

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era perkembangan ini, beton prategang cukup banyak digunakan dalam konstruksi di Indonesia. Penggunaan struktur beton prategang dinilai memiliki beberapa keunggulan (Triwiyono, 2003), mulai dari struktur yang lebih ringan, dapat mengurangi retak dan mencegah korosi baja, dapat mencapai penghematan maksimum pada struktur bentang panjang, dan dapat digunakan untuk pracetak, serta struktur yang dapat memberikan jaminan kualitas konstruksi yang lebih baik, sederhana, cepat, dan biaya awal yang lebih murah.

Jika pembangunan konstruksi memiliki bentang yang panjang maka dimensi konstruksi tersebut menjadi sangat besar dan berat, ini akan berdampak pada mahalnya biaya konstruksi, waktu pembangunan yang lama dan rumit. Pada pengaplikasian dilapangan, konstruksi dengan bentang yang panjang dapat membuat konstruksi tersebut mengalami lendutan yang berakibat terjadinya retak hingga patah pada bentang.

Penggunaan beton prategang sebagai material konstruksi dengan bentang panjang dikarenakan pada sifat yang dimiliki oleh beton itu sendiri dan kekuatan untuk menahan beban yang didukungnya. Beton dibandingkan dengan bahan lain memiliki beberapa kelebihan yaitu kuat tekan tinggi, tahan api termasuk bahan yang awet. Sifat beton yang tidak kuat terhadap tegangan tarik yang tinggi, maka diperkuat dengan baja yang memiliki kuat tarik tinggi.

Sistem prategang mengubah beton yang getas menjadi bahan elastis dimana beton tidak mampu menahan kuat tarik tetapi kuat terhadap tekan. Pada umumnya, baja mutu tinggi yang ditarik sedemikian rupa membuat beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kemungkinan tidak ada tegangan tarik pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi, melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Untuk itu dilakukan perhitungan gaya prategang dan tegangan pada serat atas pada tugas akhir ini. Perhitungan gaya prategang dan tegangan pada serat atas

bertujuan untuk mengetahui hubungannya yang terjadi pada bentangnya. Apakah memenuhi syarat tegangan ijin yang diberikan pada SNI 03-2874-2002.

Dengan demikian, peneliti berniat melakukan studi literatur dengan judul "Hubungan bentang dan gaya prategang dengan nilai tegangan pada serat bawah nol ($f'b = 0$).

1.2 Rumusan Masalah

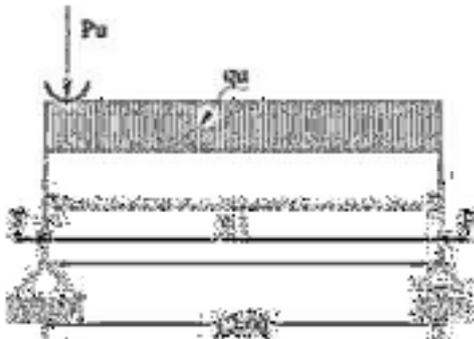
Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah pada studi literatur ini adalah :

1. Bagaimanakah hubungan bentang dan lendutan pada balok.
2. Bagaimanakah hubungan bentang dan gaya prategang pada balok.
3. Bagaimanakah hubungan bentang dan tegangan pada serat atas ($f'a$).

1.3 Batasan Masalah

Dalam analisa ini, penulis membatasi permasalahan untuk penyederhanaan sehingga tujuan dari penulisan tugas akhir ini dapat dicapai, adapun pembatasan masalahnya sebagai berikut:

1. Dalam studi literatur ini, penulis membuat 7 ukuran panjang bentang balok yaitu panjang bentang balok dengan ukuran 12 m, 16 m, 18 m, 20 m, 24 m, 28 m, 32 m (Gambar 1.1.).



Gambar 1.1 Bentang balok yang akan ditinjau.

Sumber : Penulis 2022

2. Gambar tipikal pada setiap bentang yang ditinjau.
3. Bentuk penampang yang ditinjau adalah persegi panjang
4. Beban yang digunakan merupakan beban sederhana.
5. Data-data yang ditetapkan, yaitu:
 - a. Mutu beton yang direncanakan yaitu 40 Mpa

- b. Jarak eksentrisitas didapat melalui perhitungan ($e = y_b - d'$)
 - c. Dimensi penampang ditentukan dari rumus $h = \dots$ dan $b = \dots$
 - d. Selimut beton (d') = 10 cm
 - e. Berat isi beton () yaitu $2,4 \text{ T/m}^3$
 - f. Beban hidup bergerak terpusat $P = 18.000 \text{ Kg}$
 - g. Beban hidup merata yaitu 450 kg/m
6. Analisa perhitungan tegangan menggunakan metode kombinasi beban dengan nilai tegangan serat bawah adalah nol.
 7. Diasumsikan telah mengalami kehilangan gaya prategang (pasca-tarik).
 8. Kondisi yang digunakan adalah tahap service (layan).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui dan memahami hubungan bentang balok dan lendutan (Y).
2. Untuk mengetahui dan memahami hubungan bentang balok dan gaya prategang (F).
3. Untuk mengetahui dan memahami hubungan bentang balok dan tegangan pada serat atas ($f'a$).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah wawasan dan pengetahuan penulis tentang beton prategang dalam memahami prinsip-prinsip beton prategang dan analisa hubungan antara bentang dengan lendutan, gayapategang serta nilai tegangan pada serat atas ($f'a$).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini meliputi :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori lendutan pada bentang, teori beton prategang, prinsip-prinsip beton prategang, tahapan pembebanan, metode prategang, dan perencanaan beton prategang.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini dijelaskan mengenai hal umum dalam analisa perhitungan lendutan, gaya prategang dan tegangan pada serat atas.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang hasil analisa perhitungan lendutan, gaya prategang dan tegangan pada serat atas serta pembahasan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini ditarik kesimpulan dari hasil analisa perhitungan dan saran yang merekomendasikan dalam analisa perhitungan terhadap balok.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Bahan penyusun beton dibagi menjadi dua kategori yaitu aktif dan pasif. Kelompok bahan aktifnya adalah semen dan air, sedangkan bahan pasifnya adalah pasir dan kerikil (disebut agregat halus dan kasar). Golongan bahan pasif disebut *filler*, sedangkan bahan aktif disebut *binder*/pengikat (Tjokrodinuljo, 1996).

Pemilihan bahan pembentuk beton yang berkualitas baik, perhitungan rasio campuran yang benar, pengerjaan dan perawatan yang baik akan menentukan kualitas beton akhir. Beton memiliki sifat yang diinginkan dalam desain. Ciri-ciri resensi adalah sebagai berikut:

a. Sifat-sifat beton sebelum mengeras

Pada dasarnya sifat-sifat beton sebelum dikeraskan dapat dilihat dari nilai *workability*-nya. Secara umum, *workability* mengacu pada kemudahan beton dapat dicampur, dituangkan, diangkut, dan dipadatkan tanpa mengurangi keseragaman beton, dan beton tidak terurai untuk mencapai kekuatan yang direncanakan.

Nilai *workability* beton dapat diartikan dengan sifat-sifat sebagai berikut :

1. *Compactibility* atau kemudahan beton untuk dipadatkan sehingga udara yang terperangkap dalam beton dapat dihilangkan atau dikurangi.
2. *Mobility* atau kemudahan beton untuk dapat mengalir ke dalam cetakan disekitaran tulangan dan dapat dituangkan dengan mudah
3. *Stability* atau kemampuan beton yang dapat sebagai massa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi *segregasi* dan *bleeding*.
4. *Finishibility* atau kemudahan dalam mencapai akhir yang baik.

b. Sifat-sifat beton setelah mengeras

Sifat-sifat beton setelah mengeras, dapat ditinjau sebagai berikut :

1. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan merupakan sifat terpenting dari beton karena berkaitan dengan struktur beton dan memberikan gambaran terhadap mutu beton. Kekuatan beton meliputi kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan geser. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain :

- i. Faktor air semen (FAS)
- ii. Mutu semen portland
- iii. Perbandingan adukan beton
- iv. Jenis dan bidang permukaan agregat
- v. Umur beton
- vi. Perawatan (*curing*)

2. Ketahanan (*Durability*)

Beton dikatakan mempunyai daya tahan yang baik bila dapat bertahan dalam kondisi tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Kondisi yang dapat mengurangi daya tahan beton dapat disebabkan dari faktor luar maupun dari dalam beton itu sendiri. Faktor luar yang berpengaruh antara lain : cuaca, suhu erosi dan pengaruh bahan kimia. Sedangkan salah satu faktor dari dalam adalah akibat dari adanya reaksi agregat dengan senyawa alkali.

2.1.1. Berat Jenis Beton

Berat jenis diartikan sebagai massa suatu bahan per satuan volume bahan tersebut.

Bentuk persamaan berat jenis adalah sebagai berikut :

$$= \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \quad (2.1)$$

dimana : $\rho = \text{Berat Jenis (Kg/m}^3\text{)}$

$m = \text{Massa (Kg)}$ $V = \text{Volume (m}^3\text{)}$

Berdasarkan kerapatannya (berat jenis), beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi berat jenis beton menurut Standart Nasional Indonesia

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (Kg/cm ³)
Beton Berbobot Ringan	< 2200
Beton Berbobot Normal	> 2200 – 2500

Sumber : *Teknologi Beton (Mulyono, 2005)*

Tabel 2.2 Klasifikasi berat jenis beton menurut *American Concrete Institute*

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (Kg/cm ³)
Beton Ultra Ringan	300 – 1100
Beton Ringan	1100 – 1600
Beton Ringan Struktural	1450 – 1900
Beton Normal	2100 – 2550

Sumber : *Teknologi Beton (Mulyono, 2005)*

2.1.2. Kuat Tekan Beton (f'_c)

Kuat beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan :

$$f'_c \equiv (2.2)$$

dimana : f'_c = Kuat Tekan Beton (MPa)
 P = Gaya (Kg)
 A = Luas Penampang benda uji (cm²)

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui pengujian standart berdasarkan SNI 03-1974-1990 dengan benda uji berupa silinder beton yang kemudian diuji menggunakan mesin uji tekan / desak. Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kuat tekan antara lain faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan sifat agregat.

2.1.3. Modulus Elastisitas Beton

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang. Semakin besar modulus elastisitas, semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil.

Menurut Murdock dan Brook (1999), modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dari hasil eksperimen di laboratorium dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P}{A \cdot \frac{\Delta L}{L}} \quad (2.3)$$

dimana : E = Modulus Elastisitas (Mpa)

σ = Tegangan (Kg/cm^2)

ϵ = Regangan

P = Gaya yang diberikan (Kg)

A = Luas tampang melintang (cm^2)

ΔL = Perubahan panjang akibat beban P (cm) L = Panjang semula (cm)

Dari pengujian tekan silinder beton 15/30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-02 sebagai berikut :

$$E = \frac{P}{A \cdot \frac{\Delta L}{L}} \quad (2.4)$$

dimana : E_c = Modulus Elastisitas Beton (Kg/cm²)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ϵ_1
(Kg/cm²)

σ_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (Kg/cm²)

ϵ_1 = Regangan sebesar 0.00005

ϵ_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi saat σ_2 .

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, untuk berat isi beton () diantara 1500 dan 2500 kg/m³, rumus yang digunakan adalah :

$$E = () 1,5 \times 0.043 f'c \quad (2.5)$$

dimana : = Berat Jenis Beton (Kg/m³)

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (MPa)

sedangkan untuk beton normal adalah :

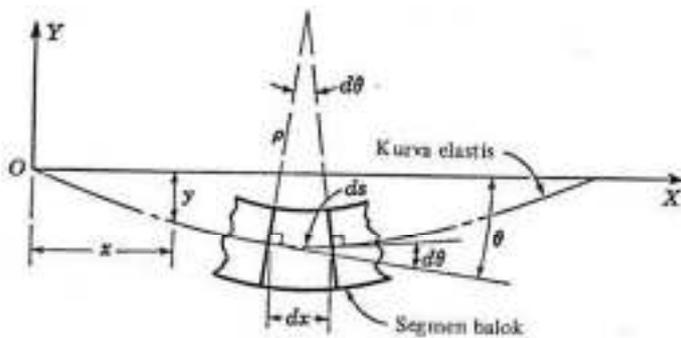
$$E = 4700 \sqrt{\quad} \quad (2.6)$$

2.1.4. Kuat Tarik Baja

Sifat dari baja yang penting untuk diketahui adalah tegangan luluh, tegangan maksimum dan modulus elastisitas baja. Tegangan luluh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s) akan digunakan untuk perhitungan perencanaan beton bertulang. Nilai modulus elastisitas baja tulangan ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI 2847-2013 yaitu sebesar 200.000 Mpa.

2.1.5. Metode Perhitungan Lendutan Balok

Ada beberapa metode perhitungan lendutan balok, salah satu diantaranya metode integrasi ganda. Lendutan balok dengan metode integrasi ganda adalah dengan mengintegrasikan persamaan diferensial kurva elastis balok secara dua kali. Persamaan diferensial kurva elastis balok diperoleh dari elastis balok seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Elastis Balok

Sumber : Tri Handayani dan Yudi Irawadi (2018)

Lendutan ditetapkan sebagai y dari setiap titik dengan terminologi koordinat x . Ujung kiri sebagai origin sumbu x searah dengan kedudukan balok original tanpa lendutan, dan sumbu y arah ke atas positif, Lendutan dianggap kecil sehingga tidak terdapat perbedaan penjang original balok dengan proyeksi panjang lendutannya. Konsekuensinya kurva elastis sangat datar dan kemiringan pada setiap titik sangat kecil.

Lendutan yang terjadi pada balok dengan kondisi pembebanan dengan kondisi tumpuan sederhana sebagai berikut :

1. Lendutan terhadap beban merata

$$Y_q = \frac{qL^4}{8EI} \quad (2.7)$$

dimana : Y_q = Lendutan Akibat Beban Merata (cm) q = Beban merata pada bentang (Kg/cm) L = Panjang Bentang (cm)

E = Modulus Elastisitas Beton (Kg/cm²)

I = Momen Inersia (cm⁴)

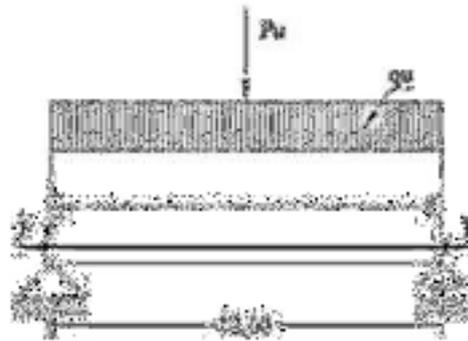
2. Lendutan terhadap beban terpusat

$$Y_p = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.8)$$

dimana : Y_p = Lendutan Akibat Beban Terpusat (cm) P = Beban terpusat pada bentang (Kg/cm)

3. Lendutan total

$$Y = Yq + Yp \quad (2.9)$$



Gambar 2.2 Balok dengan 2 jenis pembebanan

Sumber : Penulis (2022)

Menurut RSNI T-12-2004 hal. 97, batas lendutan ijin maksimum yang diperhitungkan adalah $L/250$.

2.2 Beton Prategang

2.2.1. Defenisi Beton Prategang

Beton merupakan bahan yang kuat tekannya tinggi tetapi kuat tariknya relatif rendah. Baja merupakan material dengan kekuatan tarik yang sangat tinggi. Dengan menggabungkan beton dan baja sebagai bahan struktural, tegangan tekan ditanggung oleh beton dan tegangan tarik ditanggung oleh baja. Pada struktur bentang panjang, tulangan baja biasa tidak cukup untuk menahan tegangan lentur, geser, atau puntir yang tinggi. Karakteristik beton bertulang biasa ini sebagian besar telah diatasi dengan pengembangan beton prategang.

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang telah diberikan dengan jumlah dan distribusi tegangan internal yang memungkinkan untuk menahan jumlah tegangan yang disebabkan oleh beban eksternal seperti yang direncanakan. Proses prategang memberikan tegangan tekan pada beton. Bentuk prategang ini adalah prategang sebelum beban kerja dan digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Beberapa definisi beton prategang menurut beberapa peraturan adalah sebagai berikut:

1. Menurut PBI-1971

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah ditimbulkan tegangan-tegangan intern dengan nilai dan pembagian yang sedemikian rupa hingga tegangan-tegangan akibat beton-beton dapat dinetralkan sampai suatu taraf yang diinginkan.

2. Menurut Draft Konsensus Pedoman Beton 1998

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

3. Menurut ACI

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

Dapat ditambahkan bahwa beton prategang, dalam arti seluas- luasnya, dapat juga termasuk keadaan (kasus) dimana tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh regangan-regangan internal diimbangi sampai batas tertentu, seperti pada konstruksi yang melengkung (busur) (I Putu Laintarawan, dkk. 2009).

2.2.2. Perbedaan dan Keuntungan Beton Prategang

a. Perbedaan Beton Bertulang dan Beton Prategang

Cara bekerja beton bertulang adalah mengkombinasikan antara beton dan baja tulangan dengan membiarkan kedua material tersebut bekerja sendiri-sendiri, dimana beton bekerja memikul tegangan tekan dan baja penulangan memikul tegangan tarik. Jadi dengan menempatkan penulangan pada tempat yang tepat, beton bertulang dapat sekaligus memikul baik tegangan tekan maupun tegangan tarik.

Pada beton prategang, kombinasi beton mutu dan baja mutu tinggi digabungkan secara aktif, sedangkan beton bertulang bersifat pasif. Metode aktif ini dapat dicapai dengan menarik baja yang menahannya terhadap beton, sehingga dalam keadaan tekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja, tegangan tarik yang terjadi dapat dihilangkan oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

b. Keuntungan-keuntungan Beton Prategang

Beton prategang memberikan keuntungan-keuntungan teknis dibandingkan dengan bentuk-bentuk konstruksi lainnya, seperti beton bertulang dan baja. Dalam hal batang penuh, yang bebas dari tegangan- tegangan tarik pada beban kerja, penampang melintangnya dimanfaatkan secara lebih efisien apabila dibandingkan dengan penampang beton bertulang yang retak pada beban kerja. Dalam batas-batas tertentu, suatu beban mati permanen dapat dilawan dengan menambah eksentrisitas gaya prategang dalam suatu unsur prategang, sehingga lebih menghemat pemakaian material (N Krishna Raju, 1989).

Konstruksi beton prategang (*Prestressed concrete*) mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan konstruksi beton bertulangbiasa, antara lain:

1. Mencegah retak terbuka pada daerah tarik, sehingga beton lebih tahan terhadap korosi.
2. Lebih kedap air, cocok untuk pipa dan tangki air
3. Karena adanya lawan lendut akibat gaya prategang sebelum beban rencana bekerja, maka lendutan akhir setelah beban rencana bekerja akan lebih kecil dari pada beton bertulang biasa.
4. Penampang struktur akan lebih kecil, sebab seluruh luas penampang dipergunakan secara efektif
5. Jumlah berat baja prategang jauh lebih kecil daripada jumlah berat besi penulangan pada konstruksi beton bertulang biasa

6. Ketahanan geser balok dan ketahanan puntirnya bertambah

Dengan ini, maka suatu struktur dengan bentang besar penampangnya akan lebih langsing, hal ini mengakibatkan *Natural Frequency* dari struktur berkurang, sehingga menjadi *dinamis instabil* akibat beban getaran gempa atau angin kecuali bila struktur ini memiliki rendaman yang cukup atau kekakuannya ditambah.

Bila ditinjau dari segi ekonomis, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

1. Jumlah volume beton yang diperlukan lebih kecil
2. Jumlah baja/besi yang dipergunakan hanya $1/5 - 1/3$ nya
3. Tetapi biaya awalnya tidak sebanding dengan pengurangan beratnya. Harga baja dan beton mutu tinggi lebih mahal. selain itu *formwork* dan penegangan baja prategang perlu tambahan biaya. perbedaan biaya awal ini akan menjadi lebih kecil, jika beton prategang yang dibuat adalah beton pracetak dalam jumlah yang besar
4. Sebaliknya beton prategang hampir-hampir tidak memerlukan biaya pemeliharaan, lebih tahan lama karena tidak adanya retak-retak, berkurangnya beban mati yang diterima pondasi, dapat mempunyai bentang yang lebih besar, dan tinggi penampang konstruksi berkurang.

2.2.3. Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton prategang dapat diartikan sebagai beton yang diberikan tegangan tekan dalam sedemikian rupa sehingga dapat menghilangkan tegangan tarik yang terjadi akibat beban luar sampai suatu batas tertentu.

Ada 3 (tiga) konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang :

1. Konsep Pertama

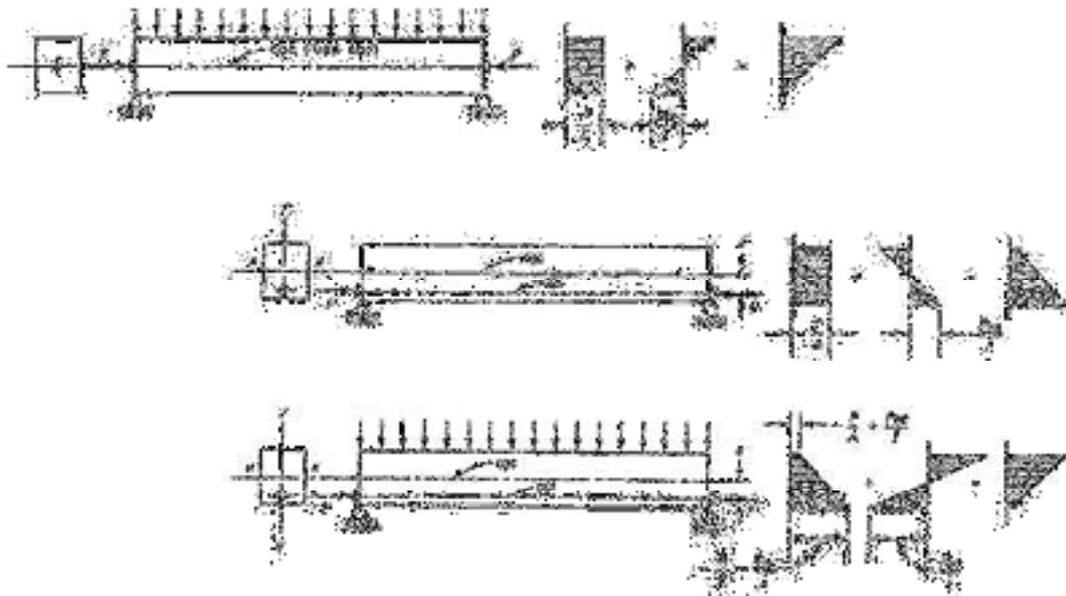
“Sistem prategang untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan yang elastis.”

Menurut *Eugene Freyssinet*, dengan memberikan tekanan lebih dahulu pada beton yang pada dasarnya getas, akan menjadi bahan yang elastis. dengan memberikan tekanan (menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, karena adanya tekanan dalam yang memikul tegangan tarik akibat beban luar.

Dalam bentuk yang sederhana, pada balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon ditempatkan eksentris (sebesar e), maka distribusi tegangannya (lihat gambar 2.3) menjadi :

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F e y I}{A} \pm \frac{M y I}{A} \quad (2.10)$$

dimana $\frac{F e y I}{A}$ adalah tegangan akibat momen eksentris.



Gambar 2.3 Tegangan akibat gaya prategang

Sumber : *Edward G.Nawy (2001)*

Kalau kedua tegangan akibat gaya prategang dan tegangan akibat momen lentur ini dijumlahkan, maka tegangan maksimum pada serat terluar penampang adalah:

- a. Tegangan pada serat atas :

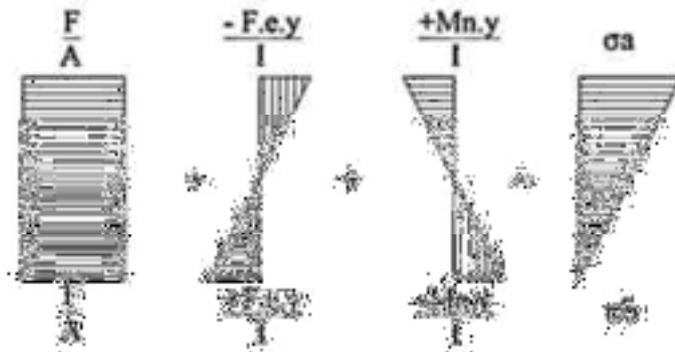
$$f_{\text{Total}} = \frac{F}{A} - \frac{F e y}{I} + \frac{M y}{I}; \text{ tidak boleh melampaui tegangan}$$

hancur beton.

- b. Tegangan pada serat bawah :

$$f_{\text{Total}} = \frac{F}{A} + \frac{F e y}{I} - \frac{M y}{I}; \text{ tidak boleh lebih kecil dari nol.}$$

Jadi dengan adanya gaya internal tekan ini, maka beton akan dapat memikul beban tarik.



Gambar 2.4 Distribusi tegangan beton prategang eksentris

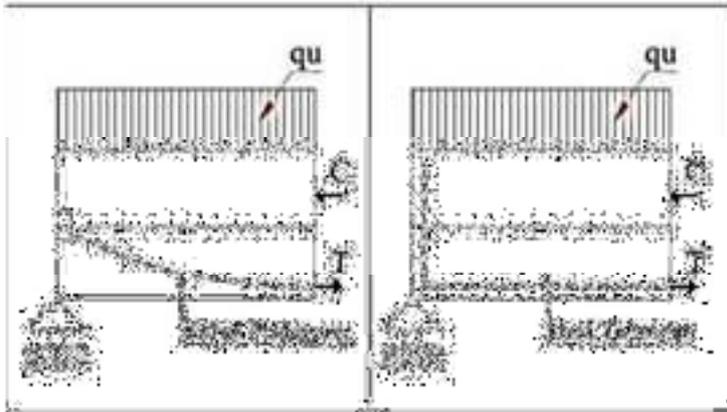
Sumber : Ir. Soetoyo (2015)

Dimana : F/A adalah Tegangan akibat Gaya Prategang,
 $-F.e.y/I$ adalah Tegangan akibat Momen eksentris,
 $+Mn.y/I$ adalah Tegangan akibat Momen Luar,
 σ / adalah Hasil jumlah 3 tegangan tersebut.

2. Konsep Kedua

“Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.”

Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang biasa, yaitu beton prategang merupakan kombinasi kerjasama antara baja prategang dan beton, dimana beton menahan beban tekan dan baja prategang menahan beban tarik. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Momen penahan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang

Sumber : Ir. Soetoyo (2015)

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang T yang mana membentuk suatu kopel momen dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar.

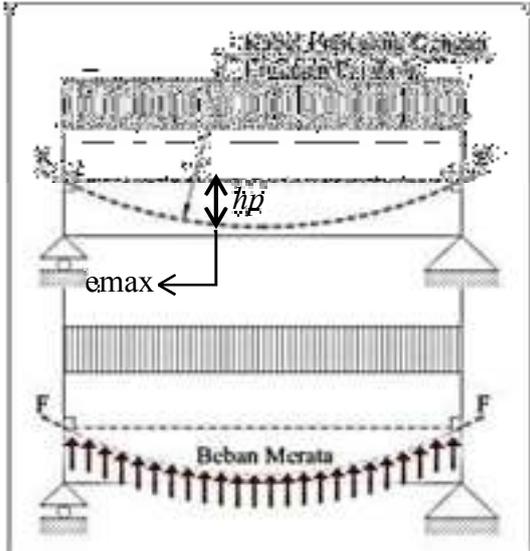
Sedangkan pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik T akibat beban luar yang juga membentuk kopel momen dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen luar akibat beban luar.

3. Konsep Ketiga

“Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban”

Disini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada design struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti plat, balok dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.6 Balok prategang dengan tendon parabola

Sumber : Ir. Soetoyo (2015)

Suatu balok beton diatas dua perletakan (*simple beam*) yang diberi gaya prategang F melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan :

$$W = \frac{F}{L} \frac{hp^2}{2} \quad (2.11)$$

dimana : W_B : beban merata akibat gaya prategang (Kg/cm) hp : tinggi parabola lintasan kabel prategang (cm) L : bentangan balok (cm)

F : gaya prategang (kg)

Jadi beban merata akibat beban (mengarah kebawah) diimbangi oleh gaya merataakibat prategang W_b yang mengarah keatas. Inilah tiga konsep dari beton prategang, yang nantinya dipergunakan untuk menganalisa suatu struktur beton prategang.

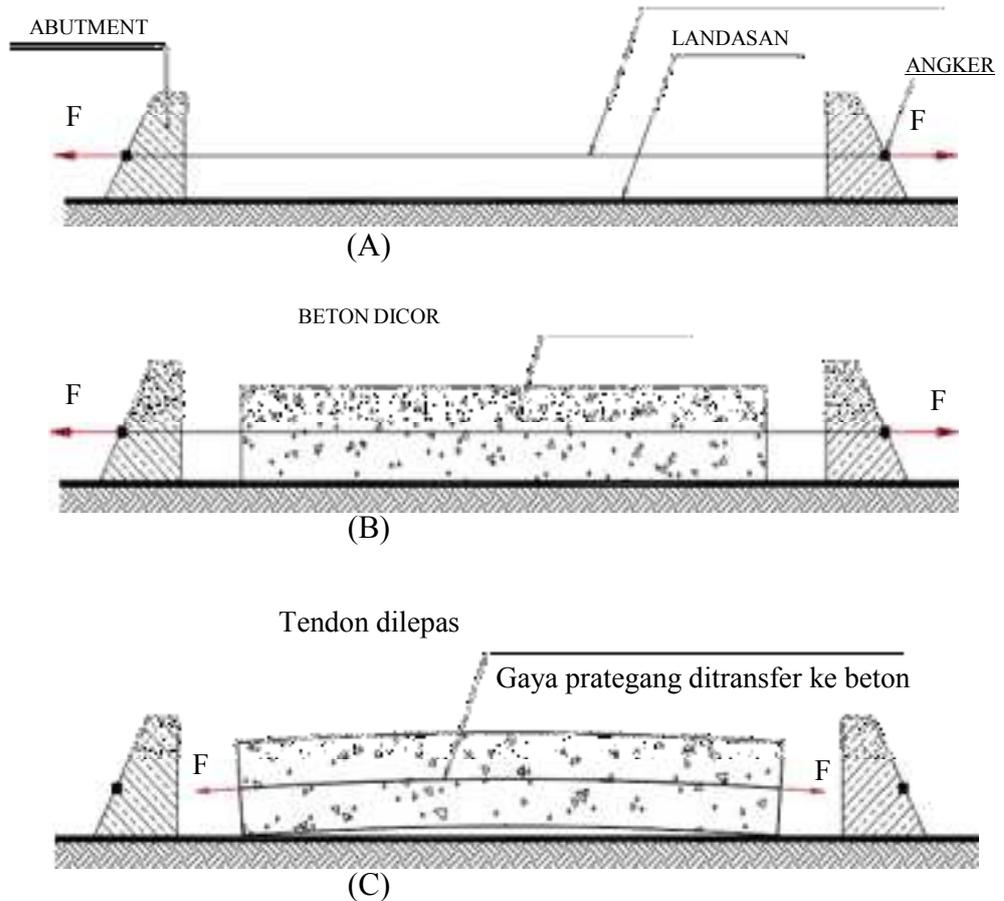
2.2.4. Metode Prategangan

Pada dasarnya ada 2 macam metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu:

1. Pratarik (*Pretension Method*)

Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut pretension method. Adapun prinsip dari pratarik ini secara singkat adalah sebagai berikut :

KABEL (TENDON) PRATEGANG



Gambar 2.7 Pratarik (*Pretension Method*)

Sumber : Ir. Soetoyo (2015)

Keterangan Gambar 2.7 :

- A. Kabel (Tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap.

- B. Beton dicor pada cetakan dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering.
- C. Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

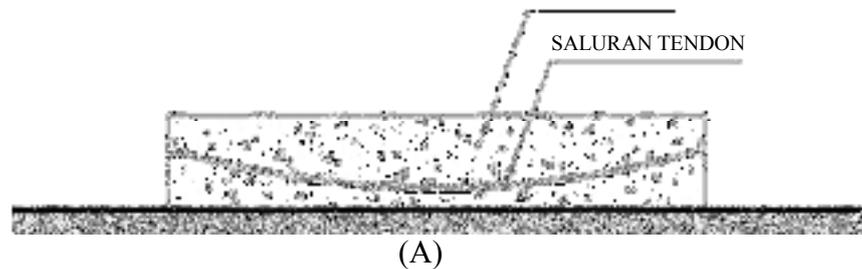
Setelah gaya prategang ditransfer kebeton. Beton akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut akan rata.

2. Pascatarik (*Post-tension Method*)

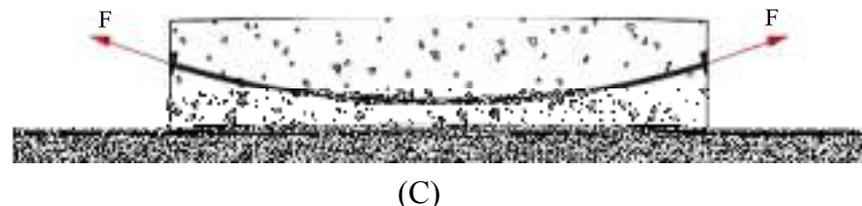
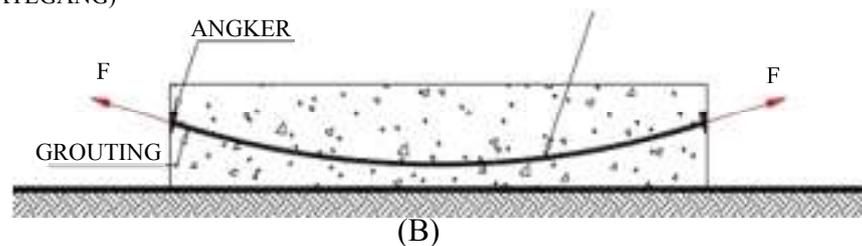
Pada metode pascatarik, beton dicor terlebih dahulu, dimanasebelumnya telah disiapkan saluran kabel yang disebut duct.

Secara singkat methode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

BETON DICOR



TENDON (KABEL PRATEGANG)



Gambar 2.8 Pascatarik (*Post-tension Method*)

Sumber : Ir. Soetoyo (2015)

Keterangan Gambar 2.8 :

- A. Dengan cetakan yang telah disediakan lengkap dengan saluran / selongsong kabel prategang (*duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor.
- B. Setelah beton cukup umur dan kuat menahan gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (*duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik di kedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangker, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan.
- C. Setelah diangker, beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang yang diberikan tendon kepada balok mengarah ke atas, akibatnya balok melengkung ke atas.

Karena alasan transportasi dari pabrik beton ke site, maka biasanya beton prategang dengan sistem *post-tension* ini dilaksanakan secara segmental (balok dibagi-bagi, misalnya dengan panjang 1 - 1,5 meter), kemudian pemberian gaya prategang dilaksanakan di site, setelah balok segmental tersebut dirangkai.

2.2.5. Tahap Pembebanan

Tidak seperti pada perencanaan beton bertulang biasa. Pada perencanaan beton prategang ada dua tahap pembebanan yang harus dianalisa. Pada setiap tahap pembebanan harus selalu diadakan pengecekan atas kondisi pada bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik untuk setiap penampang.

Dua tahap pembebanan pada beton prategang adalah tahap transfer dan tahap service (*Layan*).

1. Tahap Transfer

Untuk metode pratarik, tahap transfer ini terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang.

Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan, sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, jadi beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

2. Tahap Service

Setelah beton prategang digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ke tahap service, atau tahaplaya dari beton prategang tersebut. Pada tahap ini beban luar seperti live load, angin, gempa dll. mulai bekerja, sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan didalam analisa strukturnya.

Pada setiap tahap pembebanan pada beton prategang harus selalu dianalisis terhadap kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan ijin, nilai retak terhadap nilai batas yang diijinkan. Perhitungan untuk tegangan dapat dilakukan dengan pendekatan kombinasi pembebanan, konsep kopel internal (*internal couple concept*) atau metode beban penyeimbang (*load balancing method*).

2.2.6. Material Pembuatan Beton Prategang

1. Beton Mutu Tinggi

Beton adalah campuran dari semen, agregat kasar (split), agregat halus (pasir), air dan bahan tambahan lain. Perbandingan berat campuran beton pada umumnya semen 18%, agregat kasar 44%, agregat halus 31% dan air 7%. Setelah beberapa jam campuran tersebut dituangkan atau dicor pada acuan (formwork) yang telah disediakan, bahan-bahan tersebut akan langsung mengeras sesuai bentuk acuan (formwork) yang telah dibuat.

Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik (f'_c) pada usia 28 hari. Kuat tekan karakteristik adalah tegangan yang melampaui 95 % dari pengukuran kuat tekan uniaxial yang diambil dari tes penekanan sampel beton dengan ukuran kubus 15 x 15 cm, atau silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pada konstruksi beton prategang biasanya dipergunakan beton mutu tinggi dengan kuat tekan $f'_c = 30 - 40$ Mpa, hal ini diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada pengakuran tendon (baja prategang) agar tidak terjadi keretakan. Kuat tarik beton mempunyai harga yang jauh lebih rendah dari kuat tekannya.

2. Baja Prategang

Batang baja paduan berkekuatan tarik tinggi yang digunakan untuk pemberian prategang dapat berulir atau polos, dan tersedia dalam ukuran diameter nominal dari $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) sampai 1,375 in. (35 mm). batang-batang tersebut harus memenuhi standar ASTM A 722. Selain ditarik dalam kondisi dingin dengan maksud meningkatkan kuat leleh, batang prategang juga dilepaskan tegangannya (stress relieved) untuk meningkatkan daktilitasnya. Pelepasan tegangan ini dilakukan dengan memanaskan batang tersebut hingga temperature yang layak, biasanya dibawah 500°C . meskipun proses pelepasan tegangan untuk batang dan strand pada dasarnya sama, kuat tarik batang prategang harus sedikitnya

150.00 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85% dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80% untuk batang ulir (Edward G. Nawy, 2001).

Didalam penggunaan baja prategang (tendon) yang digunakan ada 3 (tiga) macam, yaitu :

i. Kawat tunggal (*wire*)

Kawat tunggal ini biasanya digunakan dalam beton prategang dengan sistem pra-tarik (*Pretension method*).

ii. Untaian kawat (*Strand*)

Untaian kawat ini biasanya digunakan dalam beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension method*).

iii. Kawat batangan (*Bar*)

Kawat batangan ini biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pra-tarik (*Pretension method*)

Selain baja prategang diatas, beton prategang masih memerlukan penulangan biasa yang tidak diberi gaya prategang, seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengangkuran dan lain-lain.

Jenis-jenis lain tendon yang sering digunakan untuk beton prategang pada sistem *pretension* adalah *seven-wire* dan *single-wire*. Untuk *Seven-wire* ini, terdapat satu bandel kawat yang terdiri dari 7 buah kawat, sedangkan *single-wire* terdiri dari kawat tunggal.

Sedangkan untuk beton prategang dengan sistem *Post-tension* sering digunakan tendon *monostrand*, batang tunggal, *multi-wire* dan *multi-strand*. Untuk jenis *post-tension method* ini tendon dapat bersifat *bonded* (dimana saluran kabel diisi dengan material *grouting*) dan *unbonded* saluran kabel diisi dengan minyak gemuk atau *grease*. Tujuan utama dari *grouting* ini adalah untuk :

- i. Melindungi tendon dari korosi
- ii. Mengembangkan lekatan antara baja prategang dengan beton sekitarnya.

Material *grouting* ini biasanya terdiri dari campuran semen dan air dengan w/c ratio 0,5 dan admixe (*water reducing* dan *expansive agent*).

Tabel 2.3 Kawat-kawat untuk Beton Prategang

Diameter nominal (in.)	Kuat tarik minimum (psi)		Tegangan minimum pada ekstensi 1% (psi)	
	Tipe BA	Tipe WA	Tipe BA	Tipe WA
0,192	-	250.000	-	212.500

0,196	240.000	250.000	204.000	212.500
0,250	240.000	240.000	204.000	204.000
0,276	235.000	235.000	199.750	199.750

Sumber : Post-tensioning Institute

Tabel 2.4 *Strand* Standart Tujuh kawat untuk Beton Prategang

Diameter nominal strand (in.)	Kuat patah strand (min. lb)	Luas baja nominal strand (in. ²)	Berat nominal strand (lb/1000 ft)	Beban minimum pada ekstensi 1% (lb)
MUTU 250				
1/4(0,250)	9000	0,036	122	7650
5/16(0,313)	14500	0,058	197	12300
3/8(0,375)	20000	0,08	272	17000
7/16(0,438)	27000	0,108	367	23000
1/2(0,500)	36000	0,144	490	30600
3/5(0,600)	54000	0,216	737	45900
MUTU 270				
3/8(0,375)	23000	0,085	290	19550
7/16(0,438)	31000	0,115	390	26350
1/2(0,500)	41300	0,153	520	35100
3/5(0,600)	58600	0,217	740	49800

*100.000 psi = 689,5 Mpa

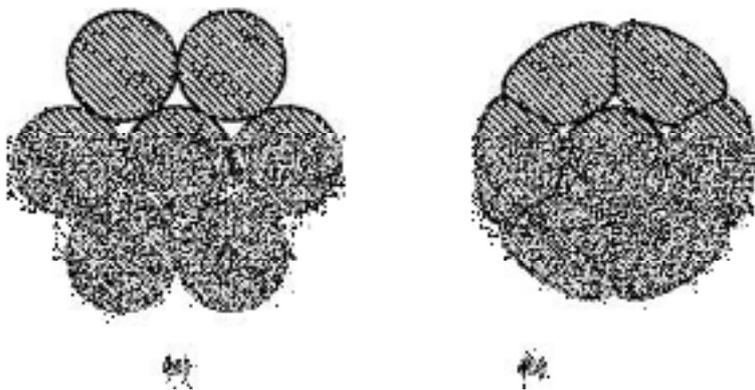
0,1 in = 2,54 mm, 1 in.² = 645 mm²

Berat: kalikan dengan 1,49 untuk mendapatkan berat dalam Kg per 1000 m/1000 lb

= 4448 N

Sumber : Post-tensioning Institute

Untuk sistem pasca-tarik, banyak menggunakan kawat, yang digabungkan secara parallel menjadi kabel. Strand dibuat di pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama, sehingga mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada operasi penarikan.



Gambar 2. 9 *Strands* 7 kawat standard dan dipadatkan. (a) Penampang standard (b) Penampang dipadatkan

Sumber : Edward G. Nawy (2001)

Untaian kawat (strand) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan Spesifikasi ASTM A-416 yang mempunyai kekuatan batas 1720 MPa dan 1860 MPa (Tabel 2.5). Sejak tahun 1962, baja yang lebih kuat yang dikenal sebagai derajat 1860 MPa telah diproduksi oleh berbagai perusahaan. Untuk ukuran nominal yang sama, derajat 1860 MPa mempunyai luas baja yang lebih besar daripada ASTM A-416 derajat 1720MPa dan 15% lebih kuat.

Tabel 2.5 Sifat-sifat Strand Stress-Relieved dengan Tujuh-Kawat Untaian Tanpa Lapisan (ASTM-416).

Diameter Nominal mm	Kekuatan Putus KN	Luas Nominal Strand mm ³	Beban Minimum pada Pemuaian 1% KN
<i>Derajat 1720 Mpa</i>			
6,35	40	23,22	34
7,94	64,5	37,42	54,7
9,53	89	51,61	75,6
11,11	120,1	69,68	10,3
12,7	160,1	92,9	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2

<i>Derajat 1860 Mpa</i>			
9,53	102,3	54,84	87
11,11	137,9	74,19	117,2
12,7	183,7	98,71	156,1
15,24	260,7	140	221,5

Sumber : T. Y. Lin dan Ned H. Burns (1988)

2.2.7. Perencanaan Beton Prategang

Ada 2 (dua) metode perencanaan beton prategang, yaitu:

1. *Working stress method* (metode beban kerja)

Dengan menghitung tegangan yang terjadi akibat pembebanan (tanpa dikalikan dengan faktor beban) dan membandingkan dengan tegangan yang diijinkan. tegangan yang diijinkan dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*overstress factor*) dan jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan tersebut, maka struktur dinyatakan aman.

2. *Limit state method* (metode beban batas)

Metode ini didasarkan pada batas-batas tertentu yang dapat di lampau oleh suatu sistem struktur. Batas-batas ini ditetapkan terutama terhadap kekuatan, kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap beban, api, kelelahan dan persyaratan-persyaratan khusus yang berhubungan dengan penggunaan struktur tersebut.

Dalam menghitung beban rencana maka beban harus dikalikan dengan faktor beban (*load factor*), sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan (*reduction factor*).

Tahap batas (*limit state*) adalah suatu batas tidak diinginkan yang berhubungan dengan kemungkinan kegagalan struktur.

Kombinasi pembebanan untuk tahap batas kekuatan (*strength limit state*) adalah :

Berdasarkan SNI 03-2874-2002

$$1. U = 1,4 D \quad (2.12)$$

$$2. U = 1,2 D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.13)$$

$$3. U = 1,2 D + 1,0L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.14)$$

$$4. U = 0,9 D \pm 1,6L \quad (2.15)$$

$$5. U = 1,2 D + 1,0L \pm 1,0 E \quad (2.16)$$

$$6. U = 0,9 D \pm E \quad (2.17)$$

dimana : $U =$ Kuat perlu

$D =$ *Dead Load* (Beban Mati)

$L =$ *Live Load* (Beban Hidup)

$A =$ Beban Atap

$R =$ Beban Air Hujan

$W =$ Beban Angin

$E =$ Beban Gempa

Perencanaan struktur untuk tahap batas kekuatan (*strength limit state*), menetapkan bahwa aksi desain (R_u) harus lebih kecil dari kapasitas bahandikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ .

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.18)$$

dimana : $R_u =$ aksi desain

$R_n =$ kapasitas bahan $\phi =$ faktor reduksi

Sehingga untuk aksi desain, momen, geser, puntir dan gaya aksial berlaku: $M_u \leq \phi M_n$;

$V_u \leq \phi V_n$; $T_u \leq \phi T_n$;

$$P_u \leq \phi P_n$$

Harga-harga M_u , V_u , T_u dan P_u diperoleh dari kombinasi pembebanan yang paling maksimum, sedangkan M_n , V_n , T_n , dan P_n adalah kapasitas penampang terhadap momen, geser, puntir dan gaya aksial.

Faktor reduksi kekuatan menurut SNI 03-2874-2002 untuk ;

- | | |
|--|---------------|
| 1. Lentur tanpa gaya aksial | $\phi = 0,8$ |
| 2. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur | $\phi = 0,8$ |
| 3. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur : | |
| a. tulangan spiral | $\phi = 0,7$ |
| b. tulangan sengkang | $\phi = 0,65$ |
| 4. Gaya geser dan puntir | $\phi = 0,75$ |

Desain untuk tahap batas kemampuan layan (*serviceability limit state*) harus diperhitungkan sampai batas lendutan, batas retakan atau batasan-batasan yang lain. Untuk batas kekuatan lentur (*bending stress limit*), suatu komponen struktur dianalisa dari tahap awal (beban layan) sampai tahap batas (beban batas). Sedangkan untuk geser dan puntir, analisa dilakukan pada suatu tahap batas saja, karena pada geser dan puntir batas dari kedua tahap tersebut tidak sejelas pada analisa lentur.

Untuk batas kekuatan lentur (*bending stress limit*), suatu komponen struktur dianalisis dari tahap awal (beban layan) sampai tahap batas (*ultimate load*). Sedangkan untuk geser dan puntir, analisis dilakukan pada suatu tahap batas saja, karena pada geser dan puntir batas dari kedua tahap tersebut tidak sejelas pada analisis lentur.

Karena kekuatan beton prategang sangat tergantung pada tingkat penegangan (besarnya gaya prategang) maka dikenal istilah prategang penuh (*fully prestressed*) dan prategang sebagian (*partially prestressed*).

Untuk komponen-komponen struktur dari beton prategang penuh, maka komponen tersebut direncanakan untuk tidak mengalami retak pada

beban layan, jadi pada komponen tersebut ditetapkan tegangan tarik yang terjadi adalah nol ($\sigma_{tt} = \sigma_{ts} = 0$).

Dimana :

σ_{tt} : Tegangan tarik ijin pada saat transfer gaya prategang

σ_{ts} : Tegangan tarik ijin pada saat servis

Untuk komponen struktur yang direncanakan sebagai beton prategang sebagian, maka komponen tersebut dapat didesain untuk mengalami retak pada beban layan dengan batasan tegangan tarik pada saat layan diperbolehkan maksimum :

$$\sigma_{ts} = 0,50 \sqrt{f'_c} \quad \text{---} \quad (2.19)$$

dimana :

f'_c = Kuat Tekan Beton (Kg/cm^2)

Oleh karena itu konstruksi beton prategang harus didesain sedemikian sehingga mempunyai kekuatan yang cukup dan mempunyai kemampuan layan yang sesuai kebutuhan. Disamping itu konstruksi harus awet, tahan terhadap api, tahan terhadap kelelahan (untuk beban yang berulang-ulang dan berubah-ubah), dan memenuhi persyaratan lain yang berhubungan dengan kegunaannya.

Perhitungan tegangan pada beton prategang harus memperhitungkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Kondisi pada saat transfer gaya prategang awal dengan beban terbatas (beban hidup dan beban konstruksi).
- b. Kehilangan gaya prategang. Untuk perhitungan awal kehilangan gaya prategang ini biasanya ditentukan 25% untuk sistem pratarik (*pretension*) dan 20% untuk sistem pascatarik (*post-tension*).
- c. Pada kondisi servis dengan gaya prategang efektif (sudah diperhitungkan kehilangan gaya prategangnya) dan beban maksimum (beban mati, beban hidup dan pengaruh-pengaruh lain).

- d. Perlu diperhitungkan pengaruh-pengaruh lain yang mempengaruhi struktur beton prategang seperti adanya pengaruh sekunder pada struktur statis tak tentu, pengaruh P delta pada gedung bertingkat tinggi, serta perilaku struktur dari awal sampai waktu yang ditentukan.

Tegangan-tegangan yang diijinkan beton untuk struktur lentur SNI 03 – 2874 – 2002

- a. Tegangan sesaat setelah penyaluran gaya prategang dan sebelum terjadinya kehilangan gaya prategang sebagai fungsi waktu, tidak boleh melampaui :

- i. Tegangan tekan serat terluar : $0,60 f'ci$ (2.20)

- ii. Tegangan tarik serat terluar : $0,25\sqrt{\quad}$ (2.21)

- iii. Tegangan tarik serat terluar di ujung struktur diatas tumpuan : $0,50\sqrt{\quad}$ (2.22)

Apabila tegangan melampaui nilai-nilai tersebut diatas, maka harus dipasang tulangan extra (non prategang atau prategang) untuk memikul gaya tarik total beton yang dihitung berdasarkan asumsi penampang penuh sebelum retak.

- b. Tegangan pada saat kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang yang mungkin terjadi), tidak boleh melampaui :

- i. Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup tetap : $0,45 f'c$ (2.23)

- ii. Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup total : $0,60 f'c$ (2.24)

- iii. Tegangan tarik serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekanan : $0,50\sqrt{\quad}$ (2.25)

Dari uraian-uraian diatas, pada prinsipnya konsep beton prategang dan beton bertulang biasa adalah sama, yaitu sama-sama dipasangnya tulangan pada daerah-daerah dimana akan terjadi tegangan tarik. Bedanya

pada beton bertulang biasa, tulangan akan memikul tegangan tarik akibat beban, sedangkan pada beton prategang tulangan yang berupa kabel prategang (tendon) ditarik lebih dahulu sebelum bekerjanya beban luar. Penarikan kabel ini menyebabkan tertekannya beton, sehingga beton menjadi mampu menahan beban yang lebih tinggi sebelum retak.

Pada dasarnya elemen struktur beton prategang akan mengalami keretakan pada beban yang lebih tinggi dari beban yang dibutuhkan untuk meretakan elemen struktur dari beton bertulang biasa. Demikian pula dengan lendutan, untuk beton prategang lendutannya relatif lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang biasa, oleh karena itu konstruksi beton prategang itu banyak dipergunakan untuk bentangan-bentangan yang panjang.

2.2.8. Perbandingan Studi Literatur dengan Jurnal Penelitian Lainnya

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menilai dan melakukan perbandingan antara studi literatur yang dibuat penulis dengan ketiga data penelitian jurnal yang didapat penulis melalui internet.

Didalam jurnal Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado yang berjudul "Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang". Vol.6 No.2 Februari 2018 (67-74) oleh Armin H. Manalip, Banu Dwi Handono, bahwa tujuan penelitian tersebut adalah untuk mendapatkan dimensi penampang girder profil I prestressed yang optimal sesuai perubahan panjang balok untuk masing-masing bentang. Berdasarkan hasil analisa yang didapat bahwa grafik hubungan antara tinggi girder profil I prestressed dan panjang bentang jembatan untuk bentang 20 m sampai 40 m cenderung linear.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

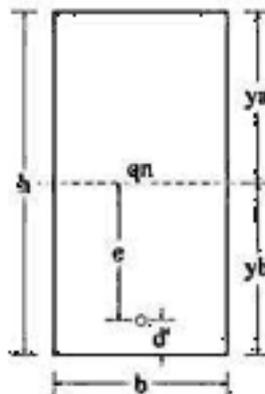
3.1 Studi Literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam hubungan bentang dan gaya prategang dengan nilai tegangan pada serat bawah nol ($f'_b = 0$). Dengan menggunakan jurnal dan buku yang berkaitan dengan konsep beton prategang dan metode pengerjaan yang mampu diaplikasikan pada struktur beton prategang.

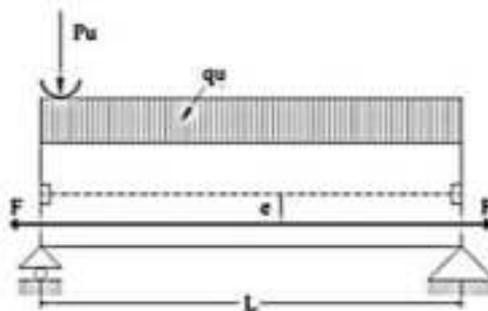
3.2 Penetapan Data

3.2.1. Data Studi Literatur

Pemodelan yang digunakan ialah balok beton prategang yang memiliki penampang persegi panjang dengan dimensi penampang ialah $h = L/20$ dan $b = h/2$ serta memiliki panjang bentang yang berbeda-beda. Jarak tendon yang digunakan ialah $e = y_b - d'$, dengan nilai $y_b = h/2$ sebagai berikut :



Gambar 3.1 Model penampang yang akan ditinjau



Gambar 3.2 Bentang balok yang akan ditinjau

Tabel 3.1 Data penampang yang akan ditinjau

No	Panjang Bentang (cm)	h (cm)	b (cm)	yb (cm)	e (cm)
1	1200	60	30	30	20
2	1600	80	40	40	30
3	1800	90	45	45	35
4	2000	100	50	50	40
5	2400	120	60	60	50
6	2800	140	70	70	60
7	3200	160	80	80	70

3.2.2. Data Beban

Beban yang diterapkan ialah beban hidup bergerak terpusat sebesar 18000 Kg dan beban mati merata sebesar Q_d yaitu luas penampang dikalikan berat isi beton serta beban hidup merata sebesar 450 kg/m^3 .

3.3 Dasar Perencanaan Analisa Perhitungan

Pada studi literatur ini, perencanaan yang digunakan dalam menganalisa gaya prategang mencakup seluruh rumusan yang akan digunakan pada tugas akhir ini.

3.3.1. Lendutan Balok

Untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada balok yang akan ditinjau maka dihitunglah besarnya lendutan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

a. Analisis Bentuk Penampang

$$1) \text{ Luas (A)} = b \times h \quad (3.1)$$

$$2) \text{ Momen Inersia (I)} = \frac{1}{12} b \times h^3 \quad (3.2)$$

$$3) \text{ Modulus Elastisitas (E)} = 4700 \sqrt{\quad} \quad (3.3)$$

b. Menghitung lendutan terhadap beban mati ultimate

1) Beban Mati (q_d)

$$q_d = \text{luas penampang (A)} \times \text{berat isi beton ()} \quad (3.4)$$

2) Beban Mati Ultimate

$$q_{ud} = 1,2 q_d \quad (3.5)$$

3) Lendutan Beban Mati ultimate

$$Y_{qd} = \frac{q_d L^4}{8 E I} \quad (3.6)$$

c. Menghitung lendutan terhadap beban merata ultimate

1) Beban Mati (q_d)

$$q_d = \text{luas penampang } (A) \times \text{berat isi beton } (\gamma_c) \quad (3.7)$$

2) Beban Merata Ultimate

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l \quad (3.8)$$

3) Lendutan Beban Merata Ultimate

$$Y_q = \frac{q_u L^4}{8 E I} \quad (3.9)$$

d. Menghitung lendutan terhadap beban terpusat ultimate

1) Beban Terpusat ultimate

$$P = 18 \text{ Ton} = 18000 \text{ Kg}$$

$$P_u = 1,6 \times P \quad (3.10)$$

$$P_u = 1,6 \times 18000 = 28.800 \text{ kg}$$

2) Lendutan Beban Terpusat Ultimate

$$Y_p = \frac{P_u L^3}{48 E I} \quad (3.11)$$

e. Menghitung lendutan total

1) Lendutan Total

$$Y = Y_q + Y_p \quad (3.12)$$

f. Menghitung lendutan ijin maksimum

1) Lendutan Ijin Maksimum

$$Y_i = L/250 \quad (3.13)$$

3.3.2. Beton Prategang

Untuk mengetahui besarnya gaya prategang yang terjadi pada balok yang akan ditinjau maka digunakan rumus- rumus sebagai berikut :

a. Tegangan Ijin

Tegangan ijin yang dipakai dalam menghitung penampang balok beton prategang, yaitu kondisi beban layan. Berdasarkan SNI 03-2874- 2002, tidak boleh melampaui tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup total yaitu $0,60 f'c$.

b. Analisis Bentuk Penampang

Dari bentuk penampang yang dihitung, analisis yang dilakukan berupa menghitung luas, momen inersia dan menghitung momen perlawanan pada balok.

Rumus :

$$1) \text{ Luas (A)} = b \times h \quad (3.14)$$

$$1) \text{ Momen Inersia (I)} = \frac{1}{12} b \times h^3 \quad (3.15)$$

$$2) \text{ Jarak serat ke tendon (y)} = - h \quad (3.16)$$

$$3) \text{ Momen perlawanan (W)} = W_a = W_b = \frac{I}{y} \quad (3.17)$$

c. Menghitung Momen

Dalam menghitung momen ultimate, analisa yang dilakukan berupa mencari nilai beban sendiri, momen akibat beban mati, momen beban hidup, momen total akibat beban mati dan beban hidup serta mencari nilai momen nominal yang dapat dipikul balok.

1) Beban mati (berat sendiri balok) :

$$q_d = \text{luas penampang (A)} \times \text{berat isi beton (} \rho \text{)} \quad (3.14)$$

2) Menghitung momen pada balok :

a) Momen akibat beban mati

$$M_d = \frac{1}{8} q_d \times L^2 \quad (3.15)$$

b) Momen akibat beban hidup

$$Ml = x P x L + -x q_L x L^2 \quad (3.16)$$

c) Momen maksimum akibat Beban Mati dan Beban Hidup

$$Mu = 1,2 Md + 1,6 Ml \quad (3.17)$$

d) Momen nominal yang dapat dipikul penampang

$$Mn = \quad / \quad , \text{dimana : } \phi = 0,85 \quad (3.18)$$

d. Perhitungan Tegangan Beton pada serat atas dan bawah

Setelah nilai momen akibat pembebanan diperoleh, maka digunakanlah hasil momen tersebut untuk menghitung nilai tegangan pada serat atas dan bawah, rumus sebagai berikut :

1) Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f^b = \quad - \quad - \quad - \quad (3.19)$$

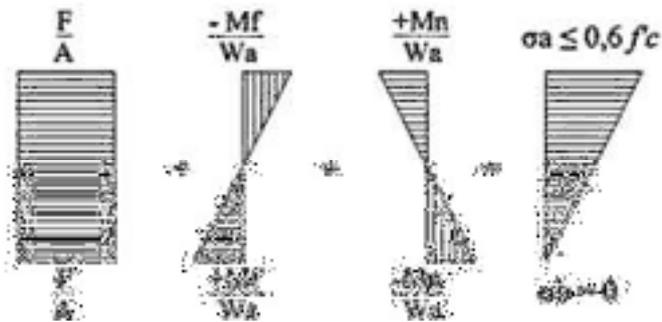
2) Tegangan tarik pada serat atas balok :

$$f^a = \leq 0,6 f^c \quad (3.20)$$

dimana :

$$\text{Momen akibat gaya prategang (Mf)} = F x e \quad (3.21)$$

Sehingga, tegangan yang akan terjadi sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram tegangan dengan $f^b = 0$

e. Analisa Perhitungan Beton Prategang

Setelah nilai tegangan diperoleh melalui perhitungan manual maka digunakan microsoft excel untuk memudahkan dalam menganalisa hasil perhitungan tegangan. Bentuk formulasi yang digunakan berdasarkan

rumus yang ada untuk menghitung besar tegangan yang terjadi. Desain dari analisa perhitungan tegangan harus berdasarkan tetapan data yang ada dan rumus yang berlaku.

f. Pembuatan Tabel

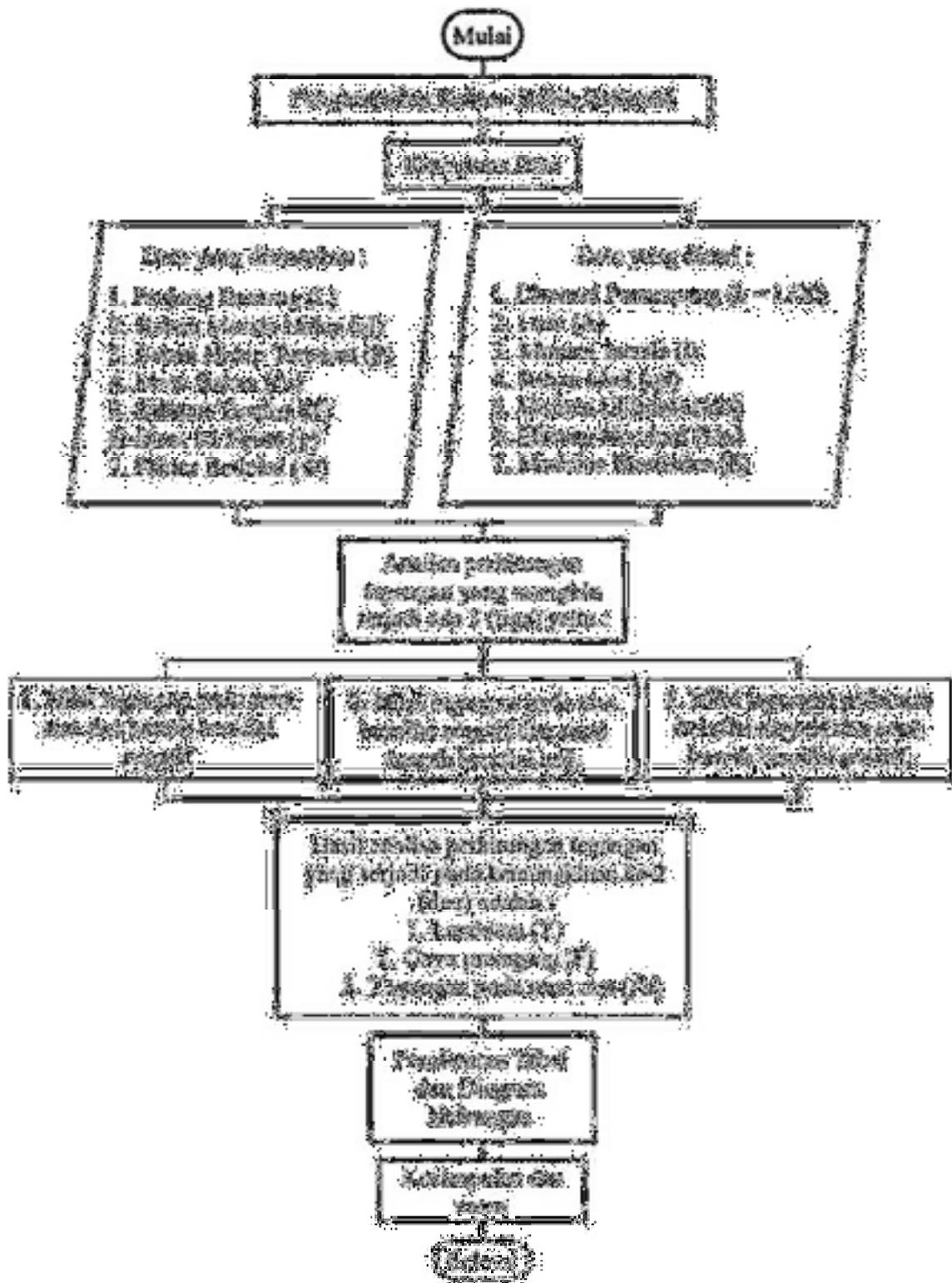
Setelah hasil analisa perhitungan didapat pada beberapa bentang yang ditinjau maka untuk mendapatkan hasil perhitungan pada bentang lainnya, digunakanlah aplikasi *Microsoft Excel* dengan menggunakan rumus yang sama pada perhitungan manual.

g. Pembuatan Diagram

Setelah dilakukan perhitungan manual, dan analisa perhitungan disederhanakan dalam aplikasi *Microsoft Excel*, maka didapatlah hasil perhitungan dalam bentuk tabel. Oleh karena itu, dibuatlah gambar diagram hubungan antara panjang bentang dengan lendutan yang terjadi, antara panjang bentang dengan beban mati dan antara panjang bentang dengan gaya prategang.

3.4 Diagram Alir

Berdasarkan uraian yang diberikan pada sub-bab 3.1 sampai 3.3 maka dapat disederhanakan metodologi penelitian dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 3.4 Diagram Alir Studi Literatur

