

**ANALISIS TEGANGAN DAN REGANGAN PADA BALOK
BETON PRATEGANG PASCATARIK YANG TERGANTUNG
WAKTU MENURUT PRASADA RAO**

**Hartono
NRP : 0021090**

Pembimbing : Winarni Hadipratomo., Ir

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG**

ABSTRAK

Dalam hal desain beton prategang pascatarik, kehilangan gaya prategang pasacatarik yang terjadi pada kurun waktu tertentu harus diperhitungkan secara objektif dan teliti. Sampai saat ini, metode analisis kehilangan gaya prategang yang diusulkan oleh para ahli masih terus-menerus mengalami perbaikan dan pengembangan. Agar pekerjaan dalam desain beton prategang pascatarik memberikan hasil yang memuaskan maka pengetahuan tentang kehilangan gaya prategang yang disebabkan oleh berbagai faktor harus dimengerti.

Analisis langsung (*Direct Analysis*) yang dikemukakan oleh Prasada Rao dalam menghitung regangan dan tegangan yang terjadi pada setiap tahap pembebanan dibahas dalam Tugas Akhir ini. Analisis langsung ini hanya memperhitungkan kehilangan gaya prategang yang tergantung waktu saja. Kemudian nilai tegangan yang diperoleh dari *Direct Analysis* akan dibandingkan nilai tegangan yang diperoleh menurut persyaratan ACI-ASCE. Kehilangan gaya prategang pascatarik yang dimaksud adalah meliputi perpendekan elastis, rangkai dan susut pada beton serta relaksasi baja. Perhitungan tersebut dilakukan pada balok prategang bentuk I dengan panjang bentang 15 m dan mutu beton $f_c' = 50$ MPa. Pemakaian 22 buah tendon stress relieved strand bonded mutu 270 ϕ $\frac{1}{2}$ " dan tambahan 3 buah tulangan tarik dengan diameter 19 mm digunakan untuk menahan beban-beban yang bekerja. Analisis langsung ini melibatkan transformasi luas penampang sebagian yang diterapkan pada balok prategang pascatarik dan transformasi luas penampang sebagian yang diterapkan pada balok prategang pratarik. Penggunaan persamaan keseimbangan dan kompatibilitas diberikan dalam bentuk matrik 2x2. Hasil yang diperoleh dari persamaan tersebut adalah regangan dan kelengkungan penampang. Dengan demikian tegangan pada penampang dapat dicari bahkan regangan dan tegangan pada tulangan atau tendon dapat diperoleh dengan menggunakan rumus perbandingan segitiga.

Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan yang diperoleh *Direct Analysis* lebih kecil dibandingkan hasil yang diperoleh menurut persyaratan ACI-ASCE. Perbedaan mencolok terjadi pada tahap III ketika beban hidup bekerja terutama tegangan pada serat tepi bawah penampang sebesar 3,2745 MPa (tegangan tekan) hasil perhitungan dari *Direct Analysis* dan -25,1056 MPa (tegangan tarik) hasil perhitungan menurut persyaratan ACI-ASCE. Perbedaan nilai tegangan tersebut disebabkan oleh faktor asumsi dalam pengambilan parameter dan penerapannya pada kedua cara tersebut.

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Tujuan Penulisan... ..	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan.....	3
1.4 Metode Analisis.....	4
1.5 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEHI-	
LANGAN GAYA PRATEGANG YANG TERGANTUNG	
WAKTU	
2.1 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Proses Penegangan	
Tendon.....	5
2.1.1 Beton Prategang Pascatarik.....	6

2.1.2	Beton Prategang Pratarik.....	6
2.2	Kehilangan Gaya Prategang Yang Tergantung Waktu	7
2.2.1	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja.....	8
2.2.2	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Pada Beton.....	9
2.2.3	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Pada Beton.....	12

BAB 3 ANALISIS LANGSUNG KOMPONEN BETON PRATEGANG MENURUT PRASADA RAO

3.1	Respon Beban Layan Beton.....	18
3.2	Relaksasi Baja Menurut Prasada Rao.....	21
3.3	Analisis Regangan dan Kelengkungan Penampang Beton Pada Umur t_i dan t_j	22
3.4	Analisis Regangan dan Kelengkungan Penampang Beton Pada Umur t_j Jika Beban Hidup Diterapkan.....	28
3.5	Analisis Regangan dan Kelengkungan Penampang Beton Prategang Penuh.....	28

BAB 4 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Tegangan dan Regangan Pada Penampang I.....	31
4.1.1	Metode Langsung Dari Prasada Rao	33
4.1.2	Metode ACI-ASCE.....	46

4.2	Pembahasan	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA		70
LAMPIRAN 1		71
LAMPIRAN 2		85
LAMPIRAN 3		105

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Nilai K_{RE} dan J11
Tabel 2.2	Nilai C11
Tabel 2.3	Parameter rangkai tipikal.....13
Tabel 2.4	Faktor koreksi susut untuk kelembaban relatif non standar.....17
Tabel 2.5	Nilai K_{SH} untuk komponen struktur pascatarik.....13
Tabel 4.1	Nilai kelengkungan.....45
Tabel 4.2	Nilai tegangan menurut cara langsung Prasada Rao dan cara ACI-ASCE.....57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Kurva relaksasi baja untuk <i>stress relieved wire</i> dan <i>strand</i>9
Gambar 2.2	Variasi koefisien rangkai terhadap waktu.....14
Gambar 2.3	Variasi koefisien susut terhadap waktu.....16
Gambar 3.1	Distribusi tegangan dan regangan pada suatu penampang balok prategang pascatarik pada saat t_j20
Gambar 3.2	Distribusi tegangan dan regangan pada suatu penampang balok prategang pascatarik pada saat t_j jika beban hidup tidak diterapkan.....26
Gambar 3.3	Distribusi tegangan dan regangan pada suatu penampang balok prategang pascatarik pada saat t_j jika beban hidup diterapkan.....29
Gambar 4.1	Balok prategang diatas dua perletakan31
Gambar 4.2	Penampang balok prategang bentuk I.....32
Gambar 4.3	Distribusi tegangan dan regangan pada balok beton prategang pascatarik penampang I45
Gambar 4.4	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap I.....51
Gambar 4.5	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap I pada balok prategang penampang I menurut persyaratan ACI-ASCE.....52
Gambar 4.6	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap II.....53
Gambar 4.7	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap II pada balok prategang penampang I menurut persyaratan ACI-ASCE.....54
Gambar 4.8	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap III.....55
Gambar 4.9	Distribusi tegangan yang terjadi pada tahap III pada balok

	prategang penampang I menurut persyaratan ACI-ASCE.....	56
Gambar 4.10	Diagram alir untuk menghitung tegangan pada penampang pada tahap I menurut cara langsung Prasada Rao	63
Gambar 4.11	Diagram alir untuk menghitung tegangan pada penampang pada tahap II menurut cara langsung Prasada Rao	64
Gambar 4.12	Diagram alir untuk menghitung tegangan pada penampang pada tahap III menurut cara langsung Prasada Rao	65
Gambar 4.13	Diagram alir untuk menghitung tegangan pada penampang pada tahap I, II, III menurut cara langsung Prasada Rao	66

DAFTAR NOTASI

A	= Transformasi luas penampang beton efektif pada saat transfer gaya prategang pada umur t_i .
A^*	= Perubahan transformasi luas penampang beton efektif akibat rangkak setelah proses redistribusi yang terjadi diantara periode t_i dan t_j .
A^{**}	= Perubahan transformasi luas penampang beton efektif pada umur t_i .
\underline{A}	= Transformasi luas penampang beton efektif pada umur t_j .
A_c	= Luas kotor penampang beton prategang.
A_d	= Luas selongsong tendon.
A_{sc}	= Luas tulangan tekan.
A_{st}	= Luas tulangan tarik.
A_{sp}	= Luas tendon.
b_b	= Lebar sayap bawah.
b_h	= Lebar sayap atas.
b_b	= Lebar badan.
C_j	= Koefisien rangkak
C_u	= Koefisien rangkak <i>ultimate</i> .
d_{nd}	= Jarak bekerjanya gaya normal akibat beban mati diukur dari serat tepi atas penampang.
d_{nL}	= Jarak bekerjanya gaya normal akibat beban hidup diukur dari serat tepi atas penampang
d_{sc}	= Jarak A_{sc} diukur dari serat tepi atas penampang.
d_{st}	= Jarak A_{st} diukur dari serat tepi atas penampang.
d_{sp}	= Jarak A_{sp} diukur dari serat tepi atas penampang.
e	= Eksentrisitas tendon.
\underline{E}_{ci}	= Modulus elastisitas beton pada umur t_i .
E_{ci}	= Modulus elastisitas efektif beton.
E_{cj}	= Modulus elastisitas beton pada umur t_j .
E_{sc}	= Modulus elastisitas A_{sc} .
E_{st}	= Modulus elastisitas A_{st} .
E_{sp}	= Modulus elastisitas A_{sp} .
f_{cbi}	= Tegangan serat bawah beton pada umur t_i .
f_{cbj}	= Tegangan serat bawah beton pada umur t_j .
f_{cbjl}	= Tegangan serat bawah beton pada umur t_j akibat beban hidup.
f_{cti}	= Tegangan serat atas beton pada umur t_i .
f_{ctj}	= Tegangan serat atas beton pada umur t_j .
f_{ctjl}	= Tegangan serat atas beton pada umur t_j akibat beban hidup.
f_{cyi}	= Tegangan serat beton pada jarak y yang diukur dari serat tepi atas pada umur t_i .
f_{cyj}	= Tegangan serat beton pada jarak y yang diukur dari serat tepi atas pada umur t_j .
$F_{c,h}$	= Faktor koreksi susut.
f_p	= Tegangan akhir setelah t jam.
f_{py}	= Tegangan leleh tendon.
f_{spi}	= Tegangan awal tendon.
\underline{f}_{spre}	= Kehilangan tegangan prategang akibat relaksasi intrinsik
f_{spre}	= Kehilangan tegangan aktual relaksasi baja pada beton prategang.
f_{spu}	= Tegangan tarik batas tendon.
f_{sti}	= Tegangan pada A_{st} pada umur t_i .
f_{stj}	= Tegangan pada A_{st} pada umur t_j .
f_{stjl}	= Tegangan pada A_{st} pada umur t_j akibat beban hidup.

f_{sci}	= Tegangan pada A_{sc} pada umur t_i .
f_{scj}	= Tegangan pada A_{sc} pada umur t_j .
f_{scjl}	= Tegangan pada A_{sc} pada umur t_j akibat beban hidup.
f_{spi}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_i .
f_{spj}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_j .
f_{spjl}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_j akibat beban hidup.
f_{spi}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_i .
f_{spj}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_j .
f_{spjl}	= Tegangan pada A_{sp} pada umur t_j akibat beban hidup.
RH	= Kelembaban relatif (%)
h	= Tinggi penampang balok.
h_b	= Tinggi sayap bawah balok.
h_{fb}	= Tambahan tebal sayap bawah.
h_t	= Tinggi sayap atas balok.
h_{ft}	= Tambahan tebal sayap atas.
I_c	= Momen inersia pribadi penampang beton prategang.
I_t	= Momen inersia A terhadap serat tepi atas penampang.
I_t^*	= Momen inersia A^* terhadap serat tepi atas penampang
I_t^{**}	= Momen inersia A^{**} terhadap serat tepi atas penampang
$\overline{I_t}$	= Momen inersia \overline{A} terhadap serat tepi atas penampang.
K_1	= Gaya total normal prategang pada saat transfer prategang awal.
K_2	= Momen akhir yang terjadi akibat semua beban luar pada saat transfer prategang awal..
K_1^*	= Gaya total normal yang terjadi pada A^* .
K_2^*	= Momen akhir yang terjadi pada A^* .
K_1^{**}	= Gaya normal prategang yang terjadi pada A^{**} .
K_2^{**}	= Momen akhir yang terjadi pada A^{**} .
$\overline{K_1}$	= Gaya normal prategang yang terjadi pada \overline{A} .
$\overline{K_2}$	= Momen akhir yang terjadi pada \overline{A} .
L	= Panjang bentang
M_d	= Momen akibat beban mati tidak termasuk berat sendiri.
M_L	= Momen akibat beban hidup.
M_{sw}	= Momen akibat beban berat sendiri.
N_d	= Gaya normal eksternal akibat beban mati.
N_L	= Gaya normal eksternal akibat beban hidup.
n_{sc}	= Rasio modular E_{sc}/E_{ci} .
n_{st}	= Rasio modular E_{st}/E_{ci} .
n_{sp}	= Rasio modular E_{sp}/E_{ci} .
$\overline{n_{sc}}$	= Rasio modular $\overline{E_{sc}}/E_{ci}$.
$\overline{n_{sc}}$	= Rasio modular $\overline{E_{sc}}/E_{ci}$.
$\overline{n_{sc}}$	= Rasio modular $\overline{E_{sc}}/E_{ci}$.
P_i	= Gaya prategang awal
$\overline{P_{re}}$	= Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi intrinsik.
P_{re}	= Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi aktual.
Q_t	= Statis momen A terhadap serat tepi atas penampang.
Q_t^*	= Statis momen A^* terhadap serat tepi atas penampang
Q_t^{**}	= Statis momen A^{**} terhadap serat tepi atas penampang
$\overline{Q_t}$	= Statis momen \overline{A} terhadap serat tepi atas penampang.
r	= Jari-jari inersia
S_r	= Rasio tegangan f_{spi}/f_{spu} .
S	= Luas permukaan balok beton prategang
t	= Lamanya pembebanan dalam jam.
t_i	= Kondisi awal pada saat transfer gaya prategang

- t_j = Kondisi dimana kehilangan gaya prategang yang disebabkan susut, rangkak, dan relaksasi baja terjadi.
 t_{pi} = Lamanya waktu transfer gaya prategang yang terjadi setelah penarikan kabel.
 V = Volume balok beton prategang.
 y_t = Jarak garis netral ke serat tepi bawah penampang.
 y_b = Jarak garis netral ke serat tepi atas penampang
 α = Rasio \bar{E}_{ci}/E_{cj} .
 Δf_{pCR} = Kehilangan gaya prategang akibat rangkak pada beton.
 Δf_{pES} = Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis.
 Δf_{pSH} = Kehilangan gaya prategang akibat susut pada beton.
 Δf_p = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja.
 δ_u = Rangkak spesifik.
 ϵ_{cbi} = Regangan serat tepi bawah beton pada umur t_i .
 ϵ_{cbj} = Regangan serat tepi bawah beton pada umur t_j .
 ϵ_{cbjl} = Regangan serat bawah beton pada umur t_j akibat beban hidup.
 ϵ_{cbi} = Regangan serat atas beton pada umur t_i .
 ϵ_{ctj} = Regangan serat atas beton pada umur t_j .
 ϵ_{ctjl} = Regangan serat atas beton pada umur t_j akibat beban hidup.
 ϵ_{cyi} = Regangan serat beton yang berjarak y dari serat tepi atas pada umur t_i .
 ϵ_{cyj} = Regangan serat beton yang berjarak y dari serat tepi atas pada umur t_i .
 ϵ_{shj} = Regangan susut seragam pada periode t_i - t_j .
 $\epsilon_{sh,u}$ = Regangan susut *ultimate*.
 $\epsilon_{sh,t}$ = Regangan susut seragam pada umur t dalam hari.
 η = Koefisien relaksasi Trost.
 ϕ_i = Kelengkungan serat penampang pada umur t_i .
 ϕ_j = Kelengkungan serat penampang pada umur t_j .
 ϕ_{jl} = Kelengkungan serat penampang pada umur t_j akibat beban hidup.
 χ = Faktor reduksi relaksasi Ghali.
 ψ = Rasio E_{ci}/E_{cj} .

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Design aids</i>	71
Lampiran 2 <i>Post-tensioning hardware</i>	85
Lampiran 3 Tegangan-tegangan izin maksimum pada beton dan tendon menurut <i>American Concrete Institute</i>	105