

ANALISIS TEGANGAN PADA BALOK JEMBATAN PRATEGANG SISTEM SEGMENT DI JEMBATAN BINANGA GULUAN

(STUDI KASUS)

TUGAS AKHIR

**Disusun Dan Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan
Ujian Sidang Sarjana Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area**

Disusun Oleh :

NAMA : SIHOL SIMBOLON

NIM : 95.811.0052

NIRM : 9511084330047



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2001**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

ABSTRAK

Dengan berkembangnya teknik beton prategang dalam beberapa dasawarsa ini memberikan tantangan yang tersendiri bagi para ahli dalam bidang teknik sipil untuk mengembangkannya. Jembatan yang menggunakan teknik prategang ternyata dapat menjangkau bentang-bentang yang lebih panjang, relatif tanpa merusak lingkungan sekitarnya dan sekaligus memberikan keuntungan ekonomi .

Jembatan beton prategang yang berbentuk panjang biasanya di pakai balok boks dan metode pemasanganya dengan menyambung satu segmen dengan segmen berikutnya . Kabelnya melengkung berguna untuk mengurangi gaya geser yang terjadi akibat berat sendiri dan beban mati.

Pada waktu pelaksanaan ini harus di perhitungkan deformasi sesaat maupun yang berkesinambungan sesuai dengan umur defleksi . Dalam pemberian gaya prategang ternyata ada gaya di dalam struktur lebih kecil dari pada yang di berikan . Akibat kehilangan-kehilangan gaya prategang ternyata gaya ada dalam struktur lebih kecil dari pada yang di berikan . Akibat kehilangan-kehilangan gaya prategang ini harus di perhitungkan dalam perencanaan. Faktor-faktor yang perlu di perhatikan dalam kehilangan prategang ini yaitu akibat rangkai, relaksasi baja, penggelinciran anker, penyusutan beton dan gesekan. Pengurangan gaya geser yang diakibatkan oleh prategang maupun akibat gaya luar harus diperhitungkan karena besarnya pengurangan ini relatif cukup besar. Pada sambungan antara satu segmen dengan segmen lainnya digunakan spesie/ mortar, dimana kekuatan akhir dari sambungan ini

ternyata lebih besar daripada segmen yang monolit bila ketentuan dalam penggunaan ini dilaksanakan dengan benar.

Pada sambungan antara segmen sering kali menimbulkan masalah, maka harus diberikan perhatian khusus karena pada segmen ini mempunyai daerah kritis terhadap geser. Untuk mengatasi geser pada sambungan yaitu dengan cara :
Pemasangan tulangan geser dimana :

- ❖ Tulangan miring untuk memikul gaya geser (gaya lintang)
- ❖ Tulangan horizontal untuk memikul momen lentur



DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Umum.....	1
1.2. Latar Belakang.....	2
1.3. Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4. Pembatasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1. Jembatan.....	5
II.2. Beton Prategang.....	6
II.3. Balok.....	8
II.4. Pengaruh Beban Selama Pelaksanaan Konstruksi.....	9
II.5. Beban-beban Tak Terduga.....	10

II.6. Beban-beban Normal.....	10
II.7. Deformasi Struktur Selama Pelaksanaan Konstruksi.....	11
II.8. Pemasangan Segmen.....	14
II.9. Tahap-tahap Pembebanan.....	15
BAB III. ANALISIS TEGANGAN PADA BALOK BETON PRA	
TEGANG.....	22
III.1. Analisis Tegangan Geser.....	23
III.2. Analisis Tegangan Lentur.....	32
III.3. Analisis Tegangan Normal.....	41
III.4. Gaya Pengganti Kabel.....	51
III.5. Daerah Aman Untuk Kabel.....	54
BAB IV. ANALISIS KONSTRUKSI.....	57
IV.1. Penampang Komposit.....	57
IV.2. Perhitungan.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
V.1. Kesimpulan.....	75
V.2. Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. UMUM

Jembatan beton prategang pertama dibangun dengan metode kantilever segmen per segmen dipasang pertama di Jerman seperempat abad yang lalu. Metode pemasangan jembatan sekarang berkembang dengan pesatnya, dimana secara nyata telah banyak dibangun dengan panjang bentang antara 60 meter sampai 150 meter.

Jembatan dengan bentang terpanjang ada di Perancis dengan dua bentang terpanjang 172 meter perbentang yaitu jembatan Gennevilliers dan di Jepang 240 meter yaitu jembatan Hanama.

Sebagai perbandingan bahwa terpakainya jembatan ini dari tahun 1975, Departemen Pekerjaan Umum Perancis menangani jembatan tipe ini, yaitu dengan luas dek 403.000 meter persegi, sementara itu perusahaan swasta Perancis Motorway juga memproduksi dek seluas 39.300 meter persegi dibangun dengan metode yang sama.

Sumber : Desain Struktur Beton Prategang 1988 ; 1-6

Secara prinsip keuntungan dari konstruksi secara segmen per segmen dapat diuraikan sebagai berikut :

- Konstruksi secara segmen ini adalah lebih efisien dan juga merupakan metode yang ekonomi untuk bentang-bentang yang panjang;

- Konstruksi secara segmen ini adalah memungkinkan untuk mengurangi waktu pelaksanaan, terutama bila digunakan metode purna cetak yaitu dengan cara mencetak beton-beton segmen tersebut dicetak di pabrik sementara struktur bagian bawah dapat dikerjakan di lapangan. Pemasangan segmen tersebut dapat dilakukan dengan cepat. hal ini dapat juga mencegah laju inflasi dari proyek;
- Konstruksi secara segmen ini dapat melindungi lingkungan hidup, tanpa merusak ekologi yang dilaluinya, contohnya : galian dan timbunan;
- Buruh yang dipakai lebih sedikit bila dibanding dengan konvensional.
- Ketrampilan para pekerja semakin bertambah karena mekanisme yang dikerjakan sama dan berulang-ulang;

I.2. LATAR BELAKANG

Toba Samosir merupakan satu diantara kabupaten yang baru terbentuk di provinsi Sumatra Utara. Toba Samosir memiliki potensi Sumber Daya Alam (SDA), sebagai penghasil devisa negara dari hasil Pariwisata dan Hutan.

Untuk memperlancar dan peningkatan transportasi yang menunjang Pariwisata di Toba Samosir, maka wajarlah dibangun fasilitas penunjang berupa jembatan.

Satu diantara dari fasilitas penunjang ini ialah pembangunan jembatan beton prategang sistem segmen.

Lokasi Proyek : Binanga Guluan

Kabupaten : Toba Samosir

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)26/12/23

Panjang Bentang yang ditinjau : 31,6 m.

Konsultan Perencana : PT. INDAH KARYA

Kontraktor Pelaksana : PT. CIPTA SARANA

Proyek pembangunan jembatan beton prategang sistem segmen di Binanga Guluan ini adalah : suatu bangunan / konstruksi jembatan yang nantinya akan menghubungkan jalan lingkar Samosir dengan kabupaten dan juga daerah sekitarnya.

Adapun tujuan dari proyek jembatan ini adalah memperlancar transportasi lalu lintas barang, Pariwisata, jasa dan manusia.

I.3. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penulisan ini adalah : untuk menganalisis tegangan yang terjadi pada balok jembatan prategang sistem segmen per segmen tersebut berupa : tegangan geser, tegangan normal, tegangan lentur, apabila pemasangan segmen itu bertahap.

Sedangkan tujuan dari penulisan ini adalah : untuk mendapatkan suatu kondisi lalu lintas / jembatan bentang panjang yang aman, nyaman hingga umur rencana yang ditetapkan dengan menggunakan prinsip beton Prategang dapat tercapai sesuai prasyarat yang ditetapkan.

I.4. PEMBATASAN MASALAH

Karena luasnya permasalahan pada jembatan prategang yang antara lain : Permukaan segmen, Beban-beban, Konstruksi pada angker, Bahan beton, Hal kerja sama besi tulangan dengan beton, Tegangan-tegangan yang terjadi, Deformasi.

Disini penulis hanya membahas yang erat hubungannya dengan judul tugas akhir yaitu :

1. Tegangan geser
2. Tegangan normal
3. Tegangan lentur

I.5. Metodologi

Penulis membahas pokok masalah dimulai dengan mengumpulkan teori-teori para ahli konstruksi beton prategang yang ada hubungannya dengan judul tugas akhir, dan data-data langsung ke lokasi ditambah dengan bahan-bahan mata kuliah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. JEMBATAN

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa).

Jembatan-jembatan dapat dibagi dalam golongan sebagai berikut :

I. Jembatan-jembatan tetap terdiri dari:

- a. Jembatan kayu, melulu untuk lalu lintas biasa pada bentangan kecil dan untuk jalan pembantu.
- b. Jembatan baja.
- c. Jembatan-jembatan dari beton bertulang, dalam golongan ini termasuk juga jembatan-jembatan yang gelagar-gelagarnya di dalam beton .

II. Jembatan yang dapat digerakkan, terdiri dari

- a. Jembatan yang dapat berputar di atas poros mendatar atau berputar secara horizontal .
- b. Jembatan yang dapat berputar atas suatu poros tegak, atau jembatan yang dapat berputar secara vertikal
- c. Jembatan yang dapat berputar ke arah tegak lurus (vertikal) atau mendatar (horizontal).

II. 2 . BETON PRATEGANG.

Beton Prategang adalah suatu konstruksi beton, dimana bila pada konstruksi tersebut diberi tekanan dengan gaya khusus, beton akan tertekan sehingga pada saat konstruksi dibebani tidak akan atau hampir tidak akan timbul tegangan tarik. Gaya prategang dibangkitkan dengan menggunakan kawat baja yang ditarik, dan kemudian dalam keadaan tertarik kawat baja tersebut secara konstruktif disatukan dengan beton, sehingga gaya tarik baja dialihkan pada beton dan sebagai reaksi beton akan mengalami tekanan.

Beton merupakan bahan yang kuat terhadap tekanan tetapi relatif lemah terhadap tarikan. Pada beton pratekan diambil manfaat dari kemampuan beton untuk melawan gaya tekan. Suatu gaya tekan luar diberikan pada beton supaya tetap berada dalam tekanan (kompresi) selama umur normalnya, sehingga dapat mencegah terjadinya tegangan tarik bilamana diberi beban yang cenderung menarik atau melenturkan beton.

Di sini tegangan tekan awal diberikan pada beton untuk meniadakan atau mengurangi tegangan tarik yang terjadi dari berat mati atau beban hidup. Pada beton bertulang, baja menampung semua tegangan tarik ditambah tegangan tekan berlebih yang tidak dapat dipikul oleh beton. Pada beton pratekan, baja dipakai terutama untuk memberikan tegangan tekan pada beton.

Terdapat dua sistem pemberian prategangan pada beton, yaitu :

a. Pretensioning

Pretensioning adalah : sistem prategang dimana tendon baja ditarik sebelum beton dicor disekitarnya. Cara ini mensyaratkan tendon sementara diangker setelah penarikan pada pendukung yang sesuai pada dasar penegangan sebelum beton dicor . Setelah beton mencapai kekuatan spesifik, tendon dilepas dan gaya-gaya pada tendon dipindahkan ke beton, sehingga memberi tekanan.

b. Post-Tensioning

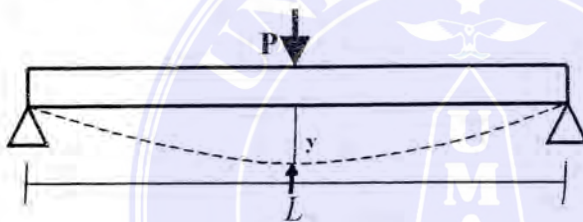
Post-tensioning adalah sistem prategangan dimana tendon baja ditarik setelah beton dicor dan memperoleh kekuatan yang ditentukan.

Post-tensioning memerlukan adanya saluran yang telah dibentuk atau rongga di dalam bagian beton untuk menerima tendon, ketika tendon ditarik gaya-gaya yang didapat dipindahkan pada beton melalui pelat angker atau konus. Saluran atau rongga digROUT dengan tekanan setelah selesainya pelaksanaan penarikan supaya dapat melindungi tendon terhadap korosif.

II.3. BALOK

Balok merupakan bagian konstruksi yang lurus atau melengkung terutama untuk memikul beban-beban yang bekerja pada sumbu longitudinal. Tegangan-tegangan pada suatu penampangnya dapat diuraikan satu atau lebih dari gaya-gaya yang bekerja yaitu : gaya geser, momen lentur dan gaya normal.

Pada balok yang diberi gaya *axial* akan menyebabkan terjadinya tegangan pada bagian-bagian tertentu disepanjang balok, dimana bekerja beban *axial* itu akan menjadi daerah yang paling kritis (Y).



Gambar II.1. Balok

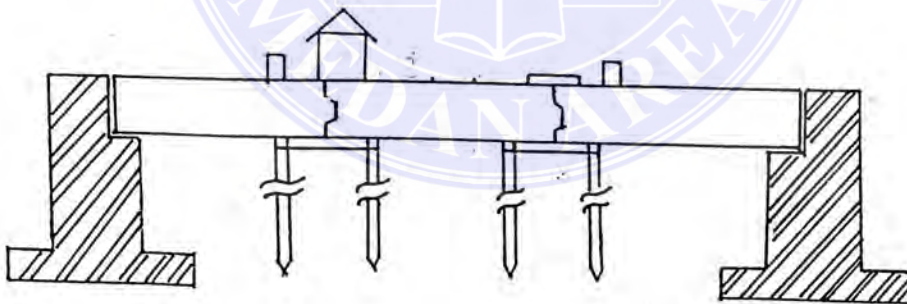
Walaupun balok dapat memikul momen lentur, gaya geser, gaya normal, dan momen torsi, pada kebanyakan konstruksi balok memikul momen lentur satu arah saja (para perencana mengusahakan sedemikian rupa sehingga konstruksi balok hanya memikul momen satu arah saja), dan momen lentur itu dianggap bekerja pada pusat geser sehingga momen torsinya dapat diabaikan oleh karena konstruksi balok hanya memikul momen satu arah maka perlawanan kekuatan lentur terhadap sumbu kuatnya (inersia terbesar) menjadi pokok perhatian dalam perencanaan. Dengan

melenturnya suatu balok tidak lazim dinyatakan sebagai bentang yang tertekuk walau bekerja gaya axial tekan pada balok tersebut.

II.4. PENGARUH BEBAN SELAMA PELAKSANAAN KONSTRUKSI

Pada waktu pengecoran ataupun pemasangan segmen-segmen akan menimbulkan momen guling terhadap konstruksi tersebut. Ketidaksamaan konstruksi ini yaitu perbedaan berat pada tahap pemasangan segmen.

Beban-beban sementara, beban angin ataupun kejadian-kejadian yang tak terduga seperti kecelakaan-kecelakaan pada waktu pelaksanaan misalnya jatuhnya alat-alat pengecoran ataupun pada waktu pemasangan segmen akan terjadi momen guling.



Gambar II.2. Stabilitas Sistem Segmen

II.5. BEBAN-BEBAN TAK TERDUGA

Beban-beban ini disebabkan karena kecelakaan yang timbul selama pelaksanaan konstruksi seperti jatuhnya kerangka pemasangan segmen-segmen beton itu sendiri.

Untuk pekerjaan yang dapat mengakibatkan malapetaka lebih besar, misalnya pekerjaan dilakukan di atas jalan raya yang sedang aktif beroperasi ketentuan-ketentuan khusus harus dimasukkan dalam design dan faktor keamanan harus digunakan untuk setiap pemasangan segmen.

II.6. BEBAN-BEBAN NORMAL

a. Berat sendiri dek terdiri dari 2 bagian :

- Berat teoritis segmen ($w = \text{vol} \times \phi$) yaitu: berat segmen itu sendiri ditempat, jadi merupakan elemen struktur yang belum dipasang.
- Variasi antara berat teoritis sebagai rancangan dan berat sesungguhnya sebagai bangunan.

b. Bebab-beban selama pelaksanaan konstruksi :

- Beban-beban ini terdiri dari semua peralatan yang dibutuhkan untuk pemasangan dek seperti : krane, peralatan pengecoran maupun kerangka pemasangan segmen purna cetak dan lain-lain. Beban-beban ini bervariasi dan bergerak selama pelaksanaan konstruksi.
- Beban-beban tambahan yang digunakan pada saat yang tidak menguntungkan, beban ini berhubungan dengan adanya pemakaian peralatan

seperti : pompa kompresor, kotak penyimpanan material (kabel prategang), besi-besi tulangan dan sebagainya.

c. Angin

Angin dapat bergerak pada arah yang berbeda-beda, secara horizontal pada konstruksi tersebut dapat mengakibatkan momen guling.

II.7.DEFORMASI STRUKTUR SELAMA PELAKSANAAN KONSTRUKSI

Setiap bentang akan mengalami defleksi selama tahap pelaksanaan konstruksi yang disebabkan oleh beban mati dan prategang. Berat sendiri balok akan bekerja bersamaan dengan gaya prategang yang menghasilkan lendutan yang tergantung kepada kondisi perletakan.

Kontrol terhadap defleksi sangat penting karena alasan-alasan berikut :

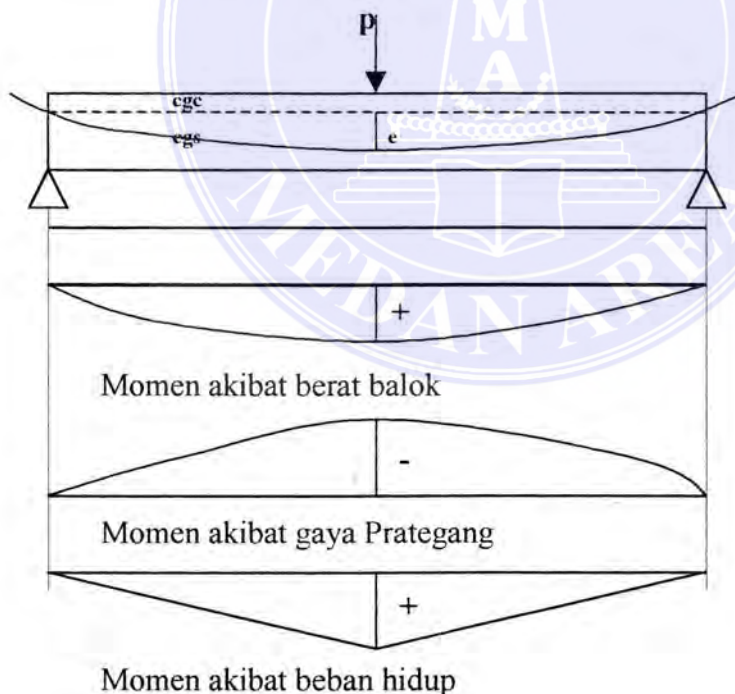
1. Defleksi yang berlebihan cenderung mengakibatkan kerusakan pada sambungan-sambungan segmen yang berkaitan.
2. Defleksi menyebabkan masalah yang serius, seperti perbedaan dalam ketinggian (level) antara kedua ujung segmen.
3. Defleksi yang besar karena pengaruh-pengaruh beban dinamis dan beban yang berubah-ubah dapat menyebabkan para pemakai struktur tidak nyaman.

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi defleksi pada batang-batang beton prategang sebagai berikut :

- a. Berat sendiri dan beban mati
- b. Besarnya gaya prategang.

- c. Profil memanjang kabel
- d. Momen inersia penampang melintang
- e. Modulus elastisitas beton
- f. Susut, rangkak, dan relaksasi tegangan pada baja.
- g. Panjang bentang.

Perhitungan defleksi atau lendutan yang terjadi tidak hanya dihitung pengaruh pada akhir konstruksi saja, tetapi dihitung pada setiap tahap pemasangan segmen, sebab besar gaya prategang yang diberikan pada setiap potongan pada tahap pemasangannya lebih besar daripada yang ada setelah seluruh struktur tersebut selesai



Gambar. II.3. Defleksi pada balok.

Telah diketahui bahwa lendutan ke bawah pada tengah-tengah bentang dengan persamaan

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI} \dots\dots\dots (i)$$

Momen-momen ujung menimbulkan lendutan ke atas :

$$\Delta = \frac{M \cdot l^2}{8 \cdot EI} \dots\dots\dots (ii)$$

Dan lendutan ke atas akibat gaya prategang :

$$\Delta = \frac{5 \cdot ph \cdot l^2}{48 \cdot EI} \dots\dots\dots (iii)$$

Dimana :

Δ = lendutan balok

E = modulus elastisitas

P = gaya prategang

I = Inersia

q = beban merata

M = momen

h = ordinat tendon

Sumber : Mekanika Tek nik I 1985 ; 158

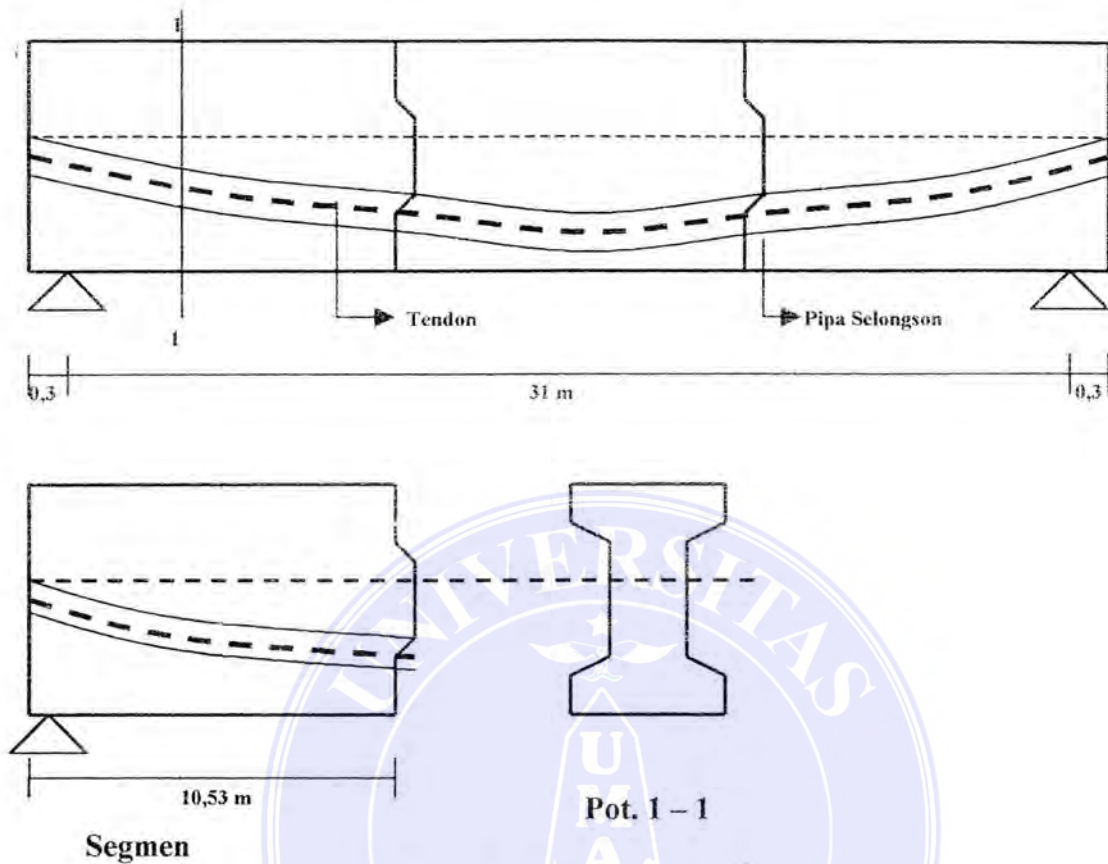
11.8. PEMASANGAN SEGMENT

Pada pemasangan segmen ini, pertama sekali diangkut ke lapangan pembangunan dalam keadaan sudah siap tinggal dipasang pada tempatnya. Setelah segmen-segmen itu sampai pada lapangan pembangunan baru diangkat dan disusun di atas perletakan, segmen dengan segmen berikutnya disusun berdekatan dimana fungsi dari perancah-perancah itu mendukung segmen-segmen tersebut selanjutnya tendon dimasukkan ke dalam pipa selongsong yang sudah disiapkan dalam segmen, lalu tendon ditarik dengan dongkrak disalah satu ujung dan jangkar mati atau pelat penahan pada ujung lainnya. Kadang-kadang jangkar mati atau pelat sudah disiapkan dipasang pada ujung komponen. Fungsi jangkar digabungkan dengan cara mencengkeram tendon agar tidak terjadi slip (penggelinciran) supaya beban atau tegangan tarikan bertahan pada tendon. Dengan demikian gaya dongkrak harus memperhitungkan hal-hal yang menyangkut kehilangan tegangan tersebut.

Perlu diketahui bahwa sistem prategang yang digunakan pada baja dan beton, bertujuan untuk :

1. Untuk menimbulkan tegangan dan regangan yang dikehendaki pada struktur.
2. Untuk mengimbangi tegangan dan regangan yang diperlukan pada beton prategang.

Untuk pengontrolan kekuatan segmen selama pelaksanaan konstruksi jembatan prategang tersebut harus benar-benar diteliti gaya prategang efektifnya (gaya yang sebenarnya masih bekerja setelah mengalami pengurangan).



Gambar II.4. Komponen Struktur Beton Prategang

Sumber : Konstruksi Beton Pratekan (Jilid I) 1989 ; 17

II.9. TAHAP-TAHAP PEMBEBANAN.

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan dimana sebuah komponen struktur dibebani. Untuk struktur yang dicor setempat, beton prategang didesain paling sedikit dua tahap, tahap awal pada saat pemberian gaya prategang dan terakhir saat dibebani oleh beban eksternal. Untuk beton pracetak, tahap ketiga yaitu : pengangkatan dan pengangkutan harus teliti. Pada setiap tahap dari ketiga tahap ini, ada perbedaan waktu bilamana komponen atau struktur dibebani pada kondisi yang berbeda-beda.

Tabel II.1. Tegangan-tegangan ijin untuk batang-batang lentur (Peraturan ACI)

<p>Tegangan Baja – tidak melampaui nilai-nilai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Akibat gaya pendongkrak yang bekerja pada kabel : $0,8f_{pu}$ atau $0,94 f_{py}$ mana yang lebih kecil, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel prategang atau angkur 2. Tendon pratarik “segera setelah peralihan” gaya prategang atau tendon-tendon pasca-tarik setelah penjangkaran / pengangkutan. $0,70f_{pu}$ <p>Tegangan Beton – tidak melampaui nilai-nilai berikut ini :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan). tegangan serat-serat terluar Tekan – $0,60f_c$ Tarik – $0,25 f_c$ (Kecuali pada ujung balok diatas dua tumpuan dimana $0,50 f_c$ Diizinkan). 2. Pada beban kerja setelah terjadi seluruh kehilangan gaya prategang, Tekan – $0,45f_c$ Tarik^a – $0,50 f_c$

Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (Jilid I) 1988 ; 24

II.9.1 Tahap awal

Batang atau struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini selanjutnya dapat dibagi dalam beberapa tahap, yakni :

a) Sebelum diberi gaya prategang.

Sebelum beton diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beban ; oleh karena itu harus dicegah agar jangan terjadi kehancuran pada perletakan. Harus dibuat ketentuan mengenai susut daripada beton kalau hal ini terjadi. Jika diizinkan menghapuskan retak-retak atau memperkecil pada beton prategang, Pemeliharaan (*curing*) yang seksama sebelum peralihan gaya prategang sangat

penting.

Kekeringan atau perubahan temperatur secara mendadak harus dihindarkan. Retak-retak dapat atau tidak dapat ditutupi dengan adanya prategang tergantung dari banyak faktor. Retak-retak akibat susut akan mengurangi kemampuan beton untuk memikul beban tarik.

b) Pada saat diberi gaya prategang.

Ini merupakan percobaan yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon terjadi pada saat penarikan tendon ($0,80f$ atau $0,94f$). Kadang-kadang putus pada saat diberi gaya prategang (penarikan kabel) disebabkan oleh cacat waktu pembebanan. Putusnya kabel kurang berarti, karena seringkali didalam suatu komponen struktur terdapat banyak kabel. Bila kabel putus dalam satu komponen struktur yang hanya terdiri dari beberapa kabel saja, maka harus segera diganti dengan kabel yang baru. Untuk beton, proses penarikan kabel merupakan percobaan untuk mengetahui kekuatan / daya dukung angkurnya. Karena belum cukup umur pada saat itu, sementara gaya prategang mencapai maksimum, kehancuran beton pada pengangkutan dapat terjadi jika mutunya rendah. Gaya prategang yang tidak simetris dan terpusat dari kabel dapat menimbulkan tegangan yang berlebihan pada beton. Oleh karena itu besarnya gaya prategang dari berbagai tendon harus dipelajari terlebih dahulu.

c) Pada saat peralihan prategang.

Untuk komponen-komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan

pasca-tarik, peralihan seringkali secara bertahap, gaya prategang pada tendon dialihkan ke beton satu persatu. Pada kedua keadaan tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendirinya. Jadi disini gaya prategang awal dengan sedikit kehilangan yang terjadi menimbulkan keadaan yang serius pada beton dan seringkali menentukan perencanaan komponen.

Untuk alasan ekonomis dalam perencanaan struktur itu sendiri untuk mengimbangi lendutan ke atas akibat pengaruh gaya prategang.

Hal ini dilakukan dengan mengasumsikan keadaan perletakan tertentu, jika keadaan tidak dilaksanakan dalam praktek keruntuhan pada komponen struktur dapat terjadi. Sebagai contoh, berat dari balok induk (gelagar) prategang di atas dua perletakan diperkirakan dapat menimbulkan momen positif maksimum pada tengah-tengah bentang yang mengimbangi momen negatif akibat gaya prategang. Jika balok induk dicor dan diberi gaya prategang di atas tanah lunak tanpa tumpuan yang cukup pada ujung-ujungnya, momen positif yang diharapkan mungkin tidak ada dan gaya prategang mungkin menghasilkan tegangan tarik yang berlebihan pada serat-serat atas dari gelagar sehingga mengakibatkan keruntuhan.

d) Desentering dan Penarikan Kabel.

Jika sebuah komponen struktur dicor dan diberi gaya prategang ditempat, maka pada umumnya komponen tersebut akan memikul sendiri selama atau sesudah diberi gaya prategang. Jadi bekisting dapat dibongkar setelah diberi gaya-gaya prategang, dan tidak ada pembebanan baru terjadi pada struktur. Beberapa beton

yang ditarik kembali, ini adalah sistem dua tahap prategang atau lebih. Jika tegangan-tegangan pada berbagai macam tahap penarikan harus dipahami.

II.9.2. Tahap Antara (*Intermediate*)

Ini adalah tahapan selama pengangkutan / pengangkatan, hal ini terjadi hanya pada komponen-komponen struktur pra-cetak bila diangkat ke lapangan dan dipasang pada tempatnya. Hal ini penting sekali untuk menjamin komponen-komponen struktur telah ditumpu dan diangkat semestinya.

Sebagai contoh : sebuah balok di bawah ini dua perletakan (simple beam) yang direncanakan dan ditumpu pada ujung-ujungnya akan mudah patah jika diangkat pada tengah-tengah batang.

Tidak hanya pada pengangkutan komponen itu sendiri tetapi juga pada saat penambahan beban-beban mati, seperti atap atau lantai, keadaan tumpuan dan pembebanan harus diperhatikan.

II.9.3. Tahap Akhir

Ini adalah tahapan bila beban yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Seperti pada struktur lain perencanaan harus mempertimbangkan berbagai macam kombinasi beban hidup pada setiap bagian yang berbeda dari setiap struktur akibat beban-beban lateral seperti angin dan gaya-gaya gempa, dan dengan beban-beban regangan seperti yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh dari temperatur. Untuk beton prategangan terutama untuk beton-beton yang tidak umum,

seringkali perlu untuk menyelidiki retak-retak beban batasnya, perilakunya akibat beban yang bekerja (sustained load) sebagai tambahan beban kerja, hal ini akan dibahas sebagai berikut :

□ *Beban kerja.*

Untuk merencanakan beban kerja haruslah ada pemeriksaan terhadap tegangan dan regangan yang berlebihan, harus ada sesuatu jaminan atas kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang berlebihan.

□ *Beban yang bekerja tetap.*

Lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur prategang akibat beban tetap yang sesungguhnya (sering terjadi hanya dari beban mati). Seringkali merupakan faktor penentu dalam perencanaan, karena pengaruh dari rangkaian akibat lentur akan memperbesar nilainya. Sehingga seringkali dikehendaki untuk mengatasi besar lendutan akibat beban tetap.

□ *Beban batas.*

Struktur yang berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak selalu mempunyai angka keamanan yang cukup untuk kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa sebuah struktur mempunyai kapasitas minimum memikul beban yang lebih besar, maka perlu ditentukan kekuatan batasnya (*ultimate strength*). Secara umum kekuatan batas dari sebuah struktur didefinisikan sebagai kekuatan maksimum yang dapat dipikul sebelum hancur. Akan tetapi sebelum beban ini dicapai, proses keruntuhan yang bersifat tetap pada beberapa bagian dari struktur mungkin telah terjadi. Sebagai tambahan pada keadaan pembebanan normal,

beberapa struktur mungkin dibebani oleh beban-beban berulang yang cukup besar yang dapat menyebabkan keruntuhan akibat beberapa struktur mungkin dibebani oleh beton yang berat untuk jangka waktu yang panjang, mengakibatkan deformasi yang berlebihan akibat rangkai, sementara lainnya mungkin dibebani beban eksternal yang ringan sehingga lendutan ke atas yang disebabkan oleh gaya prategang mungkin akan semakin besar

Tabel II.2. Faktor beban dan kekuatan yang disyaratkan menurut Peraturan ACI

Faktor Beban Peraturan ACI	
$U = 1,4D + 1,7L$ (ACI 9 – 1) <u>Kekuatan dasar yang disyaratkan^a</u> Dengan angin diperhitungkan, pilihlah salah satu dari yang berikut ini yg lebih besar $U = 0,75 (1,4D + 1,7L + 1,7 W)$ (ACI 9 – 2) Atau $U = 0,9D + 1,3W$ (ACI 9 – 3) Dimana U = beban mati D = beban mati L = beban hidup W = beban angin	
Kekuatan yang Disyaratkan ≤ Kekuatan Rencana (Desain) Komponen Struktur	
Kekuatan yang Disyaratkan dari beban berfaktor	$\left\{ \begin{array}{l} M_u \leq \phi M_n \\ P_u \leq \phi P_n \\ V_u \leq \phi V_n \end{array} \right.$ Kekuatan rencana (desain) komponen struktur adalah faktor reduksi kekuatan ^{b,φ} dikalikan estimasi terbaik dari kekuatan komponen struktur (kekuatan nominal)

Sumber : (Desain Struktur Beton Prategang (Jilid I) 1988 ; 28

BAB III

ANALISIS TEGANGAN PADA BALOK BETON PRATEGANG

Dalam bab sebelumnya telah dibahas mengenai bagian-bagian konstruksi serta pemasangan segmen. Pada bagian sambungan antara dua segmen konstruksi jembatan pratekan ini harus diberikan perhatian khusus karena menggunakan spesie mortar yang mana akan menimbulkan faktor kritis terhadap ketahanan geser.

Pada umumnya penggunaan lem mortar pada bagian sambungan segmen itu sendiri bukanlah merupakan titik lemah, namun sebaliknya dimana sambungan tersebut mempunyai kekuatan akhir yang lebih besar.

Pada sambungan biasanya akan menimbulkan masalah-masalah yang harus diperkirakan sebelumnya sehingga dengan demikian keamanan dari struktur akan terjamin.

Dengan demikian di bawah ini yang akan ditinjau adalah :

1. Tegangan Geser
2. Tegangan Lentur
3. Tegangan Normal
4. Gaya Pengganti Kabel
5. Daerah Aman Untuk Kabel

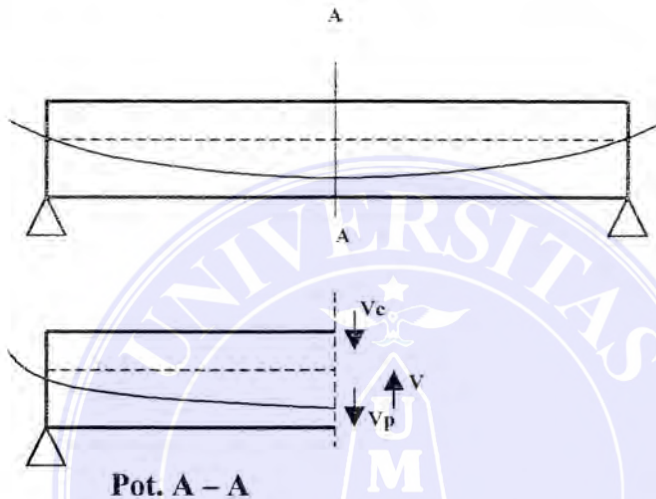
III.1. ANALISIS TEGANGAN GESER

Kekuatan beton pratekan didalam menahan lenturan telah cukup dikenal, tetapi kekuatannya dalam menahan geseran atau kombinasi geseran dan lentur tidak dapat diramalkan dengan teliti.

Pengetahuan kita yang samar-samar mengenai geseran (*shear*) tidak menghentikan kita dalam perencanaan beton prategang, seperti kurangnya pengetahuan kita mengenai kekuatan geser dari beton bertulang tidak menghentikan kita untuk merancang nya. Pada kenyataannya dapat dikatakan bahwa balok beton pratekan lebih dapat diandalkan untuk menahan geseran daripada balok beton bertulang, sehingga sekarang ini banyak balok beton pratekan yang dirancang dan dibangun atas dasar teori-teori anggapan mengenai kekuatan geser dan karena balok-balok tidak runtuh akibat geseran. Keamanan struktur beton prategang yang dirancang menahan geser dengan cara konvensional yang dipakai sebelum tahun 1963 sangat bervariasi. Beberapa desain dibuat terlalu aman untuk menahan geseran yang akan terjadi pada balok beton prategang tersebut. Yang lain tidak begitu aman walaupun semuanya berfungsi untuk memikul kerja normal dengan aman. Peraturan *ACI (Association Concrete International)* sekarang untuk kekuatan geser jauh lebih rumit daripada persamaan sebelumnya yang sederhana, tetapi mereka didasarkan pada teori dan percobaan yang memperlihatkan dengan jelas bahwa kita merefleksikan penampilan yang sebenarnya, faktor keamanan yang lebih merata untuk kekuatan geser adalah hasil tambahan kita di dalam mendesain.

Di dalam Peraturan ACI mempunyai dasar yang rasional untuk mempertimbangkan bagaimana retak akibat geser yang terjadi pada segmen-segmen struktur jembatan prategang.

Gambaran umum dari geseran pada balok prategang adalah seperti dibawah ini :



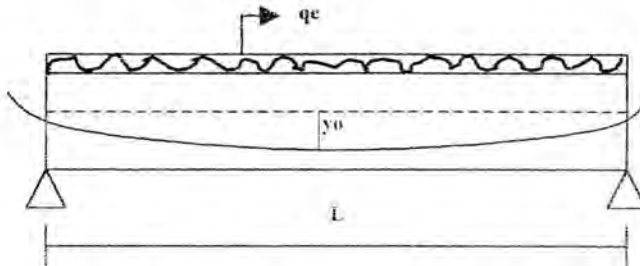
Gambar III.1. Gaya geser (Gaya lintang) yang dipikul oleh beton dan tendon

Balok diberi gaya prategang dengan tendon yang melengkung. Penampang A – A ini memperlihatkan bahwa segmen-segmen transversal dari tendon memikul gaya lintang (gaya geser) dan meninggalkan sebagian lagi untuk dipikul oleh beton, sehingga :

$$V_c = V - V_p$$

Dengan mengikuti pendekatan beban berimbang (*balanced load*) untuk beton prategang adalah mungkin untuk merencanakan balok tanpa geseran di beton pada kondisi pembebanan tertentu. Sebagai contoh jika suatu balok di atas dua tumpuan

tersebut memikul beban merata dan diberi gaya prategang dengan tendon membentuk kurva parabola (lendutan) yaitu :



Gambar III.2. Balok dengan Beton Ekuivalen

$$y_0 = \frac{q_e \cdot l^4}{8 \cdot p}$$

p = gaya prategang pada tendon.

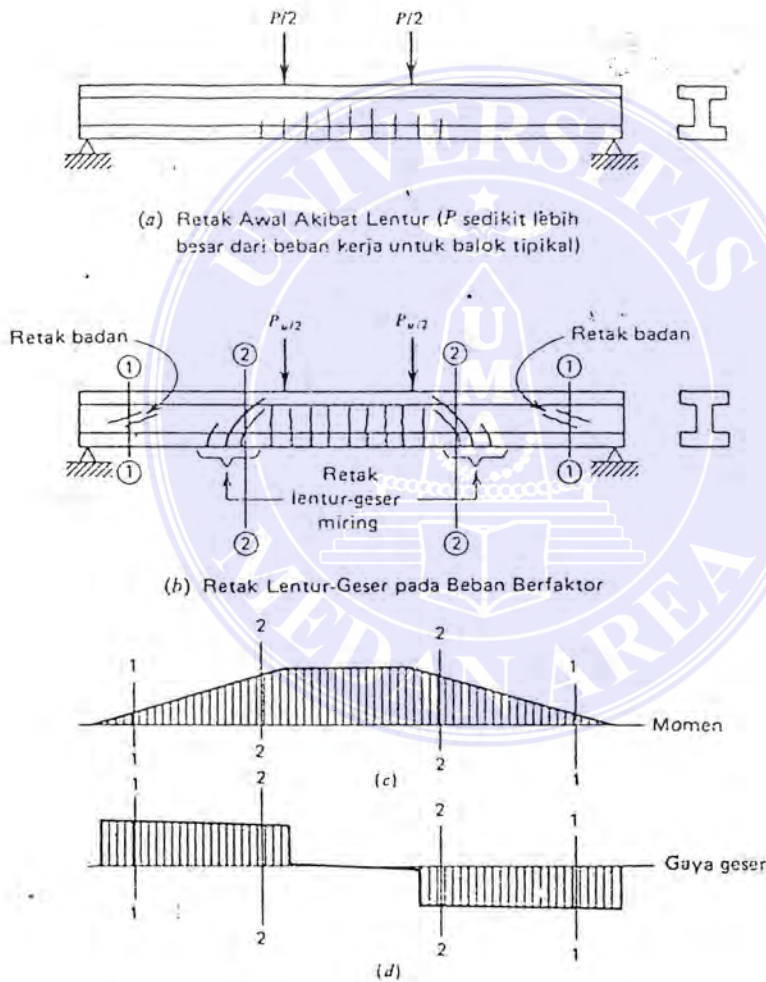
Beban berimbang q_e selalu berkisar dalam batas-batas beban kerja, sehingga beton akan memikul tegangan geser pada beban rencana yang didasarkan pada beban berfaktor.

Kita juga telah mengetahui terjadinya retak di badan (*web*) segmen-segmen beton prategang yang sebelumnya adalah : tampang tidak retak. Retak pada badan balok akibat geser dan lentur pada penampang balok. Retak akibat lentur mulanya disebabkan oleh momen.

Akan tetapi pengaruh kombinasi geseran dan momen pada penampang kritis mengakibatkan kehancuran pada penampang balok tersebut. Retak akibat lentur berkembang sebagai reaksi terhadap momen tetapi geseran menyebabkan retak

akibat lentur yang awalnya vertikal menjadi retak miring pada badan dimana terjadi tegangan geser yang tinggi.

Kehancuran balok secara tiba-tiba dan menyeluruh dapat disebabkan oleh retak yang miring akibat geser dan lentur seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar III.3. Perkembangan retak akibat geser.

Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (Jilid I) 1988 ; 217

Desain konvensional untuk retak akibat geseran di badan balok beton pratekan didasarkan pada perhitungan tegangan tarik utama pada badan dan batas tegangan itu sampai pada suatu nilai yang tertentu.

Bagian-bagian dari metode ini adalah :

1. Perhitungan tegangan tarik utama berdasarkan pendekatan klasik, merupakan prosedur yang benar sepanjang beton tidak retak.
2. Pembatasan tegangan tarik utama pada nilai tertentu tidak selalu merupakan pendekatan yang teliti, karena kenyataan menunjukkan bahwa daya dukung beton terhadap tegangan tarik utama tidak merupakan nilai yang konsisten tetapi bervariasi terhadap besar tekanan aksial.

Akan tetapi bila tekanan aksial tidak terlalu tinggi, katakanlah kurang dari $0,50f_c$, perlawanan beton terhadap tegangan tarik utama relatif konsisten. Balok beton prategang tipikal mempunyai tekanan aksial kurang dari $0,50f_c$. Sehingga perhitungan tegangan tarik utama dapat dipandang sebagai kriteria yang layak untuk keadaan tegangan tersebut dalam menentukan bilamana beton telah retak.

Metode konvensional untuk menghitung tegangan tarik utama pada penampang balok beton prategang didasarkan pada teori elastis dan pada metode klasik untuk menentukan keadaan tegangan pada sebuah titik seperti yang dijelaskan pada uraian di bawah ini :

- a. Dari geseran eksternal total V pada penampang, kurangi geseran pada V_p yang dipikul oleh tendon untuk memperoleh V_c yang dipikul oleh beton, jadi :

$$V_c = V - V_p$$

Kadang-kadang $V_c = V + V_p$; hal ini terjadi bila kemiringan tendon sedemikian rupa sehingga menambah gaya geser pada beton.

b. Hitung distribusi V_c diseluruh penampang beton dengan rumus :

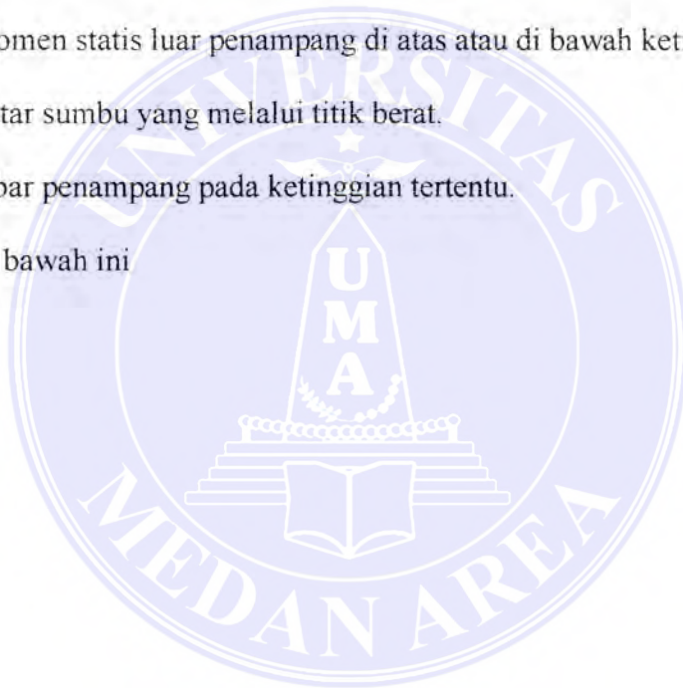
$$\tau = \frac{V_c \times Q}{lb}$$

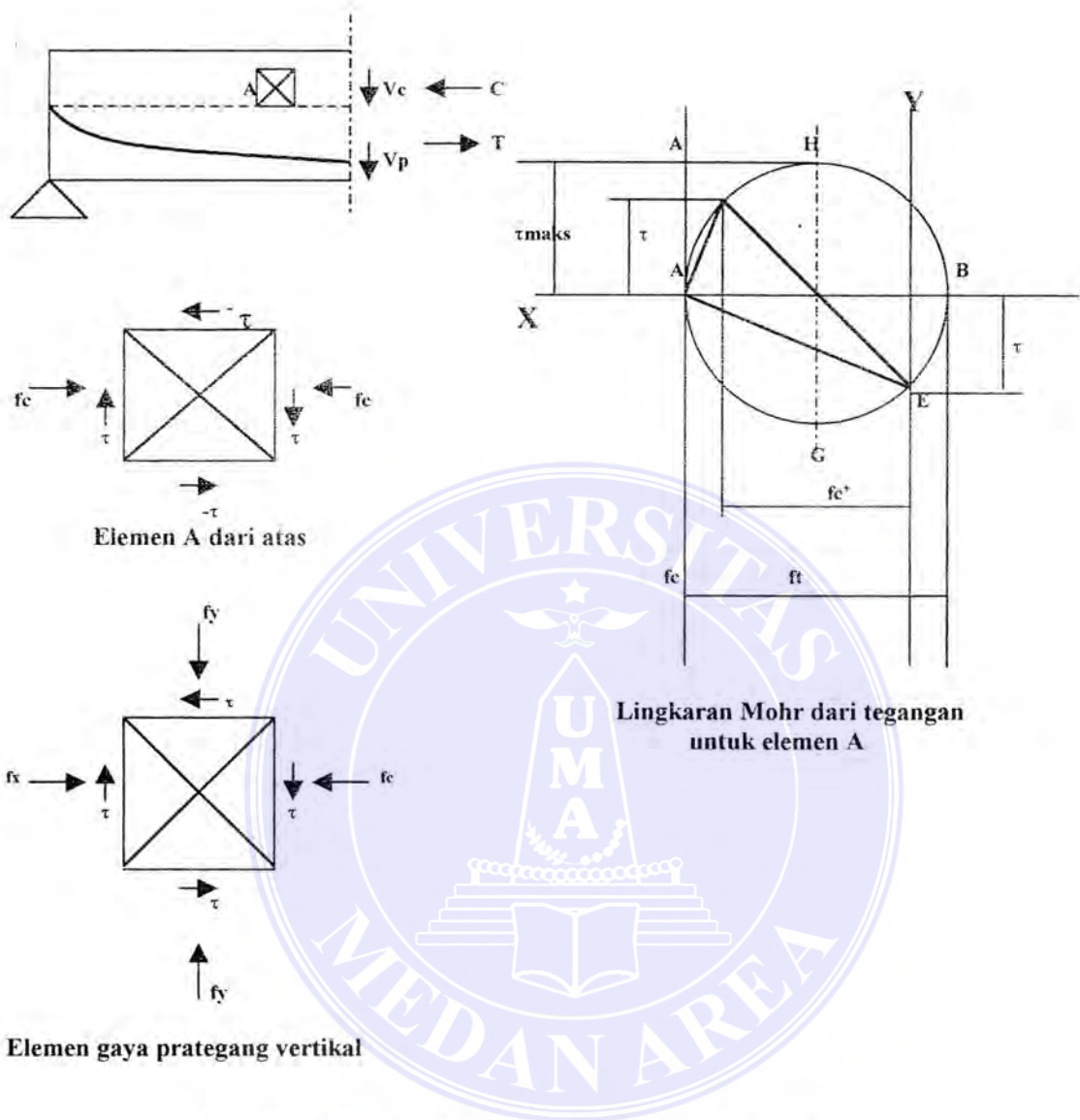
Dimana: τ = tegangan geser satuan pada tiap ketinggian balok

Q = momen statis luar penampang di atas atau di bawah ketinggian se - kitar sumbu yang melalui titik berat.

b = lebar penampang pada ketinggian tertentu.

Lihat gambar di bawah ini





Gambar. III.4. Keadaan Tegangan Pada Beton

Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (Jilid I) 1988 ; 219

c. Hitung distribusi tegangan serat untuk penampang tersebut akibat momen eksternal M , gaya prategang P , dengan eksentrisitas e , dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A} \pm \frac{Pec}{I} \pm \frac{Mc}{I}$$

- d. Tegangan tarik utama maksimum f_t yang bersesuaian dengan τ dan f_c di atas kemudian diberi persamaan :

$$f_c = \tau^2 (f_c/2)^2 - (f_c/2)$$

Secara grafis ini dapat diselesaikan dengan lingkaran Mohr untuk tegangan seperti yang diperlihatkan pada gambar di atas :

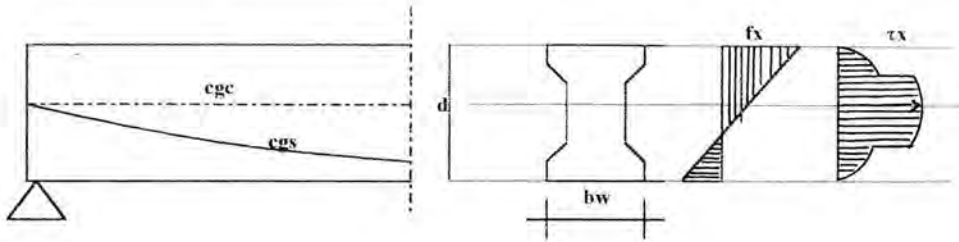
Keterangan dari lingkaran Mohr:

Sepanjang sumbu $x - y$ dengan titik o , jarak OE sama dengan τ . Ukuran OF sama dengan f_c dan FD sama dengan τ . DE sebagai garis tengah. Maka OB adalah sebagai tegangan tarik utama, OA adalah tegangan tekan utama, dan $CG = CH$ adalah tegangan geser utama.

Satu keuntungan dari metode grafis terletak pada penunjukan bidang tegangan tarik utama seperti yang terlihat pada gambar di atas.

Bidang	Tegangan Geser	Tegangan Normal
AD = bidang vertikal	τ	f_c
AE = bidang horizontal	$-\sigma$	o
AB = bidang teg. Tarik utama	o	f_t''
AA = bidang teg. Tekan utama	o	f_c''

Catatan : AA = bidang yang tegak lurus terhadap AB.



Gambar III.5. Tegangan Pada Tengah Bentang

Maka tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$\tau_x = \frac{D \times S}{b \cdot I}$$

$$f_x = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{wb} - \frac{M_i}{wb}$$

$$wb = \frac{I}{y_b}$$

Dimana : τ_x = Tegangan geser yang timbul akibat gaya lintang

D = Gaya lintang

S = Statis momen dari luasan titik berat

b = Lebar yang ditinjau

I = Inersia penampang

f_x = Tegangan yang timbul akibat gaya pratekan dan beban luar

f_{maks} = Tegangan akhir yang timbul akibat τ_x dan f_x

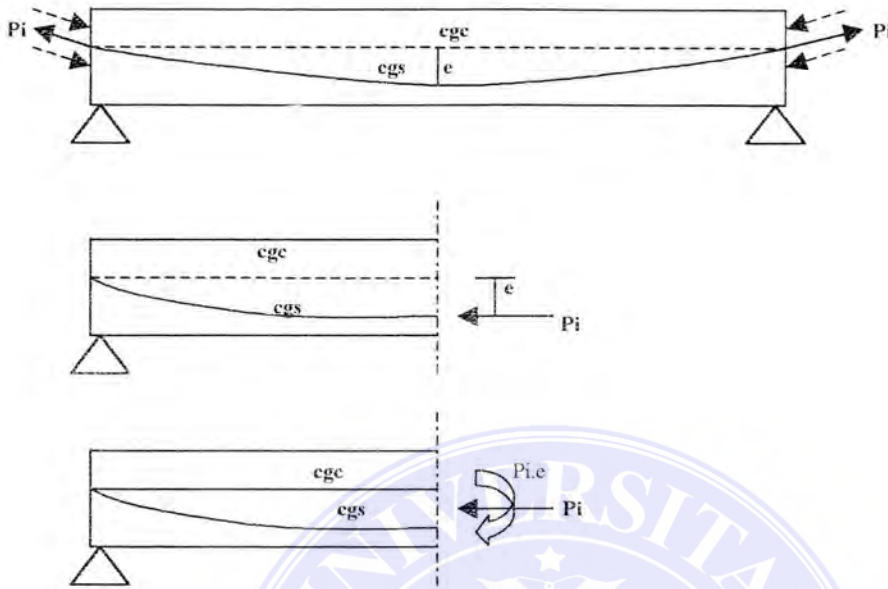
Sumber : Konstruksi Beton Pratekan, Delta Teknik Group Jakarta Jilid I, 1989 Hal 29

III.2. ANALISIS TEGANGAN LENTUR

Timbulnya tegangan lentur karena adanya tegangan geser dan tegangan normal dan besarnya tegangan ini dapat ditetapkan bila diketahui besar momen (M) dan besar gaya lintang (D).

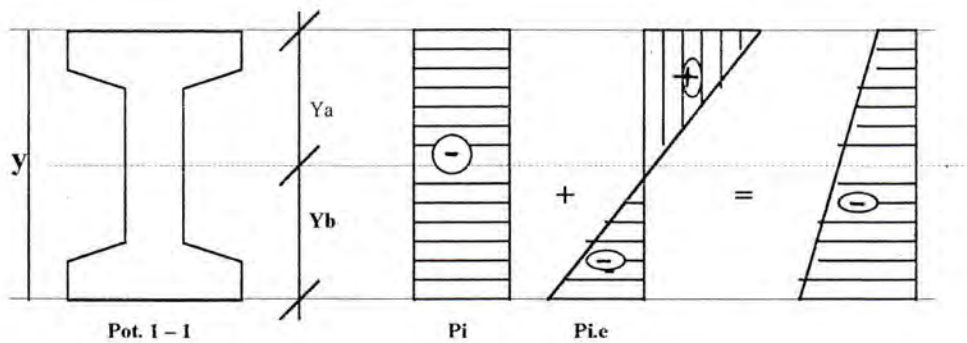
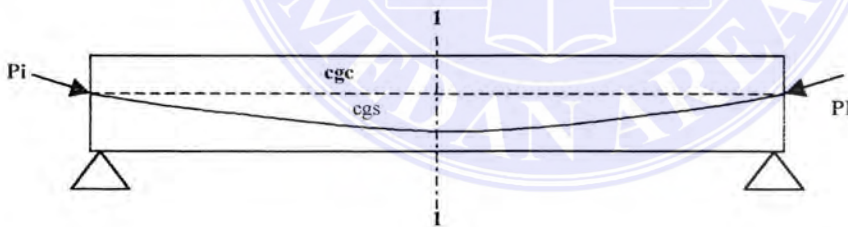
Analisis tegangan lentur komponen prategangan dilakukan untuk beberapa tingkat tahap pembebanan yang berbeda. Tahap beban kerja awal adalah : periode selama pelaksanaan penarikan termasuk saat pelimpahan tegangan kepada beton dimana diperhitungkan yang bekerja adalah beban mati ditambah dengan gaya prategang sebelum terjadi kehilangan untuk segmen-segmen pracetak tahap pelimpahan tegangan (*transfer*) adalah selama pengangkutan dan pengangkatan segmen. Sedangkan tahap pelayanan beban kerja terjadi setelah kehilangan prategang dimana yang diperhitungkan beban mati ditambah gaya prategang. Sebagai tahap akhir adalah tahap kuat batas dimana diperhitungkan seluruh batas dan faktor pembatas kekuatan yang ada termasuk peninjauan terhadap lentur.

Kita tinjau balok prategang di bawah ini dimana kabelnya melengkung. Kabel ditarik dengan gaya P_i setelah angker dipasang, dongkrak dilepas, dan saat itu terjadi pemindahan (*transfer*) gaya tarik kabel ke penampang beton berupa gaya tekan P_i bekerja eksentrisitas pada jarak e dari c.g.c.



Gambar III.6. Trase kabel berbentuk Parabola

Kita pindahkan gaya P_i ke c.g.c., akan timbul momen $P_i.e$ momen ini akan mengakibatkan tegangan serat atas tarik (+) dan tegangan bawah tekan (-).



Tegangan total (akibat P_i sentris + akibat momen $P_i \cdot e$)

$$f = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y}{I}$$

$$f_{atas} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{I_y}$$

$$f_{bawah} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e \cdot y_b}{I_x}$$

Dimana : f = tegangan

y_a = jarak garis berat penampang ke serat atas

y_b = jarak garis berat penampang ke serat bawah

P_i = gaya prategang awal

Tinjauan tegangan terhadap balok beton Prategang baik pada segmen maupun pada tengah bentang. Tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang direncanakan dengan cara meninjau tegangan akibat gaya beban yang bekerja pada tahap-tahap tertentu yaitu saat awal atau transfer (pelimpahan tegangan awal) dan tahap akhir (pelayanan beban kerja). Untuk kepentingan analisis tegangan yang terjadi pada segmen-segmen beton prategang diperlukan kesepakatan perjanjian tanda yaitu :

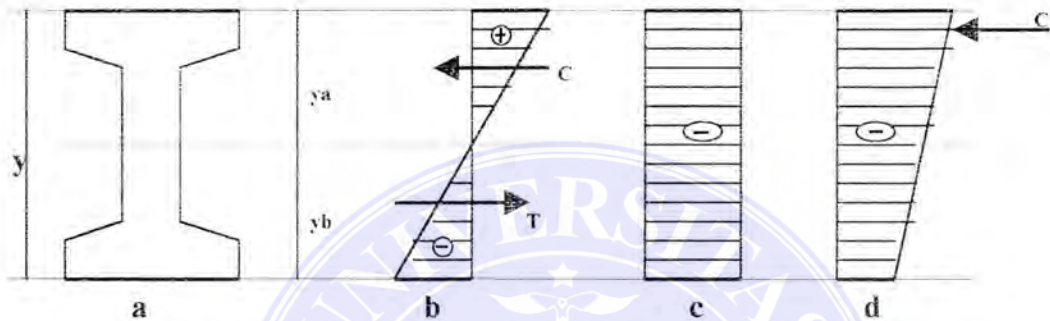
- Untuk tegangan tarik dipakai tanda positif (+)
- Untuk tegangan tekan dipakai tanda negatif (-)

Selanjutnya, baik berat balok (beban mati) maupun gaya prategangan akan memberikan andilnya dalam membentuk pola tegangan yang timbul di dalam balok.

Tahap ini penting karena akan segera muncul pada waktu yang tidak terlalu lama

yang disebut dengan keadaan awal, dan tegangan-tegangan pada beton harus masih berada dalam batas ijin.

Di bawah ini kita tinjau balok beton prategang terhadap tegangan :



Gambar III.7. Tegangan-tegangan di tengah bentang

Keterangan :

- a) = Penampang
- b) = Tegangan beban mati
- c) = Tegangan prategang initial
- d) = Tegangan beban mati + prategang

Prategang Awal :

$$f = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y}{I}$$

$$f_{atas} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{I_x}$$

$$f_{.bawah} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e.yb}{Ix}$$

Pada gambar di atas tampak bahwa tegangan yang timbul akibat gaya prategang sesaat setelah pelimpahan (transfer) maka tegangan beton besarnya sama di seluruh penampang.

$$f = \frac{P_i}{A}$$

Momen lentur akibat beban mati balok :

$$MDI = 1/8 WDL \times L^2$$

Momen inersia balok dengan menggunakan luasan Penampang :

$$I = 1/12 bh^3$$

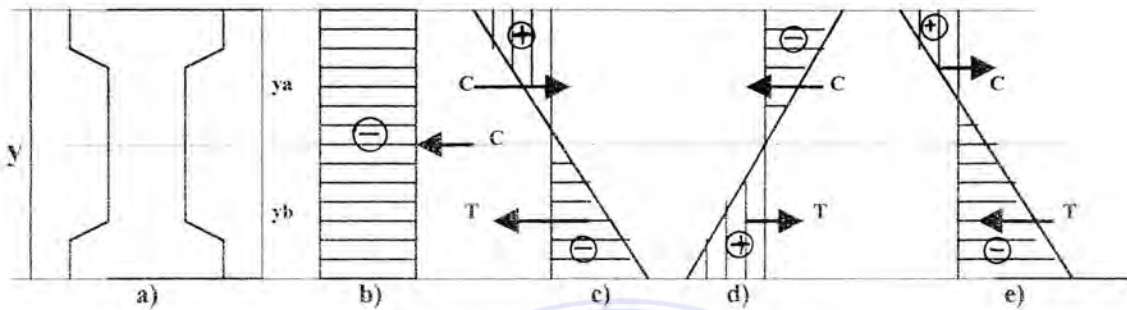
Tegangan yang timbul akibat beban mati :

$$f = \frac{MoC}{I}$$

Tegangan ijin sesaat setelah pelimpahan (transfer) prategang sebelum terjadi kehilangan tegangan diukur terhadap kuat tekan beton saat prategang awal (f_{ci}) sesuai dengan Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang :

- untuk tegangan tekan : $0,60 f_{ci}$
- untuk tegangan tarik : $1/4 \sqrt{f_{ci}}$

Tegangan saat pelimpahan (transfer)



Gambar III.8. Tegangan saat pelimpahan pada tengah bentang.

Dimana :

- a) = Penampang balok beton prategang
- b) + c) = Prategang
- d) = Tegangan beban mati
- e) = Tegangan saat pelimpahan (transfer)

A. Tegangan-Tegangan awal :

$$f = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y}{I}$$

$$f_{atas} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{I_x}$$

$$f_{bawah} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e \cdot y_b}{I_x}$$

Sumber : Konstruksi Beton Pratekan (Jilid I) 1989 ; 48

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

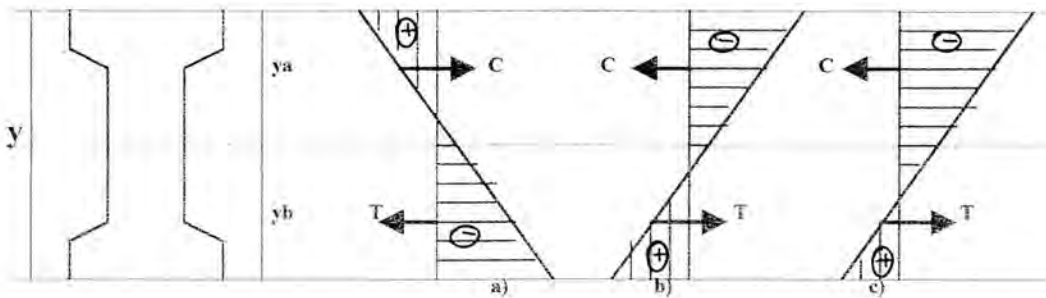
Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)26/12/23

Tegangan saat akhir



Gambar III.9. Tegangan saat akhir pada tengah bentang

Dimana :

- a) = Prategang
- b) = Tegangan beban mati + beban hidup
- c) = Tegangan saat akhir

B. Tegangan-tegangan Akhir

Perhitungan dilakukan setelah kehilangan prategang, maka tegangannya :

$$f = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I_x}$$

$$f_{atas} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{I_x} + \frac{M \cdot y}{I_x}$$

$$f_{bawah} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e \cdot y_b}{I_x} + \frac{M \cdot y}{I_x}$$

Tegangan izin beton pada tahap pelayanan beban kerja menurut Dasar-dasar

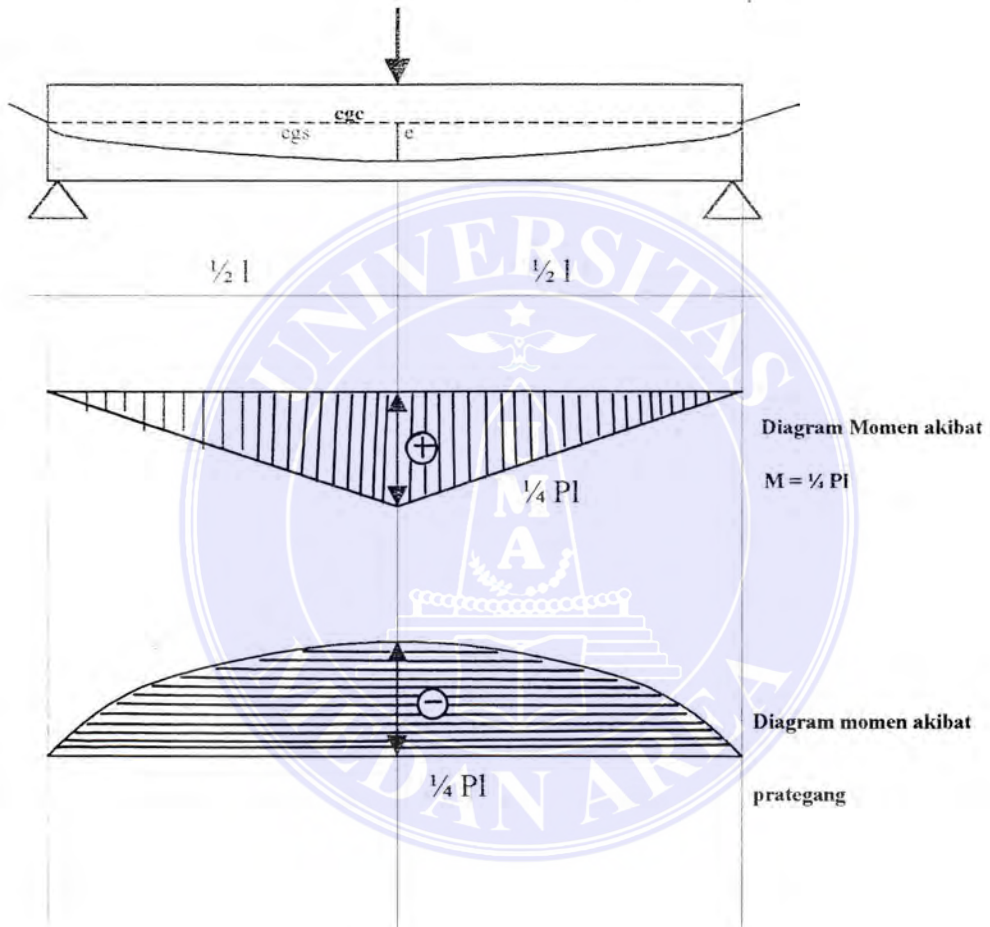
Perencanaan Beton Bertulang adalah :

- ◆ Untuk tegangan tekan : $0,45 f_c$
- ◆ Untuk tegangan tarik : $\frac{1}{2} f_c$

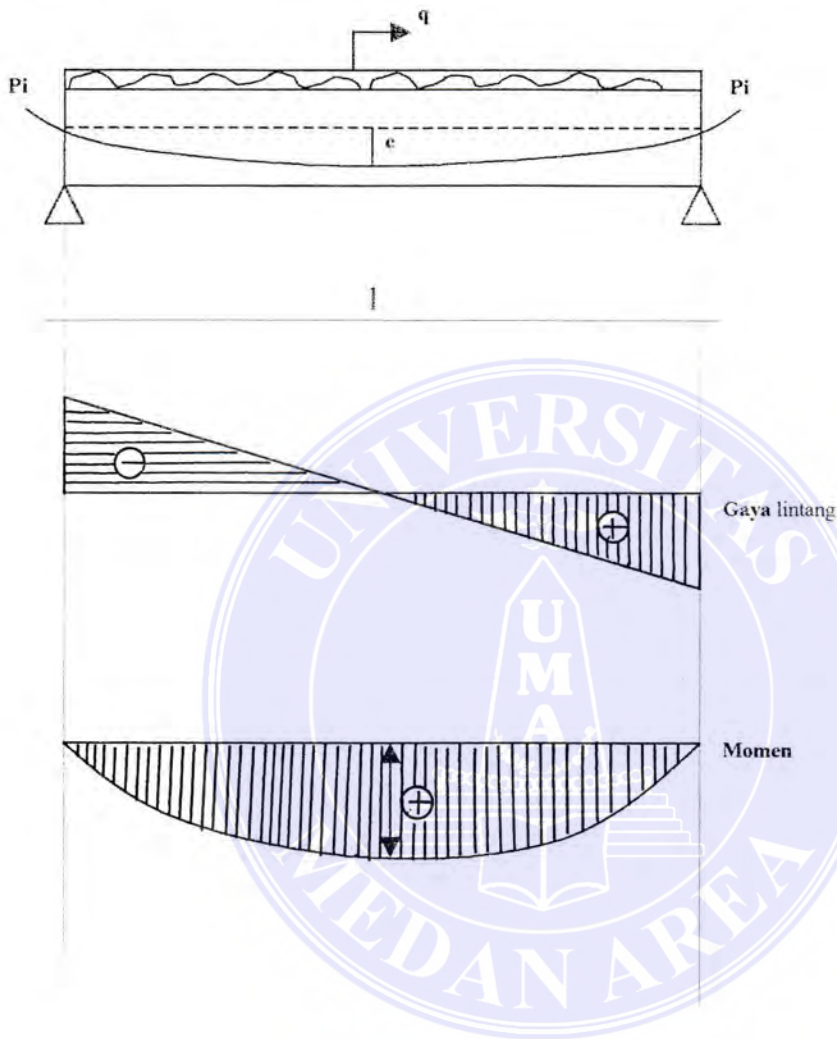
Sumber : Konstruksi Beton Pratekan (Jilid I) 1989 ; 78

Tinjauan terhadap Momen dan Gaya Lintang :

➤ Momen yang terjadi di tengah bentang akibat beban P



➤ Momen akibat beban merata (q)



III.3. ANALISIS TEGANGAN NORMAL

Gaya prategang yang diberikan pada beton akan mengalami pengurangan secara berangsur-angsur sejak dari tahap pemberian gaya tekan sementara pada waktu pemasangan hingga pemberian gaya prategang permanen akibat dari berbagai sebab. Secara umum ini dinyatakan sebagai kehilangan prategang. Suatu perkiraan yang baik terhadap besarnya kehilangan gaya prategang diperlukan tergantung dari design.

Penerapan gaya prategang mengakibatkan timbulnya sekaligus regangan dan tegangan tarik pada tendon. Apabila sesuatu hal, misalnya menggunakan mutu bahan rendah sehingga nilai regangan pada tendon rendah, maka nilai tegangannya juga berkurang. Di dalam beton prategang, kejadian tersebut dikenal sebagai *lose of prestress* (kehilangan gaya prategang). Pengurangan atau kehilangan tersebut sudah terjadi sesaat setelah gaya prategang mulai bekerja. Faktor-faktor yang mempunyai peranan pada kehilangan tersebut adalah perilaku desak elastik beton (perpendekan), relaxation tegangan baja tendon, penggelinciran (*slip*) penjangkaran, proses rayapan dan susut beton serta kehilangan gaya gesekan di sepanjang lengkungan tendon pada cara penarikan purna. Pengukuran gaya prategang di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur tegangan (*pressure gauge*) yang juga mengukur langsung perpanjangan tendon tepat pada dongkrak (*jack*). Untuk memperhitungkan besarnya pengurangan (kehilangan) prategangan bukanlah mudah karena memerlukan suatu proses, dan hasilnya sangat beragam. Sebagai contoh pada penarikan purna, pada umumnya penarikan tendon tidak dilakukan secara bersama-

sama sekaligus tetapi secara bertahap kawat demi kawat, dengan sendirinya proses perpendekan elastis juga berlangsung secara bertahap.

Seperti kita ketahui, rangkak dan susut merupakan deformasi beton yang tergantung pada waktu, dimana rangkak masih dipengaruhi jenis dan cara pembebanan yang bekerja, sedangkan susut oleh keadaan cuaca dan kelembaban. Rangkak pada komponen struktur balok dengan cara pra-penarikan lebih besar daripada cara penarikan purna, karena prategangan dilakukan ketika umur beton masih muda. Dengan demikian umur beton pada saat pembebanan adalah faktor utama dalam menentukan besar rangkak.

Sedangkan dalam memperhitungkan pengaruh susut untuk komponen struktur penarikan purna digunakan faktor penggali reduksi tambahan untuk memperhitungkan selang waktu antara saat dimulainya pengeringan dengan penerapan gaya prategang akibat rangkak dan susut mencapai nilai 5% sampai 7%.

Relaksasi tegangan baja diartikan sebagai kehilangan tegangan di bawah regangan dan suhu yang hampir konstan. Persentase kehilangan prategang akibat relaksasi bervariasi tergantung pada mutu baja, jenis tendon, nilai banding dari prategang awal terhadap kuat tarik tendon, suhu lingkungan dan waktu. Dengan sendirinya semakin tinggi mutu bahannya akan semakin berkurang kehilangan prategangnya.

Untuk beton prategangan cara pra-penarikan umumnya digunakan baja dalam bentuk kawat untaian (*wirestrand*) dengan kuat tarik f_{pu} minimum 1700 – 1850 Mpa, tergantung kelasnya, dan yang sering dipakai adalah kawat untaian berisi tujuh

terletak mengelilingi helikal di seluruh panjangnya. Enam kawat yang keliling melingkar di luar berdiameter sama, sedangkan yang lurus di pusat diameternya sedikit agak besar.

Dengan cara demikian akan menjamin setiap kawat luar akan melekat dan mencengkeram kawat sebelah dalam dengan baik. Baja kuat tinggi untuk prategang tidak menunjukkan karakteristik titik luluh pasti seperti halnya pada baja daktail normal yang digunakan untuk penulangan beton biasa. Kuat luluh kawat prategang adalah kuat luluh yang ditentukan sesuai prosedur ASTM, berdasarkan pada diagram tegangan – regangan pada regangan 1%. Akan tetapi titik luluh baja prategangan tidak penting seperti halnya pada baja daktail biasa. Titik luluh tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan pada waktu menentukan kuat batas balok. Batang baja biasa yang ditarik sampai mencapai kekuatan luluhnya akan kehilangan seluruh gaya prategangnya pada saat hilangnya seluruh tegangan karena meluluh. Oleh sebab itu, tampaknya merupakan suatu keharusan bagi struktur beton prategangan untuk menggunakan baja bermutu tinggi yang memiliki sifat kehilangan regangan hanya kecil saja sehingga persentase kehilangan gaya prategangan hanya sedikit.

Struktur jembatan yang dibangun dengan memakai sistem *post-tensining* yang mana mempunyai jenis-jenis kehilangan prategang yang biasa diperhitungkan dalam desain.

Jenis-jenis kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

1. Relaksasi tegangan dalam baja.

2. Penyusutan beton.
3. Creep beton
4. Gesekan
5. Penggelinciran angker
6. Pendekatan perhitungan tegangan normal

1. *Relaksasi Tegangan Dalam Baja.*

Telah diketahui bahwa relaksasi itu adalah perubahan pada baja yang tergantung pada waktu dan pada panjang yang tetap. Kebanyakan peraturan menetapkan untuk kehilangan tegangan karena relaksasi baja sebagai persentase dari tegangan awal dalam baja.

2. *Penyusutan Beton*

Susut beton dalam batang-batang prategang mengakibatkan perpendekan kawat-kawat yang ditegangkan dan dengan demikian menyumbangkan kehilangan prategang. Susut beton dipengaruhi oleh tipe semen dan agregat serta metode perawatan yang dipakai. Perakian beton berkekuatan tinggi dengan faktor air semen rendah menghasilkan reduksi dalam susutnya dan demikian juga kehilangan prategangnya. Penyebab utama dari susut pengeringan adalah kehilangan air yang berlanjut dari beton. Susut dari permukaan bentang lebih tinggi, perbedaan susut antara bagian dalam dan permukaan batang-batang yang besar dapat mengakibatkan kemiringan regangan ("*Strain Gradient*"), yang mengarah pada retak permukaan.

Oleh karena itu perawatan beton yang ketat sangat penting untuk mencegah retak-

Oleh karena itu perawatan beton yang ketat sangat penting untuk mencegah retak-retak susut dalam batang-batang prategang. Kehilangan tegangan baja karena susut beton diperhitungkan sebagai :

Kehilangan tegangan = $E_{cs} \times \epsilon_s$ dimana

E_s = modulus elastisitas baja

ϵ_{sc} = regangan elastis beton.

3. Kehilangan Tegangan Akibat Creep (Rangkak) Beton

Prategang yang terus menerus dalam beton suatu batang prategang mengakibatkan rangkak dalam beton yang secara efektif mengurangi tegangan dalam baja bermutu tinggi. Banyak faktor yang mempengaruhi rangkak beton. Kehilangan tegangan baja karena rangkak dalam beton dapat diperhitungkan kalau besarnya tegangan rangkak ultimit atau koefisien rangkak diketahui.

a) Metode regangan rangkak ultimit

Kehilangan tegangan dalam baja karena rangkak beton = $\epsilon_{cc} \times f_c \times E_s$

ϵ_{cc} = regangan rangkak ultimit untuk suatu tegangan satuan yang terus menerus.

f_c = tegangan tekan dalam beton pada ketinggian baja.

E_s = modulus elastisitas baja.

b) Metode koefisien rangkak.

$$\text{Koef. rangkak} = \frac{\text{regangan.rangkak}}{\text{regangan.elastis}}$$

$$\text{Jadi} \quad \phi = \left(\frac{\sum c}{\sum e} \right)$$

$$\sum C = \phi \sum e = \phi \left(\frac{fc}{Ec} \right)$$

Maka kehilangan tegangan dalam baja = $\Sigma e \times E_s$

$$= \phi (fc/Ec) E_s$$

$$= \phi \cdot fc \cdot \alpha e$$

dimana : ϕ = koefisien rangkai

Σc = regangan rangkai

Σs = regangan elastis

αe = perbandingan modulus

fc = tegangan dalam beton

Ec = modulus elastisitas beton

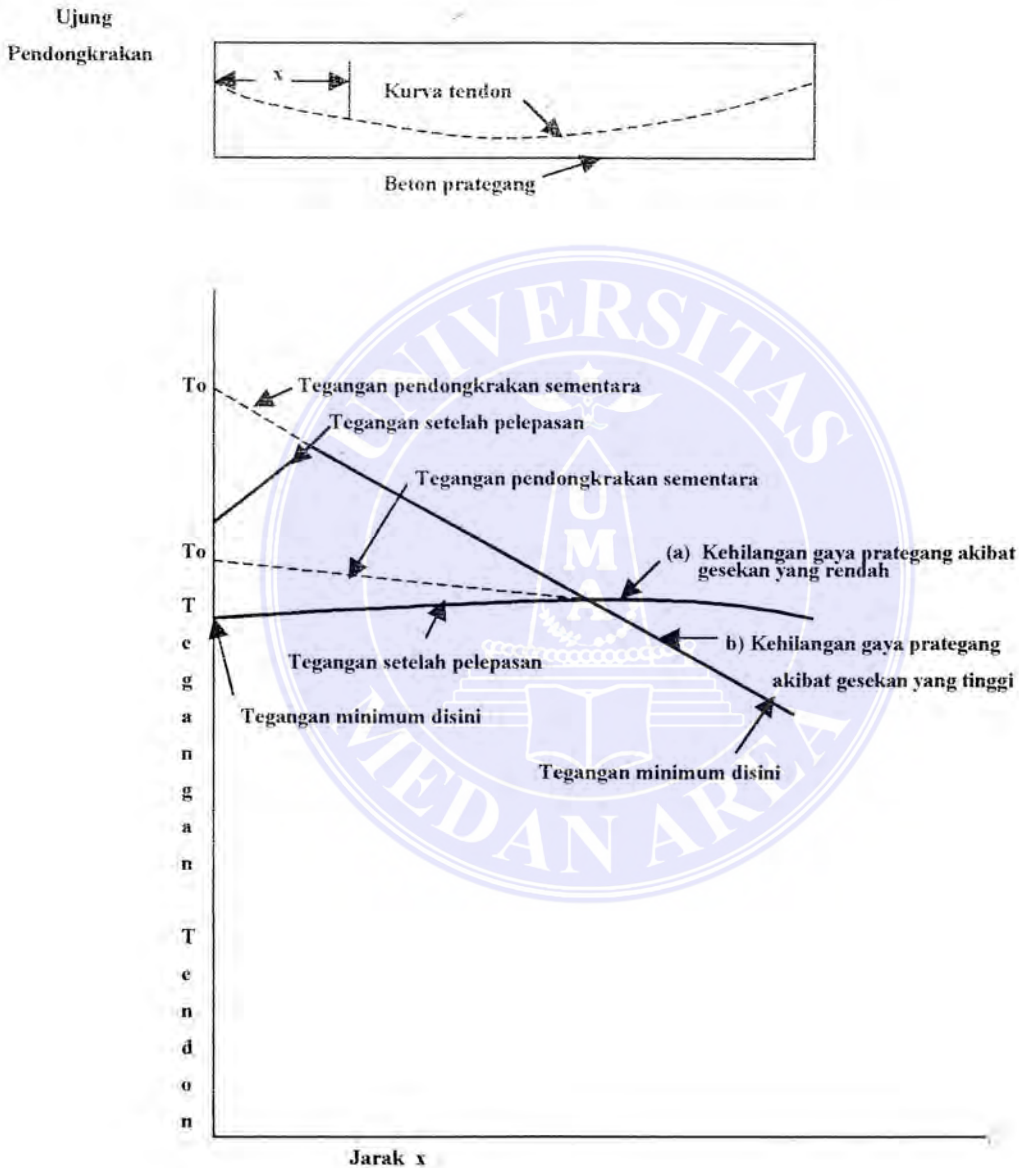
E_s = modulus elastisitas baja.

Sumber : **Konstruksi Beton Indonesia, 1971 ; 180**

4. Gesekan

Dalam batang-batang Post-tension, apabila kabel-kabel lurus atau agak melengkung ditegaskan, maka gesekan terhadap dinding saluran atau kisi-kisi penyekat mengakibatkan kehilangan tegangan yang makin bertambah dengan jarak dari dongkrak. Sebagai tambahan, akan terdapat kehilangan tegangan karena gesekan antara kabel dan gerak gelombang dalam saluran yang disebut sebagai “goyangan”

atau “gelombang” yang merupakan penyimpangan kecil saluran dari kedudukan yang ditetapkan.



Gambar III.10. Variasi Tegangan Pada Tendon Akibat Gaya Gesekan

Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (Jilid I), 1989 ; 97

Dengan memperhatikan gambar di atas maka, besarnya gaya prategang, P_x pada jarak x dari ujung penarikan mengikuti suatu fungsi eksponen dengan persamaan :

$$P_x = P_0 \cdot e^{(\mu\alpha + Kx)}$$

Dimana : F_0 = gaya prategang pada ujung dongkrak

μ = koefisien gesekan antara kabel dan saluran

α = sudut kumulatif dalam radian lewat mana tangent terhadap profil memanjang kabel setelah berputar dua titik yang ditinjau

K = koefisien gesekan untuk pengaruh gelombang,

$e = 2,7183$

Harga μ dan K untuk masing-masing negara biasanya mempunyai ketetapan-ketetapan sendiri yang berdasarkan eksperimental

5. Kehilangan Karena Penggelinciran di Angker.

Di dalam kebanyakan *Post-tensioning*, apabila kabel ditegangkan dan didongkrak serta dilepaskan untuk memindahkan prategang kepada beton, pasak-pasak gesekan yang dipasang untuk untuk memegang kawat-kawat, menggelincir pada jarak yang pendek sebelum kawat-kawat menempatkan diri secara konvek dari antara pasak-pasak. Besarnya penggelinciran tergantung tipe pasak dan tegangan dalam kawat, di dalam sistem dimana tendon dilingkarkan sekeliling blok anker beton, seperti dalam hal sistem Leonhartbaur, kehilangan tegangan dapat terjadi karena kawat-kawat menusuk ke dalam anker. Kalau dipergunakan pelat-pelat anker, ke dalam ujung batang beton.

Kehilangan selama pengikatan anker, yang terjadi dengan pegangan tipe pasak, biasanya di lapangan diperhitungkan dalam perpanjangan lebih pada tendon dalam operasi prategang sebesar yang tertarik sebelum pengikatan anker. Namun metode ini memuaskan asalkan tegangan lebih sesaat tidak melebihi batas-batas yang ditetapkan sebesar 80% - 85% kekuatan tarik ultimit dari kawat.

Besarnya kehilangan tegangan karena penggelinciran dalam anker dihitung sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{P.L}{A.Es}$$

$$\text{Kehilangan} \cdot \text{tegangan} \cdot \text{karena} \cdot \text{penggelinciran} \cdot \text{anker} = \frac{P}{A} = Es \frac{\Delta}{L}$$

Dimana : Δ = penggelinciran anker

L = panjang kabel

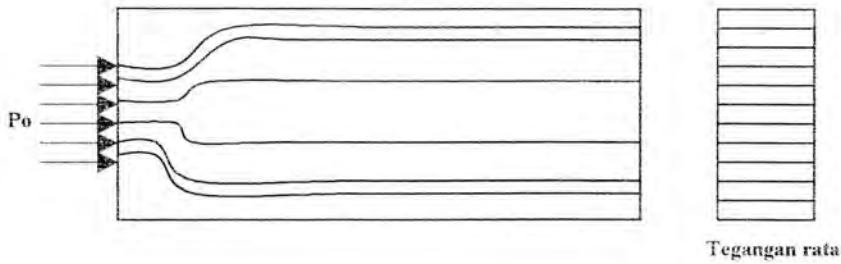
A = luas penampang melintang kabel

Es = modulus elastisitas baja

p = gaya prategang dalam kabel

6. Pendekatan Perhitungan Tegangan Normal

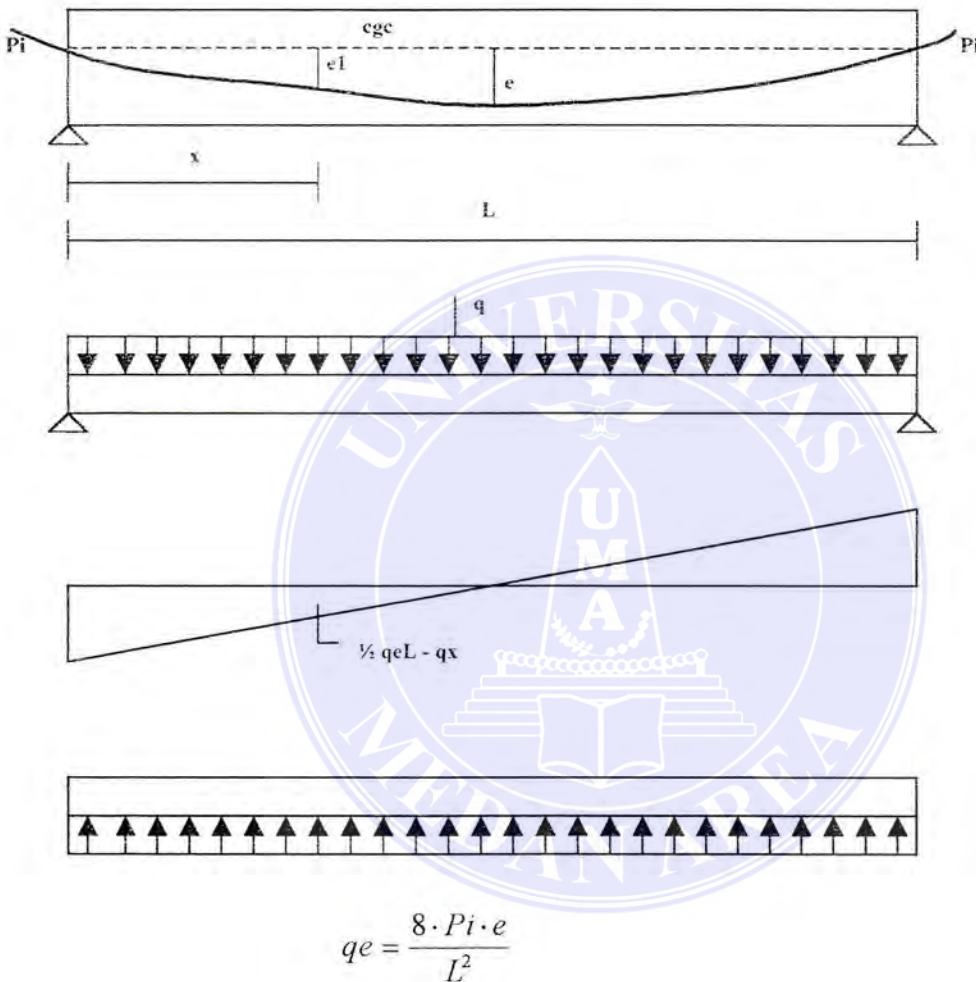
Gaya normal yang bekerja pada segmen merupakan gaya terpusat, sehingga daerah segmen dimana anker dipasang akan mengalami konsentrasi tegangan.



Gambar III.11. Konsentrasi tegangan pada daerah angker

Dalam penurunan rumus-rumus gaya normal yang dipakai dianggap bekerja merata, baik secara vertikal maupun horizontal.

III.4. GAYA PENGGANTI KABEL



Gambar III.12. Gaya yang bekerja pada beton

Besarnya gaya pengganti adalah berupa beban terbagi rata (q). (qe).

Momen di tengah bentang akibat P_i adalah sebesar $= P_i \cdot e$.

Momen di tengah bentang akibat beban terbagi rata (beban pengganti).

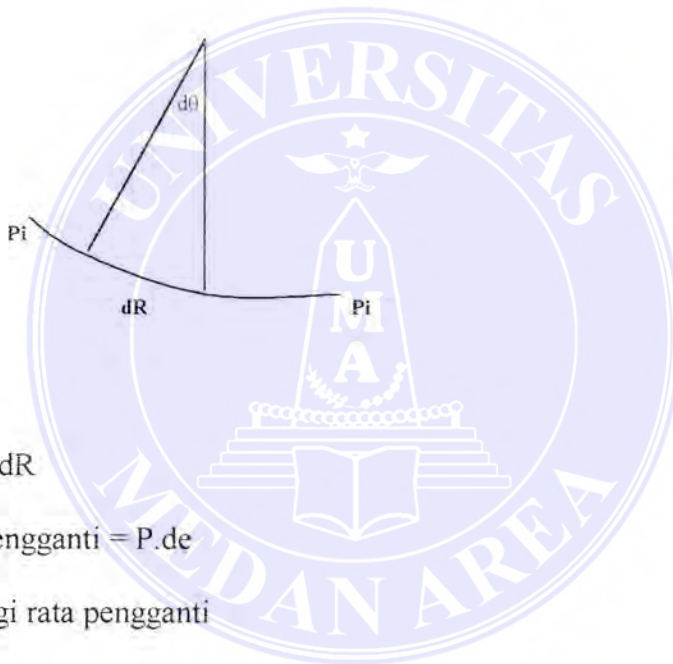
UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$M = 1/8 q.l^2$$

$$\text{Jadi : } 1/8.q.l^2 = P_i.e$$

$$q = \frac{8 \cdot P_i \cdot e}{L^2}$$

Rumus pengganti kita turunkan :



Kita tinjau busur dR

Beban terpusat pengganti = $P \cdot d\theta$

Atau beban terbagi rata pengganti

$$\begin{aligned} &= \frac{(P \cdot d\theta)}{dR} \\ &= \frac{p \cdot d\theta}{R \cdot d\theta} = \frac{P}{R} \end{aligned}$$

R = jari-jari kelengkungan

Jadi rumus jari-jari kelengkungan

$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Ordinat kabel pada tengah bentang (e) kecil sekali dibandingkan dengan bentang (L) sehingga dy/dx kecil sekali.

Jadi $\{dy/dx\}^2 \approx 0$

Sehingga $\frac{1}{R} = \frac{d^2 y}{dx^2}$

Gaya pengganti: $q = p \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}$

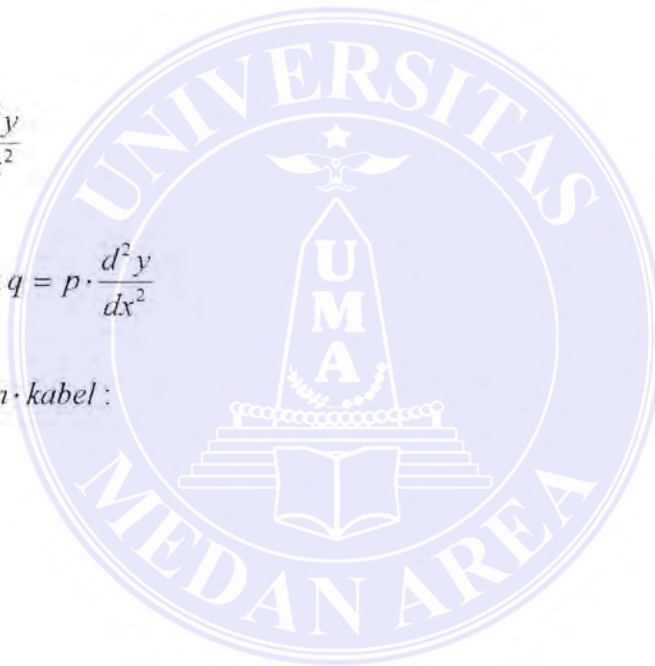
Untuk persamaan kabel:

$$Y = \frac{4e \cdot x(L-x)}{L^2}$$

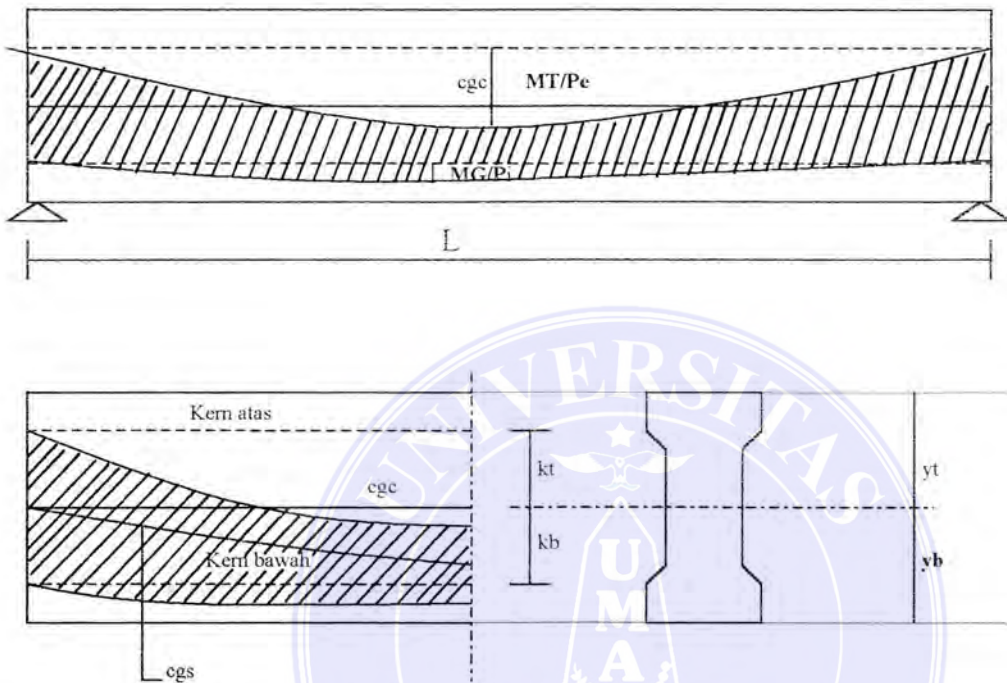
$$\frac{dy}{dx} = \frac{4e \cdot L - 8e \cdot x}{L^2}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-8e}{L^2}$$

$$q = P \left(-\frac{8e}{L^2} \right) = \frac{8 \cdot P \cdot e}{L^2}$$



III.5. DAERAH AMAN UNTUK KABEL



Gambar III.13. Daerah batas untuk pemasangan kabel

Sumber : Konstruksi Beton Pratekan (Jilid I), 1989 ; 176

Pada gambar di atas tegangan tarik tidak boleh terjadi maka :

- ❖ Batas atas kabel diukur dari kern atas : MT/Pe
- ❖ Batas bawah kabel diukur dari kern bawah : MG/Pi

Pada gambar di bawah ini tegangan tarik diperbolehkan asalkan lebih kecil daripada yang diizinkan maka :

- Batas atas diukur dari egc

$$e = \frac{MT}{Pe} - kt - \frac{fts.Zb}{Pe}$$

$$e = \frac{MT}{Pe} - kb - \frac{fcs.Zt}{Pe}$$

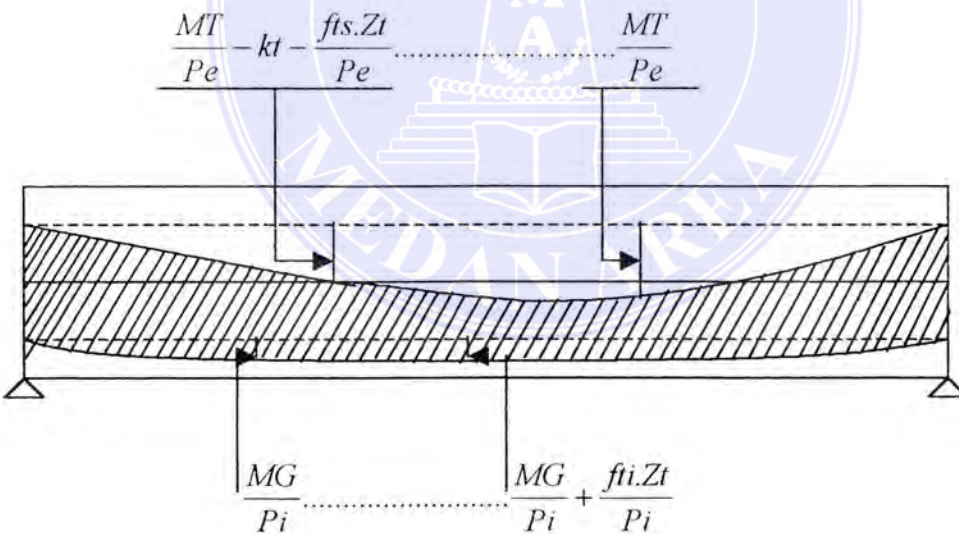
Diambil yang terbesar

- Batas bawah diukur dari egc:

$$e = \frac{MG}{Pi} - kb - \frac{fti.Zt}{Pi}$$

$$e = \frac{MT}{Pi} - kb - \frac{fcs.Zt}{Pi}$$

Diambil yang terkecil



----- = Batas untuk tegangan tarik yang diizinkan

Gambar III.14 Daerah batas untuk c.g.s. yang memperbolehkan terjadinya tegangan tarik pada beton.

Sumber : **Konstruksi Beton Pratekan Jilid I, Halaman 190**
 UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
 Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

Batas atas kabel dan batas bawah kabel*Untuk kondisi dimana tegangan tarik boleh terjadi*

◆ Batas bawah :

$$e_2 = kb + 1/P_i (MG + f_{ti} \cdot Z_t)$$

$$e_2 = kt + 1/P_i (MG - f_{ci} \cdot Z_b)$$

Pilih yang terkecil

◆ Batas atas :

$$e_1 = kb + 1/P_i (MG + f_{cs} \cdot Z_t)$$

$$e_1 = kt + 1/P_i (MG - f_{ts} \cdot Z_b)$$

Pilih yang terbesar

Untuk kondisi dimana tegangan tarik tak boleh terjadi :

◆ Batas atas :

$$e_1 = kt + MT/P_e$$

$$e_1 = kb + MT/P_e + (f_{cs} \cdot Z_t/P_e)$$

Pilih yang terbesar

◆ Batas bawah :

$$e_2 = kb + MG/P_i$$

$$e_2 = kt + MG/P_i - (f_{ci} \cdot Z_b/P_i)$$

Pilih yang terkecil

 $e_2 =$ batas bawah kabel ke cgc $e_1 =$ batas atas kabel ke cgc

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan menganalisa jembatan beton prategang di binanga Guluan banyak hal penting yang diperoleh penulis, sebagai evaluasi dan teori untuk menunjang keterampilan penyusun dikemudian hari.

Berdasarkan kenyataan pembangunan jembatan prategang di Binanga Guluan Toba Samosir, penulis dapat menarik kesimpulan dan saran-saran sebagai berikut.

V.1. Kesimpulan

1. Dari kontrol perhitungan terlihat bahwa tegangan yang timbul dalam batas-batas tegangan ijin dan tampang dalam keadaan tertekan, karena tegangan yang timbul dibawah konstruksi hanya $+ 0,189 \text{ kg/cm}^2$.
2. Dengan menggunakan 6 kabel G270 (7 wire strand) $\phi \frac{1}{2}$ ' dapat memberikan gaya prategang pada beton untuk menghindari tarik pada penampang bawah beton.
3. Dengan penarikan 5 tendon pada keadaan awal gelagar adalah aman
4. Dalam pelaksanaan pekerjaan jembatan prategang diperlukan pengawasan yang ketat serta sesuai dengan gambar-gambar (bestek) dan syarat-syarat yang sudah ditentukan.

V.2. Saran

Saran dan pendapat dari penulis pada pembangunan jembatan prategang adalah sebagai berikut

- ♦ Sesuai dengan kontrol tendon yang dibutuhkan jembatan tersebut, dapat mempergunakan 5 tendon dengan cara menambah besar diameternya agar lebih ekonomis
- ♦ Dihimbau kepada para perencana agar lebih meningkatkan pemakaian beton prategang ini baik untuk bangunan jembatan maupun gedung.



DAFTAR PUSTAKA

- Junaidi, 1986. *Prinsip Perhitungan Beton Prategang*. Medan : Departemen Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Medan.
- Nurjalisman, 1974. *Konstruksi Beton Pratekan Statis Tertentu Berdasarkan Tegangan Kerja*, Medan : Jurusan Sipil – Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.
- Sutami, *Konstruksi Beton Indonesia*, Jakarta : Pekerjaan Umum.
- T. Gunawan dan S. Margaret, 1989. *Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Beton Pratekan*. Jakarta : Delta Teknik Group.
- T.Y. Lin dan H. Burns, 1988. *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta : Erlangga
- 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- 1993. *Panduan Pengawasan Pelaksanaan Jembatan (Teknis)*, Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.