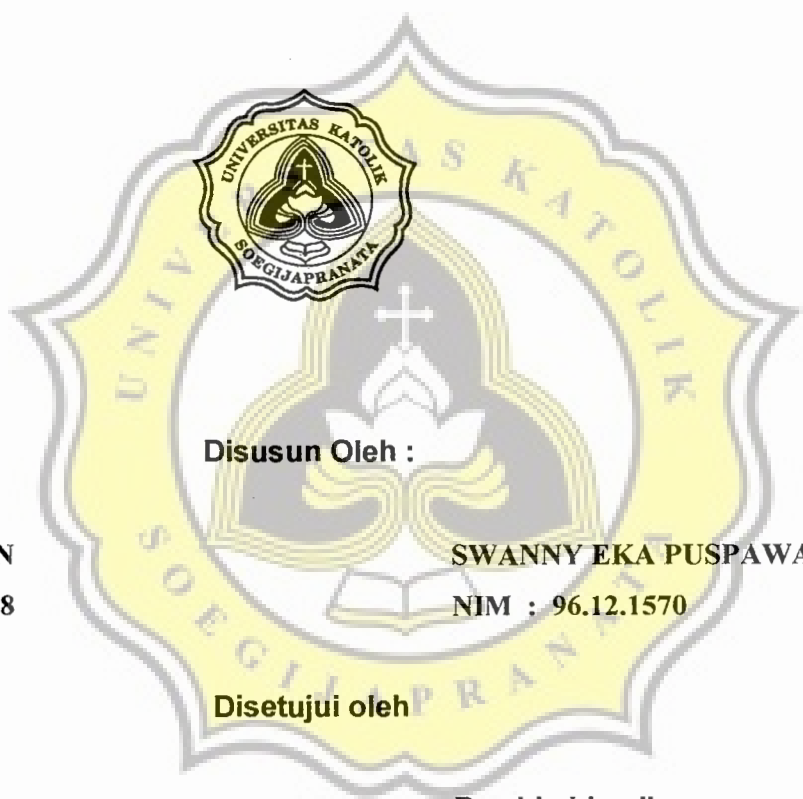
2001



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISA DAN DESAIN LENTUR BETON
PRATEGANG**



Disusun Oleh :

ALBERT ALIMIN
NIM : 96.12.1628

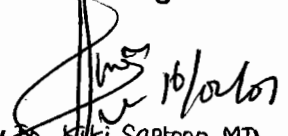
SWANNY EKA PUSPAWATI
NIM : 96.12.1570

Disetujui oleh

Pembimbing I


(Lc. David Widiyanto MT)

Pembimbing II


(Eki Saptono MT)

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA
SEMARANG**

2001



KATA PENGANTAR

Syukur kami panjatkan kepada Tuhan, yang atas rahmat-Nya kami dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisa dan Desain Lentur Beton Prategang**” sebagai persyaratan guna menyelesaikan program studi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ir. David Widiyanto, MT dan Ir. Kiki Saptono, MT atas semua bimbingan, dorongan dan bantuan yang telah diberikan kepada kami selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak lain yang telah membantu yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa tugas kahir ini masih jauh dari sempurna, karena itu kami mengharapkan kritik dan saran pembaca.

Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Januari 2001

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR ISTILAH.....	xvii
INTISARI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Penulisan.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Sejarah Beton Prategang.....	4
2.2 Prinsip Dasar.....	6
2.3 Pengaturan Tegangan dengan Eksentrisitas.....	9

2.4	Beban Equivalen.....	11
2.5	Filosofi Desain dan Kelas Prategang.....	12
2.6	Kontrol Retakan pada Prategang Sebagian.....	
2.7	Metode Prategang.....	
2.8	Perubahan pada Gaya Prategang.....	17
BAB III	MATERIAL PENYUSUN BETON PRATEGANG	18
3.1	Introduksi.....	18
3.2	Beton Mutu Tinggi.....	18
3.2.1	Komposisi beton segar.....	19
3.2.2	Kurva tegangan-regangan.....	21
3.2.3	Kuat tarik beton polos.....	23
3.2.4	Regangan non elastis.....	25
3.3	Baja Mutu Tinggi.....	28
3.3.1	Tipe-tipe tendon.....	29
3.3.2	Tegangan leleh dan tegangan ultimit.....	31
3.3.3	Relaksasi.....	32
BAB IV	KEHILANGAN PRATEGANG.....	34
4.1	Introduksi.....	34
4.2	Perkiraan Kehilangan Secara Keseluruhan.....	34
4.3	Perkiraan Kehilangan Secara Detail.....	35
4.3.1	Kehilangan akibat friksi.....	36

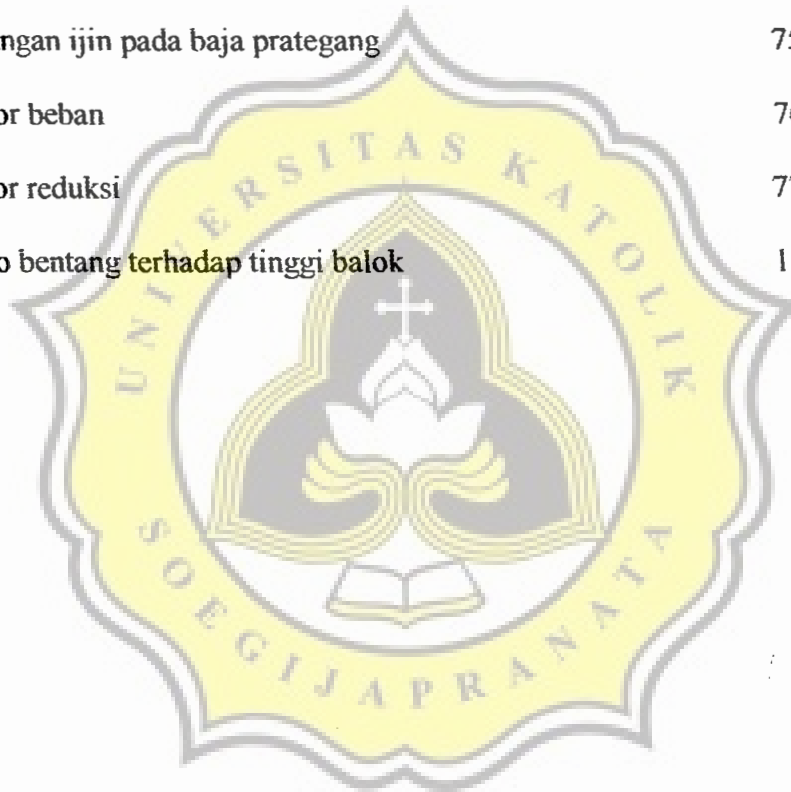
4.3.2	Kehilangan akibat slip pada angkur.....	40
4.3.3	Kehilangan akibat pemendekan elastis	41
4.3.4	Kehilangan akibat rangkai beton.....	41
4.3.5	Kehilangan akibat susut beton.....	42
4.3.6	Kehilangan akibat relaksasi baja.....	43
4.4	Prategang Efektif.....	43
BAB V	ANALISA LENTUR.....	45
5.1	Introduksi.....	45
5.2	Asumsi Awal dan Perjanjian Tanda.....	45
5.3	Tahap-tahap Pembebanan.....	46
5.4	Analisa pada Tegangan Elastis.....	47
5.4.1	Metode persamaan elastis.....	47
5.4.2	Metode garis tekan (c – line).....	49
5.4.3	Metode perimbangan beban.....	50
5.4.4	Contoh Analisa Elastis tegangan balok	52
5.5	Analisa Momen Retak.....	56
5.6	Analisa Kekuatan Batas.....	58
5.6.1	Kekuatan batas dengan metode kesesuaian regangan.....	59
5.6.2	Kekuatan batas dengan persamaan ACI code.....	63
5.6.3	Contoh perhitungan kekuatan batas.....	66

5.7	Teras.....	70
5.8	Batas Tulangan.....	71
5.8.1	Tulangan prategang minimum.....	71
5.8.2	Tulangan prategang maksimum.....	72
5.9	Tegangan Ijin.....	73
5.9.1	Tegangan ijin pada beton.....	73
5.9.2	Tegangan ijin pada baja prategang.....	74
5.10	Faktor Beban dan Faktor Reduksi.....	75
5.10.1	Faktor beban.....	75
5.10.2	Faktor reduksi.....	77
BAB VI	DESAIN LENTUR.....	79
6.1	Introduksi.....	79
6.2	Dasar Desain.....	80
6.3	Desain Prapenampang.....	81
6.3.1	Modulus penampang minimum.....	81
6.3.2	Prategang awal maksimum.....	89
6.3.3	Eksentrisitas maksimum.....	90
6.3.4	Diagram alir desain prapenampang...	92
6.3.5	Contoh desain prapenampang.....	93
6.4	Daerah Aman Tendon.....	95
6.4.1	Batas bawah jalur tendon.....	96
6.4.2	Batas atas jalur tendon.....	97

	6.4.3 Contoh desain daerah aman tendon...	98
	6.5 Hubungan Gaya Prategang dengan Eksentrisitas.....	101
	6.6 Pengurangan Prategang pada Tumpuan.....	106
	6.7 Zona Angkur dan Tumpuan.....	106
	6.7.1 Introduksi.....	106
	6.7.2 Tumpuan pada struktur pratarik.....	106
	6.7.3 Zona angkur pada struktur pascatarik.....	108
	6.8 Pemilihan Bentuk Penampang.....	113
BAB VI	RINGKASAN PRELIMINARI DESAIN.....	115
	7.1 Beban.....	115
	7.2 Kehilangan Prategang.....	116
	7.3 Efisiensi Penampang.....	116
	7.4 Contoh Desain Pendahuluan Penampang Lentur.....	117
	7.5 Desain Pendahuluan Kapasitas Batas.....	122
	7.6 Desain Balok dengan Partial Prestress.....	125
	DAFTAR PUSTAKA.....	xx
	LAMPIRAN I.....	xxi

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Koefisien friksi untuk tendon pasca tarik	37
Tabel 5.1 Tegangan ijin beton prategang untuk balok terlentur	74
Tabel 5.2 Tegangan ijin pada baja prategang	75
Tabel 5.3 Faktor beban	76
Tabel 5.4 Faktor reduksi	77
Tabel 6.1 Rasio bentang terhadap tinggi balok	114



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hubungan antara kehilangan prategang dengan batas tegangan baja	5
Gambar 2.2 Beton normal yang dibebani tarik	7
Gambar 2.3 Beton normal yang dibebani tekan	7
Gambar 2.4 Teknik prategang pada struktur yang menderita tegangan lentur	8
Gambar 2.5 Balok dibawah aksial prakompresi	9
Gambar 2.6 Balok dengan pemberian eksentrisitas pada prategang	10
Gambar 2.7 Balok dengan <i>draped tendon</i>	11
Gambar 2.8 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi	12
Gambar 2.9 Elemen beton pratarik	15
Gambar 2.10 Elemen pratarik dalam produksi masal	16
Gambar 3.1 Gambar grafik tegangan-regangan beton	23
Gambar 3.2 Skema uji modulus rupture dan uji tarik belah	24
Gambar 3.3 Hubungan regangan rangkai dengan waktu	27
Gambar 3.4 Tendon tipe kawat	29
Gambar 3.5 Tendon tipe kabel	30
Gambar 3.6 Tendon tipe batang baja	31

Gambar 3.7	Diagram tegangan-regangan pada baja mutu tinggi	32
Gambar 4.1	Perbandingan antara jalur tendon & kelurusan tendon secara aktual	36
Gambar 4.2a	Struktur prategang dengan tendon parabolik	38
Gambar 4.2b	Gaya yang terjadi akibat <i>curvature friction</i>	38
Gambar 4.3	Balok menerus dengan 3 segmen perhitungan kehilangan akibat friksi	39
Gambar 4.4	Gelincir yang terjadi pada Angkur	40
Gambar 4.5	Diagram hubungan kehilangan prategang dengan Koordinat panjang	43
Gambar 5.1	Diagram Tegangan	48
Gambar 5.2	Garis tekan atau <i>compression line</i> (c – line)	49
Gambar 5.3	Beban transfer yang bekereja melawan/mengimbangi beban gravitasi elemen struktur prategang	51
Gambar 5.4	Karakteristik diagram tegangan pada prategang Efektif dan saat retak	54
Gambar 5.5	Kopel yang terdiri dari pasangan gaya C dan T dengan lengan momen $(d - \frac{a}{2})$	55
Gambar 5.6	Proses trial-trial regangan batas baja, dengan bantuan kurva tegangan-regangan baja	56
Gambar 5.7	Penampang bersayap beserta diagram tegangan	63
Gambar 5.8	Distribusi tegangan oleh gaya aksial pada batas teras	67

Gambar 5.9	Balok dua tumpukan dalam beban total dimana tidak terjadi tarikan pada penampangnya	68
Gambar 5.10	Perbandingan kurva beban-lendutan <i>over reinforced</i> dan <i>under reinforced</i>	71
Gambar 6.1	Skema hubungan Analisa-Desain	79
Gambar 6.2	Diagram interaksi beban-lendutan	80
Gambar 6.3	Perbandingan 2 desain	81
Gambar 6.4	Bidang momen balok prategang pada keadaan awal	82
Gambar 6.5	Bidang momen balok prategang pada keadaan beban rencana	83
Gambar 6.6	Diagram tegangan pada 4 tahap pembebanan di potongan kritis	84
Gambar 6.7	Diagram tegangan pada 4 tahap pembebanan di penampang kritis	86
Gambar 6.8	Diagram tegangan pada 4 tahap pembebanan di penampang kritis	88
Gambar 6.9	Superposisi diagram tegangan akibat beban prategang	90
Gambar 6.10	Geometri prapenampang beserta diagram tegangan saat transfer dan beban rencana penuh	95
Gambar 6.11	Batas atas dari pers 6.27 dan 6.28b dan batas bawah dari pers 6.25b dan 6.26 b	97
Gambar 6.12	Daerah aman tendon pada contoh desain pasal 6.43	100

Gambar 6.13	Alternatif diagram tegangan penampang berdasarkan variasi gaya prategang	101
Gambar 6.14	Daerah arsiran: variasi kombinasi antara gaya prategang dengan eksentrisitas	103
Gambar 6.15	Macam pencegahan gaya prategang berlebih pada ujung tumpuan	104
Gambar 6.16	Pengurangan prategang pada tumpuan untuk balok pascatarik	105
Gambar 6.17	Tegangan-tegangan lokal pada daerah transfer, retak-retak pada penampang	108
Gambar 6.18	Isobar untuk transfer tarikan pada zona angkur	109
Gambar 6.19	Distribusi jalur tendon pada daerah zona angkur	110
Gambar 6.20	Ilustrasi yang menggambarkan momen lokal dan retak longitudinal	111
Gambar 6.21	Diagram momen lokal, zona angkur dan momen lokal terbesar, diagram tegangan aktual penampang	111
Gambar 6.22	$A_1 = m^2$ $A_2 = (m + 2n)^2$	112
Gambar 7.1	Skema batas atas-batas bawah	122
Gambar 7.2	Penampang pada desain pendahuluan kekuatan batas	123
Gambar 7.3	$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} (d_f - a/2) + A_s \cdot F_y (d - a/2)$	125

DAFTAR NOTASI

Pi	=	Gaya prategang awal
Pe	=	Gaya prategang efektif
γ	=	Rasio kehilangan prategang
δ	=	lendutan
Sb	=	Statis momen bawah
St	=	Statis momen atas
Cb	=	Jarak dari netral ke serat terbawah
Ct	=	Jarak dari netral ke serat teratas
Kb	=	Batas kern bawah
Kt	=	Batas kern atas
Cgc	=	<i>Center gravity of concrete</i> / titik berat penampang beton
Cgs	=	<i>Center gravity of steel</i> / titik berat tendon
WD	=	Beban merata akibat berat sendiri
WSD	=	Beban merata akibat beban mati total
WL	=	Beban merata akibat beban hidup
MD	=	Momen akibat berat sendiri
MSD	=	Momen akibat beban mati total
ML	=	Momen akibat beban hidup
Mcr	=	Momen saat retak pertama
Mu	=	Momen ultimit
Mn	=	Momen nominal
fps	=	Tegangan tendon
fpv	=	Tegangan leleh tendon
fpu	=	Tegangan ultimit tendon
fs	=	Tegangan baja lunak
fy	=	Tegangan leleh baja lunak

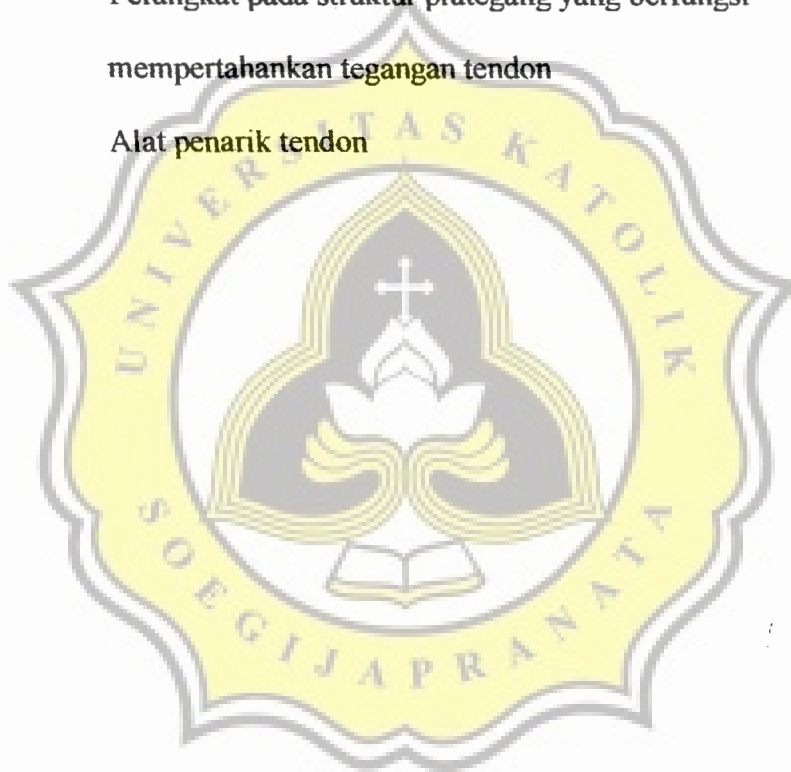
f_c'	=	Kuat tekan ijin beton
f_{ci}	=	Kuat tekan awal beton saat transfer
f_{ce}	=	Kuat tekan beton pada tahap prategang efektif
f_r	=	Modulus rupture
E_c	=	Modulus elastisitas beton
E_s	=	Modulus Elastisitas baja
A_c	=	Luas penampang beton
A_{ps}	=	Luas tendon
A_s	=	Luas tulangan tarik
A_s'	=	Luas tulangan tekan
ρ	=	Rasio tulangan tarik
ρ'	=	Rasio tulangan tekan
ρ_p	=	Rasio tendon
e	=	Eksentrisitas



DAFTAR ISTILAH

<u>Istilah</u>	<u>Arti</u>
Prategang	Pemberian tegangan pada penampang beton sebelum beban luar bekerja
Pratarik	Metode prategang dimana tendon ditegangkan dahulu sebelum beton dicor
Pasca tarik	Metode prategang dimana tendon ditegangkan setelah beton mengeras
Prategang penuh	Kelas prategang dimana prategang dirancang sedemikian hingga tidak terjadi tarik pada penampang
Prategang sebagian	Kelas prategang dimana penampang diijinkan menderita tarik pada batas tertentu
Prategang parsial	Dimana sebagian tarik ditahan oleh tulangan biasa
Prategang bertahap	Prategang dimana penarikan tendon dilakukan secara bertahap sesuai dengan tahap-tahap pembebanan
Pracetak	Elemen beton yang sudah dicetak sebelumnya
Camber	Lendutan yang disebabkan oleh gaya prategang
Tendon	Material pensuplai kuat tarik pada struktur beton prategang
Tendon tak terekat	Dimana tendon tidak merekat pada penampang beton

Dakting	Selongsong/tabung panjang sebagai tempat tendon pada struktur pasca tarik
Garis kompresi	Suatu jalur yang menunjukkan resultan garis tekan
Konkordan	Suatu jalur tendon yang dirancang berhimpit dengan garis kompresinya sehingga tidak timbul momen sekunder
Angkur	Perangkat pada struktur prategang yang berfungsi mempertahankan tegangan tendon
Dongkrak	Alat penarik tendon





INTISARI

Kelemahan-kelemahan yang dimiliki beton bertulang menuntun pada ide penggunaan prinsip prategang pada struktur beton, meskipun pada awal perkembangannya menemui kegagalan karena tidak tersedianya material yang baik, namun akhirnya semua itu dapat diatasi.

Prategang terutama ditujukan untuk menahan beban lentur. Prinsip paling dasar dari beton prategang adalah pemberian tekanan pada penampang beton sebelum tarikan akibat beban luar, sehingga tarikan tersebut tereduksi sebagian atau seluruhnya. Pada awalnya prategang diberikan secara konsentris pada penampang. Kemudian pemberian eksentrisitas dilakukan untuk mengoptimalkan prategang yang diberikan, dilanjutkan dengan prategang yang bervariasi sesuai dengan perubahan momen balok di sepanjang bentang. Saat ini aplikasi beton prategang tidak terbatas pada balok asalkan prinsip dasar telah dipahami maka elemen-elemen struktur yang lain dapat juga didesain dengan menggunakan prategang. Pertama kenali sifat beban, kedua imbangi dengan prategang yang sesuai, ketiga dan yang tak kalah penting adalah memperkirakan besarnya kehilangan prategang yang terjadi.

Desain dan analisa balok prategang dibawah lenturan meliputi keadaan elastis, keadaan retak pertama dan keadaan batas. Kesemuanya diperhitungkan terhadap keamanan : pada tahap awal dimana gaya prategang lebih dominan dibanding beban luar sedangkan kekuatan maksimum struktur belum tercapai, pada tahap prategang efektif dimana kehilangan prategang telah terjadi dan beban rencana mulai bekerja dan terakhir adalah kondisi *overload*.

Perhitungan desain dari sebuah struktur beton prategang tidak terlepas dari proses *trial and error*. Dimulai dengan desain pendahuluan (*preliminary design*) kemudian proses berulang untuk mendapatkan desain pasti (*fix design*). Proses-proses tersebut menuntut pengetahuan dan pengalaman dalam desain.

