

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Fly Over

Fly over atau jalan layang adalah jalan yang dibangun tidak sebidang melayang untuk menghindari daerah / kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas atau melewati persilangan kereta api untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan efisiensi, mengatasi hambatan karena konflik dipersimpangan, melalui kawasan kumuh yang sulit ataupun melalui rawa-rawa.

2.2 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi bahan untuk beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* dipengaruhi oleh dimensi elemen struktur, dan beban yang diterima oleh struktur tersebut. Oleh karena itu spesifikasi bahan beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan dan yang dapat mempermudah proses pelaksanaan.

Berikut spesifikasi bahan untuk setiap elemen struktur :

A. Konstruksi atas

1. Dinding sandaran

Dinding sandaran direncanakan menggunakan beton dengan pelat sandaran dari baja dan pipa sandaran. Untuk spesifikasinya adalah sebagai berikut :

a. Mutu beton : $f'c = 29,05$ MPa

b. Mutu baja : $f_y = 390$ MPa

Pipa baja yang digunakan $\varnothing 76,3$ mm, tebal 2,8 mm menggunakan BJ 37.

2. Pelat lantai *fly over*

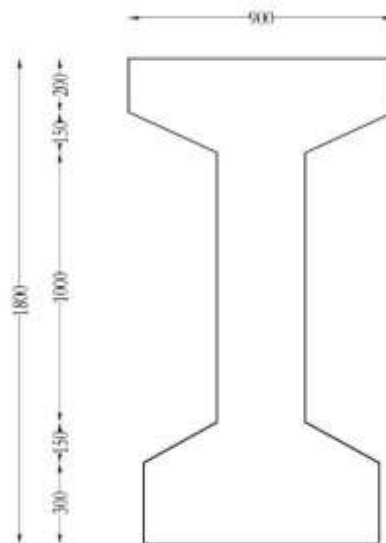
a. Mutu beton : $f'c = 29,05$ MPa

b. Mutu baja : $f_y = 390$ MPa

3. Balok prategang

Balok prategang yang digunakan adalah balok prategang sistem pasca tarik (*post tensioning*). Dimensi balok prategang yang digunakan adalah tinggi 160 cm, panjang 500 m, dengan mutu beton $f'c = 50$ MPa. Kuat tarik ulur baja prestress 19.000 kg/cm^2 dan $f_y = 390$ MPa. Untuk penegangan balok prategang digunakan tendon yang berdiameter selubung = 8 cm.

Spesifikasi dimensi tersebut seperti terlihat pada Gambar 5.3 berikut :



Gambar 2.1. Penampang Balok Prategang

4. Diafragma dan *deck slab*

Diafragma dan *deck slab* yang digunakan adalah mutu beton $f'c = 29,05$ MPa dengan kuat tarik ulur baja *prestress* 18.700 kg/cm^2 .

B. Konstruksi bawah

1. Abutment

a. Mutu beton : $f'c = 29,05 \text{ MPa}$ b. Mutu baja : $f_y = 390 \text{ MPa}$

2. Pilar

a. Mutu Beton : $f'c = 29,05 \text{ Mpa}$ b. Mutu Baja : $f_y = 390 \text{ Mpa}$

3. Pondasi

a. Jenis : *Bore Pile*b. Mutu beton : $f'c = 29,05 \text{ MPa}$ c. Mutu baja : $f_y = 390 \text{ MPa}$ **2.3 Aspek Struktur Fly Over****2.3.1 Bangunan Atas**

Bangunan atas berfungsi untuk menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu-lintas dan kemudian menyalurkannya ke bangunan di bawahnya, meliputi:

1. Tiang sandaran
2. Pelat lantai Kendaraan
3. Balok prategang
4. Diafragma

2.3.2 Bangunan Bawah

Bangunan bawah berfungsi menerima atau memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas yang kemudian disalurkan ke bagian pondasi.

Yang termasuk bangunan bawah adalah :

1. Abutment

Abutment adalah bangunan yang terletak pada ujung atau pangkal *fly over*, selain untuk penahan bangunan bagian atas juga berfungsi sebagai dinding penahan tanah. Konstruksi tersebut juga dilengkapi dengan konstruksi sayap untuk menahan tanah dengan arah tegak lurus dari as jalan.

2. Pilar

Pilar adalah salah satu dari bangunan bawah *fly over* yang terletak diantara dua buah abutment yang berfungsi untuk memikul beban-beban bangunan atas dan bagian pondasi dan disebarkan ke tanah dasar yang keras (SNI 2541-2008). Pembebanan pada struktur *pier* jembatan mengacu pada (RSNIT – 02 -2005).

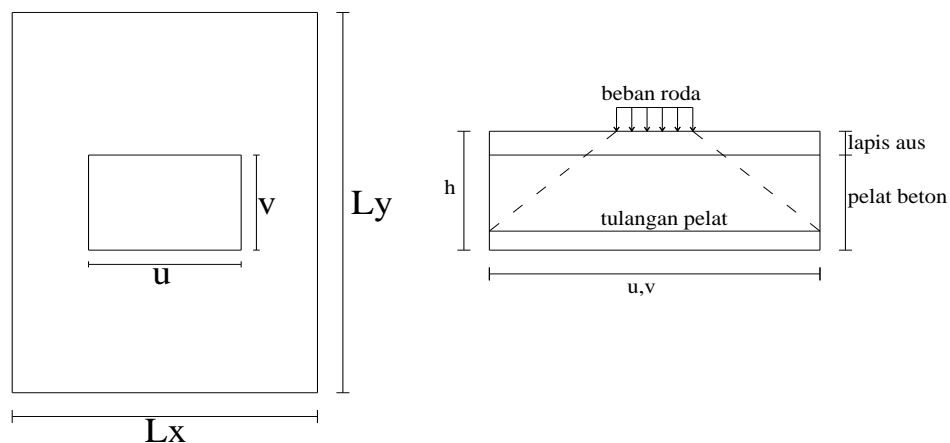
3. Pondasi

Pondasi *fly over* adalah salah satu bagian konstruksi *fly over* yang terletak pada bagian bawah yang langsung berhubungan dengan tanah. Secara umum pondasi berfungsi sebagai penerima beban dari bangunan di atasnya dan diteruskan ke lapisan tanah dasar yang telah diperhitungkan cukup kuat menerimanya.

2.4 Metode M. Pigeaud

Dalam analisis struktur dan perencanaan *fly over* yang dibebani kelompok beban terkonsentrasi, terdapat pendistribusian beban ke struktur utama *fly over*. Selain itu, pendistribusian beban tersebut masih ditambah dengan pendistribusian tegangan lokal pada pelat lantai kendaraan yang ditimbulkan oleh beban kendaraan. Distribusi tegangan ini, umumnya terbatas pada pelat lantai kendaraan saja. Untuk menyederhanakan kondisi batas dari segi analisis struktur, biasanya pelat lantai kendaraan dianggap bertumpuan sederhana yang tidak melendut, dengan memberikan suatu faktor tertentu untuk memperhitungkan kontinuitas pelat diatas tumpuannya.

Metode M. Pigeaud disusun berdasarkan penyelesaian persamaan *Lagrange* untuk pelat tipis berlendutan kecil dan berlaku untuk sembarang rasio panjang terhadap lebar pelat dan nilai rasio sisi bidang beban terhadap lebar pelat dan nilai rasio sisi pelat yang berkesesuaian. Notasi yang digunakan dalam metode ini diperlihatkan pada gambar 2.1.

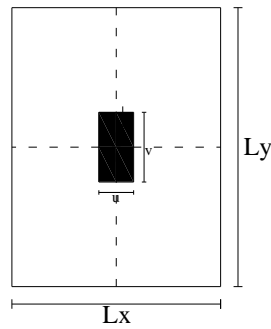


Gambar 2.2. Bidang beban roda dan penyebaran beban dalam metode M.Pigeaud

2.4.1 Kondisi Pembebanan

Untuk beban hidup berupa beban roda kendaraan terdapat beberapa kondisi letak beban diantaranya :

1. Beban terpusat berada tepat di tengah pelat



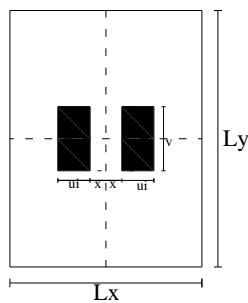
Gambar 2.3. Bidang terpusat tepat berada di tengah pelat

- a. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk u/L_x dan v/L_y .
- b. Besarnya momen rencana

$$Ml_x = P (m_1 + 0,15 m_2) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Ml_y = P (0,15 m_1 + m_2) \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Dua beban terpusat simetris terhadap sumbu pelat



Gambar 2.4. Dua beban terpusat simetris sumbu panjang pelat

- a. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2 (u_1 + x)$ dan $v = v$, lalu dikalikan dengan $(u_1 + x)$.

- b. Dicari momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2x$ dan $v = v$, kemudian dikalikan dengan (x)
- c. Harga m_1 dan m_2 didapat dari $2(u_1 + x) - 2x$
- d. Momen rencana

$$Ml_x = \frac{2P}{u_1}(m_1 + 0,15 m_2) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$Ml_y = \frac{2P}{u_1}(0,15m_1 + m_2) \dots \dots \dots (2.4)$$

2.5 Metode Statis Tertentu

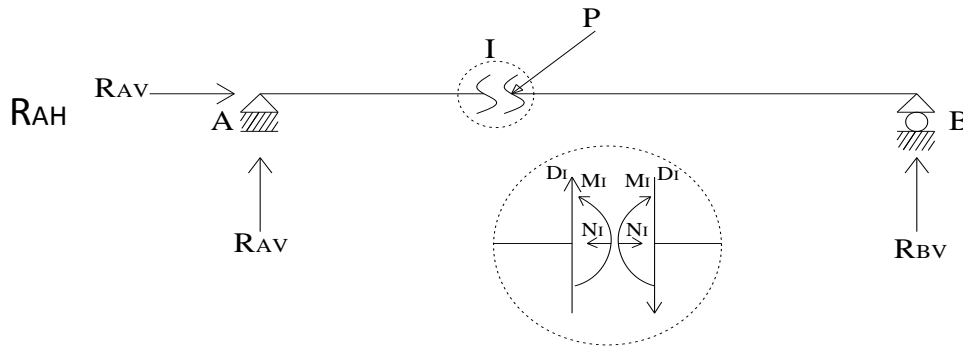
Pada mata kuliah Statika, telah dipelajari analisa struktur yang paling sederhana yaitu “Struktur Statis Tertentu”, dimana reaksi perletakan maupun gaya – gaya dalamnya (gaya lintang, gaya normal dan momen) pada struktur tersebut dapat dicari dengan persamaan keseimbangan. Adapun persamaan keseimbangan yang dimaksud ada tiga keseimbangan yaitu :

$$\sum V = 0, \quad (\text{jumlah gaya - gaya vertikal sama dengan nol})$$

$$\sum H = 0, \quad (\text{jumlah gaya - gaya horizontal sama dengan nol})$$

$$\sum M = 0, \quad (\text{jumlah momen sama dengan nol})$$

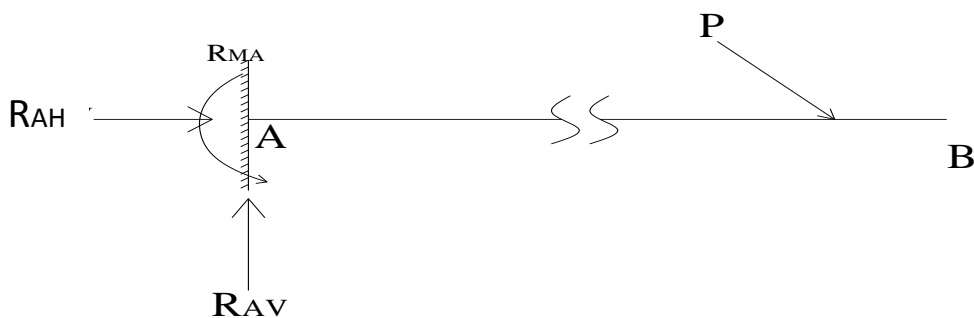
Contoh struktur statis tertentu :



Gambar 2.5. Balok diatas Dua Tumpuan

Balok diatas dua perletakan dengan beban P seperti pada gambar diatas. A perletakan sendi mempunyai dua reaksi perletakan R_{HA} dan R_{VA} yang tidak diketahui besarnya, B perletakan rol mempunyai sebuah reaksi perletakan R_{BV} yang tidak diketahui besarnya.

Jumlah reaksi perletakan yang tidak diketahui besarnya ada 3, maka dapat dicari dengan 3 persamaan keseimbangan. Sedangkan pada sebuah potongan struktur (I), ada 3 gaya dalam (N, D dan M) yang tidak diketahui besarnya, maka ketiga gaya dalam tersebut dapat dicari dengan 3 persamaan keseimbangan. Dengan demikian struktur diatas termasuk struktur statis tertentu.



Gambar 2.6. Balok Kantilever

Balok kantilever dengan perletakan jepit diberi beban seperti pada gambar diatas.

- Jumlah reaksi perletakan ada 3 (R,R,R)
- Jumlah gaya dalam potongan pada potongan ada 3 (N,D,M)

Masing - masing dapat diselesaikan dengan pertolongan 3 persamaan keseimbangan, maka struktur tersebut adalah struktur statis tertentu. Sedangkan suatu struktur disebut statis tidak tertentu jika tidak bisa diselesaikan dengan hanya pertolongan persamaan keseimbangan. Dalam syarat keseimbangan ada 3 persamaan apabila sebuah struktur yang mempunyai reaksi perletakan lebih dari 3, maka reaksi-reaksi perletakan tersebut tidak bisa dihitung hanya dengan tiga persamaan keseimbangan. Struktur tersebut dikatakan struktur statis tidak tentu.

Dengan demikian metode perhitungan statis tertentu lebih mudah di banding dengan metode statis tidak tentu. Maka dalam perencanaan struktur *fly over* ini menggunakan metode struktur statis tertentu untuk menganalisa gaya-gaya dalam pada struktur atas *fly over*.

2.6 Beton Prategang

Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan baja ditarik / ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua bahan yang berkekuatan tinggi modern, yaitu beton dan baja mutu-tinggi. Kombinasi

aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari individu kedua bahan itu sendiri. Keuntungan penggunaan struktur beton prategang antara lain :

1. Balok yang lebih ringan, langsing dan kaku.
2. Retak kecil dapat mencegah terjadinya korosi pada baja sehingga lebih tahan terhadap lingkungan yang agresif.
3. Lintasan tendon bisa diatur untuk menahan gaya lintang.
4. Penghematan maksimum dapat dicapai pada struktur bentang panjang, lebih ekonomis bila dibandingkan dengan konstruksi beton bertulang biasa dan baja.
5. Dapat digunakan untuk struktur pracetak yang dapat memberikan jaminan kualitas yang lebih baik, kemudahan dan kecepatan dalam pelaksanaan konstruksi serta biaya awal yang rendah.

Jika dibandingkan dengan kayu, beton bertulang, atau baja, penggunaan beton prategang pada struktur atas jembatan masih tergolong relatif baru. Hal ini tidak terlepas dari kemajuan teknologi bahan.

Ada tiga kosep dasar yang dipakai untuk menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang, yaitu :

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.
2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.
3. Sistem Prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

Dalam bentuk paling sederhana, balok persegi panjang yang diberikan prategang oleh sebuah tendon yang melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal. Gaya tarik prategang P pada tendon

menghasilkan gaya tekan P yang sama pada beton yang bekerja pada titik berat tendon. Pada keadaan ini gaya berada pada titik berat penampang beton. Akibat gaya prategang P , tegangan merata sebesar :

$$f = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan, P = gaya prategang efektif

f = tegangan satuan

A = luas penampang

Akan timbul pada penampang seluas A . jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang akibat M adalah :

$$f = \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan, f = tegangan satuan

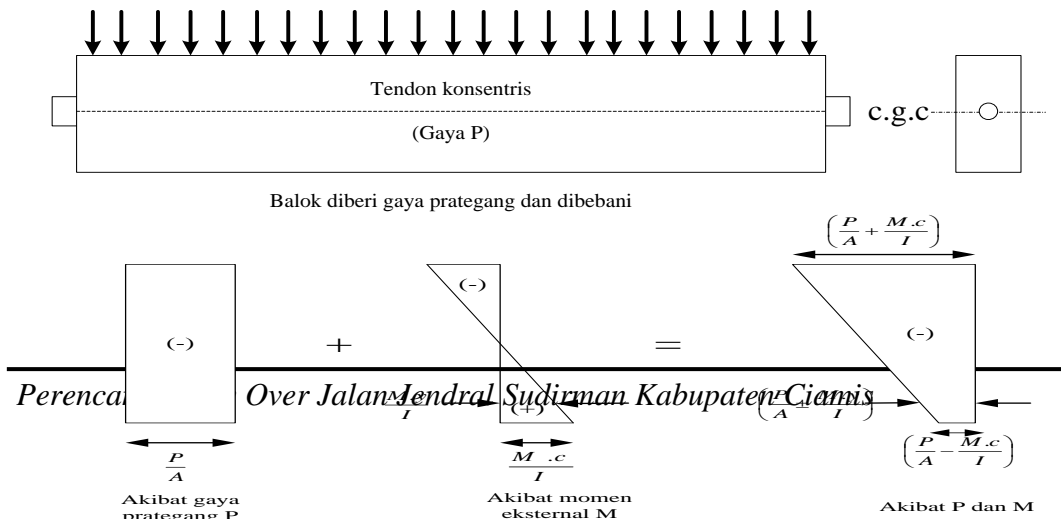
M = momen pada penampang

y = jarak dari sumbu yang melalui titik berat

I = momen inersia pada penampang

Jadi distribusi tegangan yang dihasilkan adalah

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.7. Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

Di sini gaya resultan tekan P pada beton bekerja pada titik berat tendon yang berjarak e dari c.g.c. Akibat gaya prategang yang eksentris, beton dibebani oleh momen dan beban langsung. Jika momen yang dihasilkan oleh system prategang adalah $P.e$, dan tegangan-tegangan akibat momen ini adalah :

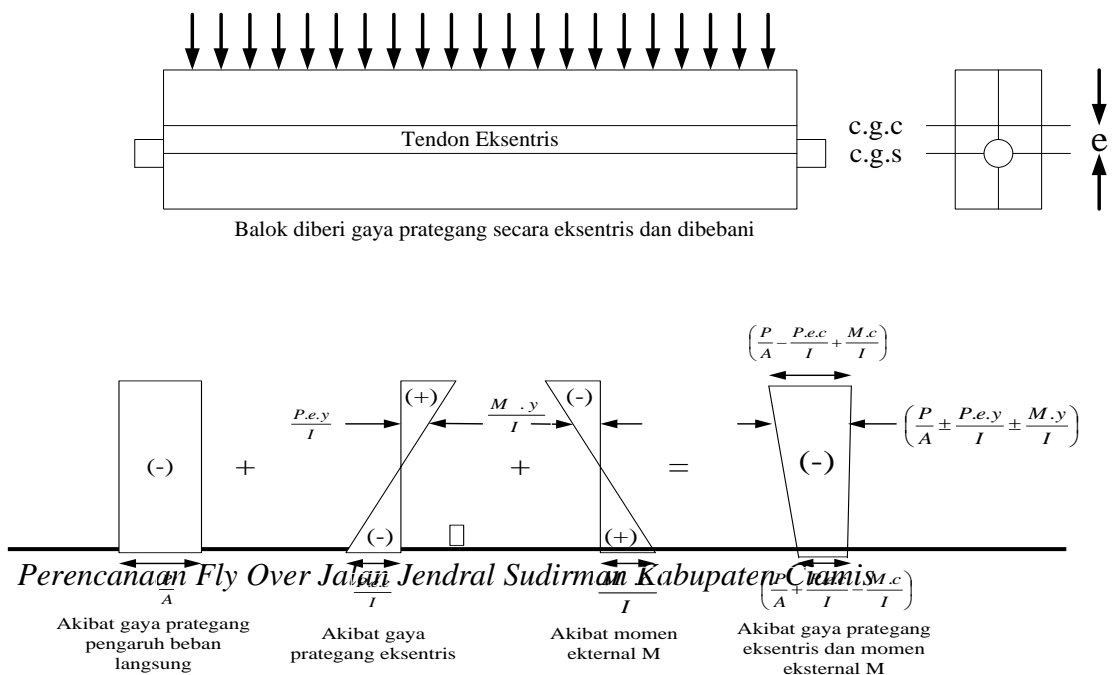
$$f = \frac{P.e.y}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan, e = eksentrisitas titik berat tendon dari c.g.c (mm)

maka, distribusi tegangan yang dihasilkan adalah :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$f = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{e}{k} \right) \pm \frac{M}{A.k} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.8. Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang
Beton Prategang Eksentris

2.6.1 Sistem Beton Prategang

Ada beberapa macam sistem beton prategang ditinjau dari berbagai segi :

1. Keadaan distribusi tegangan pada beton

Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni :

a. *Full Prestressing*

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekan pada seluruh tampang. Secara teoritis sistem ini tidak memerlukan tulangan pasif.

b. *Partial Prestressing*

Dalam memikul beban, kabel baja prategang bekerja bersama dengan tulangan pasif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih duktail.

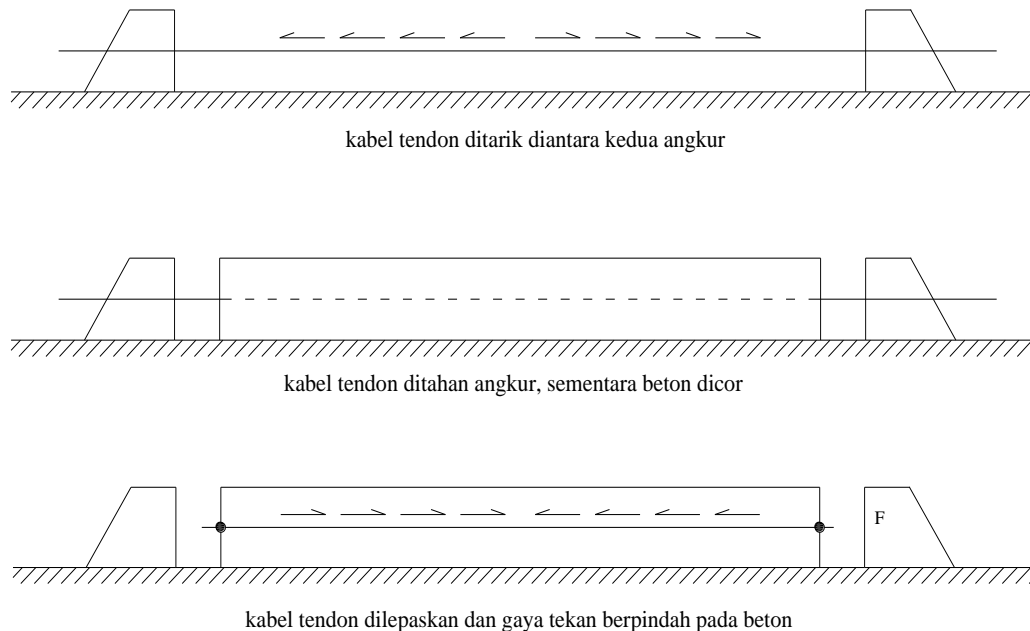
2. Keadaan distribusi tegangan pada beton

Ditinjau dari cara penarikan baja prategangnya, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni :

a. Pratarik (*Pre-Tensioning*)

Pada metode penegangan pratarik, kabel/strands prategang diberi gaya dan ditarik lebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran beton dalam

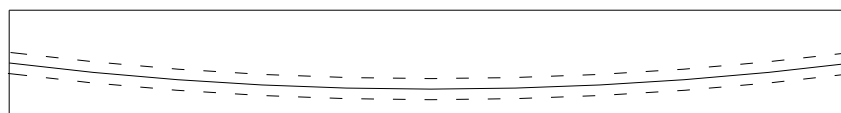
perangkat cetakan yang telah disiapkan. Setelah beton cukup keras, penjangkaran dilepas dan terjadi pelimpahan gaya tarik baja menjadi gaya tekan pada beton.



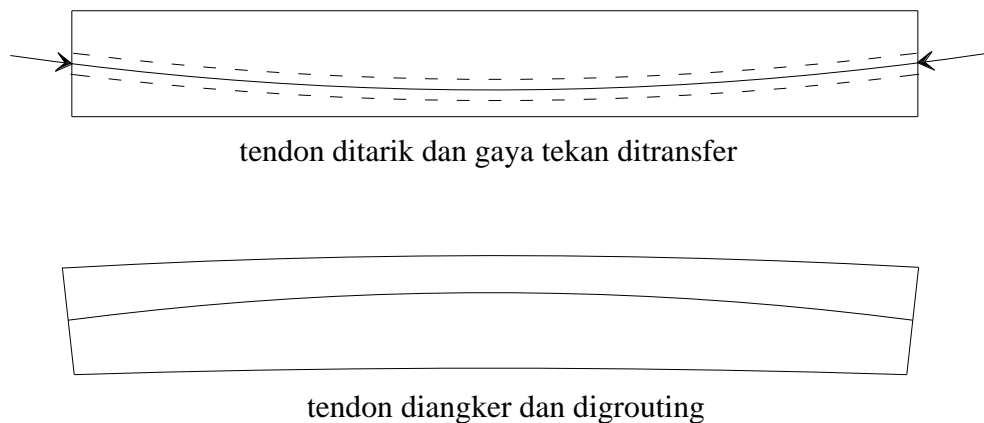
Gambar 2.9. Proses pengerjaan beton pratarik

b. Pascatarik (*Post-Tensioning*)

Pada metode ini beton lebih dahulu dicetak dengan disiapkan lubang (duct) atau alur untuk penempatan cable/strands. Apabila beton sudah cukup kuat, kemudian cable/strands ditarik, ujung-ujungnya diangkurkan, selanjutnya lubang di-grouting.



beton dicor



Gambar 2.10. Proses pengerjaan beton pascatarik

2.7 Desain Material

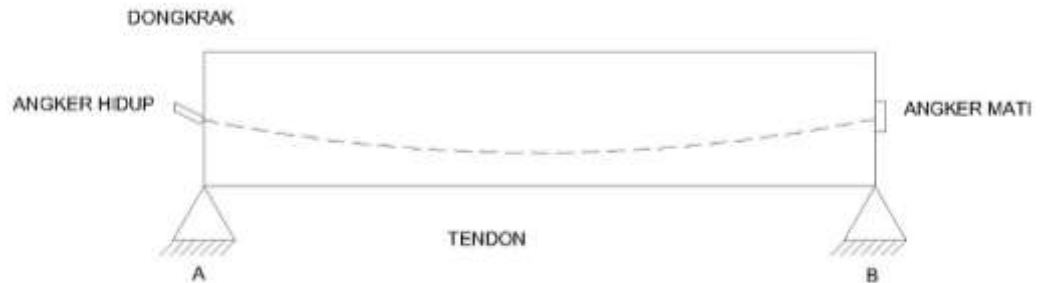
2.7.1 Beton

Beton adalah campuran dari semen, air, dan agregat serta suatu bahan tambahan. Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c antara 30 – 45 Mpa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkutan tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil. Menurut IS (Indian Standard code), kekuatan tekan kubus 28 hari minimum adalah 40 N/mm^2 untuk batang pratarik dan 30 N/mm^2 untuk batang pascatarik (Raju, 1989).

2.7.1.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton tergantung dari jenis campuran, besaran agregat, waktu dan kualitas perawatan. Beton dengan kekuatan tinggi jelas menguntungkan. Kuat tekan beton f'_c didasarkan pada pengujian benda uji silinder standar dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang diolah

pada kondisi laboratorium standar dan diuji pada laju pembebanan tertentu selama 28 hari. Spesifikasi standar yang digunakan di Indonesia adalah dari SNI.



Gambar 2.11. Penegangan *post tension*

Ketentuan beton untuk *post-tension* terlihat pada (Gambar 2.6). Sebagian besar komponen struktur beton prategang dibebani oleh tegangan yang tinggi. Jika kita tinjau beton prategang di atas dua perletakan (seperti pada gambar) maka terlihat serat-serat atas tertekan kuat akibat beban eksternal yang besar, serat bawah tertekan pula saat peralihan gaya prategang. Selain itu sementara bagian tengah bentang menahan momen lentur yang terbesar, bagian tepi/ujung menahan dan mendistribusikan gaya prategang. Sehingga pada komponen beton prategang lebih diutamakan keseragaman kekuatan beton.

Menurut SNI T-12-2004 butir 4.4.1.1.1, dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 Mpa.

Karena pada umumnya pemberian tegangan pada suatu elemen dilakukan sebelum beton kekuatan 28 hari, perlu ditentukan kuat tekan beton $f'c$ pada taraf prategang, begitu pula modulus beton E_c pada berbagai taraf riwayat pembebanan elemen tersebut.

Rumus umum untuk menghitung kuat tekan sebagai fungsi dari waktu adalah

$$f'c = \frac{t}{\alpha + \beta t} f'c(28) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan :

$f'c(t)$ = kekuatan beton umur t hari

$f'c(28)$ = kekuatan beton usia 28 hari

t = waktu (hari)

α = faktor yang bergantung pada tipe semen dan kondisi perawatan

β = faktor yang bergantung pada parameter yang sama dengan “ α ”

Nilai α dan β didapat dari table berikut :

Tabel 2.1. Nilai α dan β

| Kondisi | α | β |
|-----------------------------------------------|----------|---------|
| Semen Type 1 (Normal Portland Cement) | | |
| Dirawat Basah | 4 | 0,85 |
| Dirawat Uap | 1 | 0,95 |
| Semen Type 3 (High Early Cement) | | |
| Dirawat Basah | 2,3 | 0,92 |
| Dirawat Uap | 0,7 | 0,98 |

2.7.1.2 Kuat Tarik

Kuat tarik beton relatif sangat kecil, pendekatan yang baik untuk kuat tarik beton f_{ct} adalah $0,10 f'_c < f_{ct} < 0,20 f'_c$. Kuat tarik lebih sulit diukur dari pada kuat tekan karena adanya masalah pada penjepitan mesin tarik.

Untuk komponen struktur yang mengalami lentur, nilai modulus reptur f_r (bukan kuat belah tarik f_t) digunakan di dalam desain. Modulus reptur diukur dengan cara manguji balok beton polos berpenampang bujur sangkar 6 in hingga gagal dengan bentang 18 in dan dibebani di titik-titik sepertiga bentang (ASTM C-78). Besarnya modulus reptur lebih besar dibandingkan kuat tarik belah beton. Dari pedoman beton 1988, chapter 3 besar modulus reptur adalah

$$F_r = 0,6 x \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (2.6)$$

Kekuatan tarik langsung (*direct tensile strength*) pada beton menurut peraturan ACI 318-83 adalah :

$$F_{df} = 0,4 x f'_c \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan :

f_{td} = kekuatan tarik langsung

Dapat menjadi nol jika terjadi retak pada beton. Modulus keruntuhan (modulus of repture) beton lebih tinggi dari kekuatan tarik beton yang menurut peraturan ACI 318-83 (pada berat beton normal)

$$F_{tf} = 0,62 x \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan :

f_{tt} = modulus keruntuhan (kekuatan tarik flexural)

2.7.1.3 Tegangan ijin tekan pada kondisi beban sementara atau kondisi transfer gaya prategang

Untuk kondisi beban sementara, atau untuk komponen beton prategang pada saat transfer gaya prategang, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai $0,60 f_{ci}'$ dimana f_{ci}' adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dibebani atau dilakukan transfer gaya prategang, dinyatakan dalam satuan Mpa.

2.7.1.4 Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang

Tegangan tarik yang diijinkan terjadi pada penampang beton untuk kondisi transfer gaya prategang, diambil dari nilai-nilai :

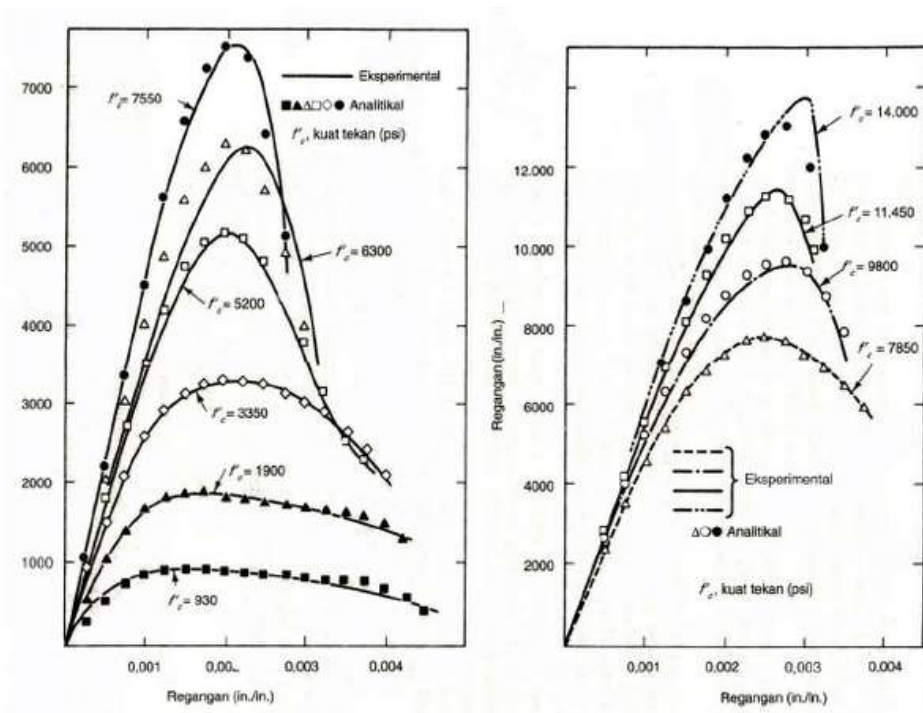
- a. Serat terluar mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi nilai $0,25 \sqrt{f_{ci}'}$, kecuali untuk kondisi di bawah ini
- b. Serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana dan mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi nilai $0,5 \sqrt{f_{ci}'}$.

Tegangan ijin tarik dinyatakan dalam satuan MPa.

2.7.1.5 Kuat Geser

Balok yang terlentur pada saat bersamaan juga menahan gaya geser akibat lenturan. Kondisi kritis geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-regangan tarik tambahan di tempat tertentu pada komponen struktur terlentur. Apabila gaya geser yang bekerja pada

struktur beton bertulang cukup besar hingga di luar kemampuan beton, maka perlu dipasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut. Kuat geser lebih sulit ditentukan dengan cara eksperimental dibandingkan dengan pengujian-pengujian lainnya, dikarenakan sulitnya untuk mengisolasi tegangan geser dari tegangan lainnya. Hal ini mengakibatkan perbedaan hasil besarnya kuat geser beton yang dilaporkan berbagai studi literatur, mulai dari 20% hingga 85% dari kuat tekan pada kasus-kasus dimana geser langsung terjadi bersamaan dengan tekan.



Gambar 2.12. Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton

2.7.1.6 Modulus Elastisitas Beton (E_c)

Sesuai ketentuan SNI Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004), nilai modulus elastisitas beton E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material

dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 Mpa, atau beton ringan dengan berat jenis tidak kurang dari 2000 kg/m³ dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 Mpa nilai E_c bisa diambil sebagai berikut :

$$E_c = W_c^{1,5} (0,043\sqrt{f'c}) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dalam kenyataan nilainya dapat bervariasi $\pm 20\%$, w_c menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m³, $f'c$ menyatakan kuat tekan beton dalam satuan Mpa, dan E_c dinyatakan dalam satuan Mpa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m³ maka dapat diambil modulus elastisitas beton :

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.10)$$

$f'c$ = kuat tekan beton dalam Mpa.

Kurva tegangan regangan berbentuk linier pada tahapan pembebanan awal, maka modulus elastisitas yang hanya dapat diterapkan pada tangent kurva di titik asal. Kemiringan awal dari tangent di kurva didefinisikan sebagai modulus tangent awal. Kemiringan garis lurus yang menghubungkan titik asal dengan tangent tertentu (sekitar 0,4 $f'c$) merupakan modulus elastisitas sekan beton, yang nilainya merupakan nilai modulus elastisitas yang digunakan dalam desain. Memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis, dan bahwa regangan selanjutnya akibat beban disebut rangkai.

2.7.1.7 Angka Poison (ν)

Sesuai ketentuan SNI Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004), angka poison untuk beton diambil sebesar 0,2.

2.7.1.8 Koefisien Muai Panas

Sesuai ketentuan SNI Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004), koefisien muai panjang beton akibat panas bisa diambil sebesar $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$, dengan pertimbangan bisa bervariasi $\pm 20\%$.

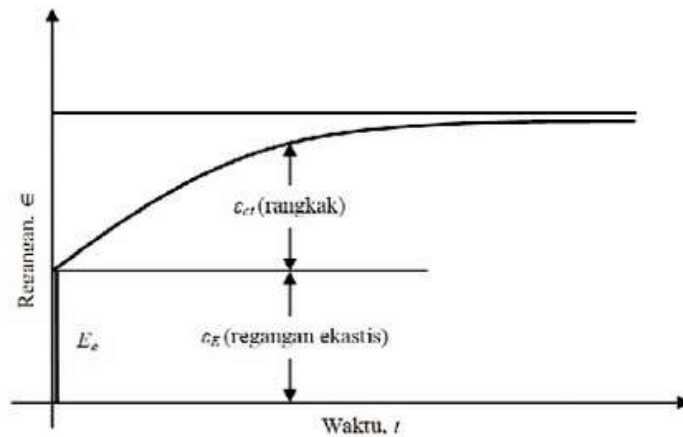
2.7.1.9 Rangkak

Rangkak (*creep*) atau lateral material flow didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja terus menerus. Susut serta rangkak beton pada dasarnya sama asalnya, sebagian besar adalah akibat perpindahan tempat air di dalam lubang-lubang kapiler pasta semen. Berbagai faktor yang mempengaruhi rangkak beton adalah kelembaban relatif, tingkat tegangan, kekuatan beton, umur beton pada pembebanan, lamanya tegangan, perbandingan air/semen, dan tipe semen serta agregat pada beton. Untuk tegangan sampai kira-kira setengah kekuatan hancur beton, rangkak berbanding lurus dengan tegangan, akan tetapi di atas nilai ini, rangkak bertambah lebih cepat.

Gambar 2.8. mengilustrasikan penambahan regangan rangkak terhadap waktu, terlihat bahwa laju rangkak berkurang terhadap waktu. Rangkak tidak dapat diamati secara langsung, namun dapat ditentukan dengan mengurangkan regangan elastisitas dengan regangan susut dari deformasi

total. Meskipun rangkak dan susut merupakan fenomena yang tidak independent, dapat diasumsikan bahwa superposisi tegangan berlaku, sehingga :

Regangan total (ϵ_t) = regangan elastis (ϵ_e) + rangkak (ϵ_c) + susut (ϵ_{sh})



Gambar 2.13. Kurva regangan-waktu

2.7.1.10 Susut

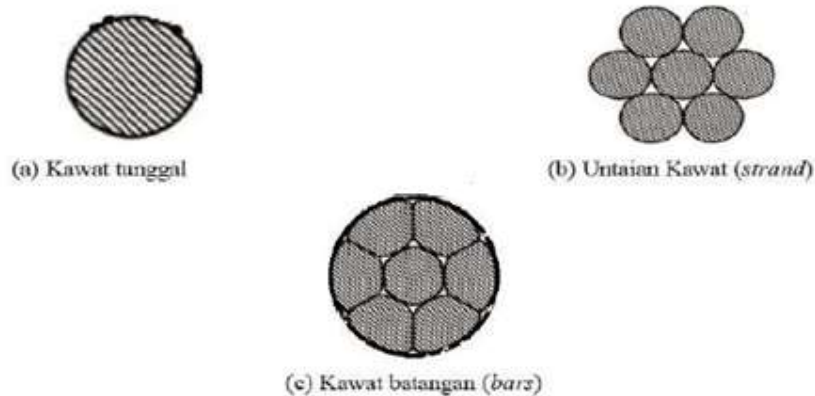
Pada dasarnya ada dua jenis susut, yakni : susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi selama beberapa jam pertama sesudah pengecoran beton segar di cetakan. Permukaan yang diekspos seperti slab lantai akan dipengaruhi oleh udara kering, karena luasnya permukaan kontak. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume beton, karena terjadi hilangnya kandungan air pada beton akibat penguapan.

2.7.2 Baja

Baja yang digunakan pada prategang adalah baja mutu tinggi. Pemakaian baja mutu tinggi ini dikarenakan tingginya kehilangan rangkak dan susut pada beton. Untuk mendapatkan prategang efektif hanya dapat

dicapai menggunakan baja mutu tinggi. Tipe baja yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu :

- Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan system pratarik (*pre-tension*).
- Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada betonprategang dengan system pascatarik (*post-tension*).
- Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan system pratarik (*pre-tension*).



Gambar 2.14. Jenis – Jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang

Baja prategang mutu tinggi mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan daktilitas yang cukup. Baja prategang peka terhadap suhu tinggi yang dapat menyebabkan kehilangan mutu tingginya sebagian atau seluruhnya. Jadi pengelasan baja prategang tidak diperkenankan. Selain itu baja prategang juga peka terhadap zat-zat yang korosif, maka harus dilindungi sebaik-baiknya terhadap pengaruh ini.

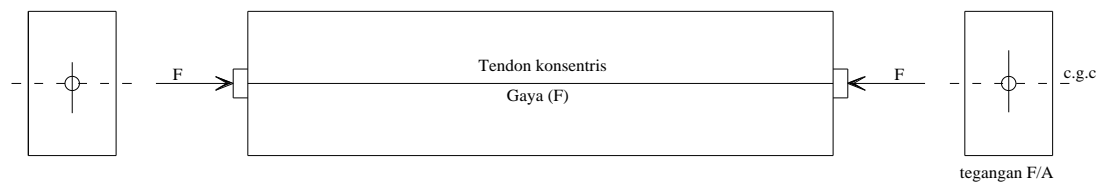
Table 2.2. *Strand stress relieved* Standar dengan tujuh kawat tanpa pelapis (ASTM-416)

| Diameter Nominal | | Kekuatn Putus | Luas Nominal Strand | Beban Minimum pada Pemuaian 1 % |
|-----------------------------|-------|---------------|---------------------|---------------------------------|
| Inchi | Mm | kN | Mm ² | kN |
| Grade 250 (1720 MPa) | | | | |
| 1/4 | 6,35 | 40 | 23,22 | 34,0 |
| 5/16 | 7,94 | 64,5 | 37,42 | 54,7 |
| 3/8 | 9,53 | 89,0 | 51,61 | 75,6 |
| 7/16 | 11,11 | 120,1 | 69,68 | 102,3 |
| ½ | 12,70 | 160,1 | 92,90 | 136,2 |
| 3/5 | 15,24 | 240,2 | 139,35 | 204,2 |
| Grade 270 (1860 MPa) | | | | |
| 3/8 | 9,53 | 102,3 | 54,84 | 87,0 |
| 7/16 | 11,11 | 137,9 | 74,19 | 117,2 |
| ½ | 12,70 | 183,7 | 98,71 | 156,1 |
| 3/5 | 15,24 | 260,7 | 140,00 | 221,5 |

2.8 Analisa Prategang

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris.

2.8.1 Tendon Konsentris

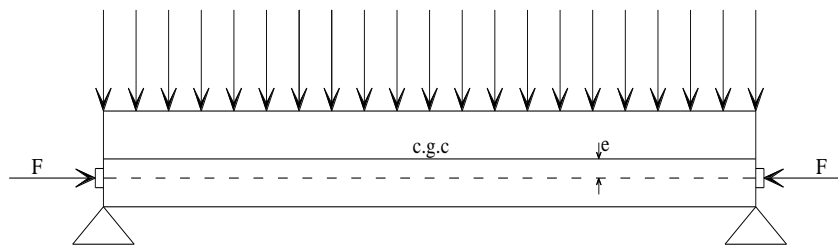


Gambar 2.15. Prategang Konsentris

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton = F/A yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon eksentris.

2.8.2 Tendon Eksentris

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan esentrisitas e . tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal.



Gambar 2.16. Prategang Eksentris

2.9 Kehilangan Gaya Prategang

Gaya prategang akan mengalami pengurangan/reduksi saat transfer atau saat daya layan. Kehilangan gaya prategang saat transfer terjadi sesaat setelah penarikan tendon, sedangkan kehilangan gaya prategang saat masa layan terjadi perlahan-lahan pada saat umur pelayanan dan pengaruh waktu.

2.9.1 Kehilangan Gaya Prategang Langsung

2.9.1.1 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastik

Beton memendek pada saat gaya prategang bekerja padanya. Karena tendon yang melekat pada beton disekitarnya secara simultan juga memendek, maka tendon tersebut akan kehilangan sebagian dari gaya prategang yang dipikulnya. Kehilangan gaya prategang pada struktur pasca tarik dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$ES = \Delta f_c = \frac{nF_0}{A_c} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

Ao = Luas penampang gelagar

F0 = gaya prategang awal

2.9.1.2 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip Angkur (ANC)

Slip pada angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan baja pada angkur. Panjang atau besarnya slip tergantung tipe baji dan tegangan pada kawat tendon. Harga rata-rata panjang slip akibat pengankuran adalah 2,5 mm. Untuk kehilangan tegangan akibat slip dapat digunakan persamaan berikut :

$$ANC = \frac{\Delta E_s}{L} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

Δ = slip tendon

E_s = modulus elastisitas baja tendon

L = panjang tendon

2.9.2 Kehilangan Gaya Prategang Berdasarkan Fungsi Waktu

2.9.2.1 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton (CR)

Rangkak adalah deformasi atau aliran lateral akibat tegangan - tegangan longitudinal. Rangkak pada beton terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton sebagai satu fungsi waktu. Pada struktur beton prategang, rangkak mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang. Kehilangan tegangan akibat rangkak pada beton prategang dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

K_{cr} = koefisien rangkak = 2,0 untuk pratarik

= 1,6 untuk pasca tarik

E_C = modulus elastisitas beton saat umur beton 28 hari

E_S = modulus elastisitas baja prategang

f_{ci} = tegangan pada beton pada level pusat baja segera setelah transfer

f_{cd} = tegangan pada beton akibat beban mati tambahan setelah prategang diberikan

2.9.2.2 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton (SH)

Faktor-faktor yang mempengaruhi susut beton meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian prategang, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. ukuran dan bentuk komponen juga mempengaruhi susut. Untuk komponen struktur pasca tarik, kehilangan prategang akibat susut agak lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum kejadian pasca tarik. Besarnya kehilangan prategang akibat susut pada beton dapat dihitung dengan rumus :

$$SH = \varepsilon_{CS} E_S \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

E_S = modulus elastisitas baja prategang

ε_{CS} = regangan susut sisa total dengan harga :

$\varepsilon_{CS} = 300 \times 10^{-6}$ untuk struktur pratarik

$\varepsilon_{CS} = \frac{200 \times 10^{-6}}{\log(t+2)}$ untuk struktur pasca tarik, dengan t adalah usia

beton pada waktu transfer prategang, dalam hari.

prategang. Pada perencanaannya diafragma tidak menerima beban luar manapun, hanya menerima beban dari berat sendiri diafragma.

2.11 Pembebanan Pada *Fly Over*

2.11.1 Beban Tetap

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen nonstruktural. Masing-masing berat komponen ini harus dianggap sebagai aksi yang tidak dipisahkan dan tidak boleh menjadi bagian-bagian pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang.

2.11.2 Berat sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktur lainnya yang dipikul. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap. Faktor berat sendiri diatur pada RSNI T-02-2005 5.2.

Tabel 2.3. Faktor Beban Berat Sendiri RSNI T-02-2005 5.3

| Jenis material | Faktor Beban | | |
|--------------------|--------------|------------|------------|
| | K_{MS}^S | K_{MS}^U | |
| | | Normal | Terkurangi |
| Baja, Aluminium | 1.0 | 1.1 | 0.9 |
| Beton pracetak | 1.0 | 1.2 | 0.85 |
| Beton cor ditempat | 1.0 | 1.3 | 0.75 |
| kayu | 1.0 | 1.4 | 0.70 |

2.11.3 Beban mati tambahan / utilitas

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu harga K_{MA} yang telah berkurang boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut mengawasi beban mati tambahan sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan. Faktor beban mati tambahan diatur pada RSNI T-02-2005 5.3.

Tabel 2.4. Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan RSNI T-02-2005 5.3

| Jangka waktu | | Faktor Beban | | |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|------------|
| | | K_{MA}^S | K_{MA}^U | |
| | | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | Keadaan umum | 1.0 (1) | 2.0 | 0.7 |
| | Keadaan khusus | 1.0 | 1.4 | 0.8 |
| Catatan (1) faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk beban utilitas | | | | |

2.11.3.1 Pengaruh penyusutan dan rangkai

Pengaruh rangkai dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan -jembatan beton. Pengaruh ini dihitung dengan menggunakan beban mati dari jembatan. Apabila rangkai dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkai dan

penyusutan tersebut harus diambil minimum (pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.5. Faktor Beban Akibat Penyusutan dan Rangkak RSNI T-02-2005 5.4

| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|-----|
| | Ks | Ku |
| Tetap | 1.0 | 1.0 |

2.11.3.2 Pengaruh prategang

Prategang harus diperhitungkan sebelum, selama pelaksanaan dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2.6. Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang RSNI T-02-2005 5.4.1

| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|--------------------------|
| | K_{PR}^s | K_{PR}^u |
| Tetap | 1.0 | 1.0 (1,15 praperegangan) |

2.11.3.3 Tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung dari sifat-sifat tanah yang ditentukan berdasarkan pada kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan sebagainya. RSNI T-02-2005 5.4.2

2.11.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan

suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

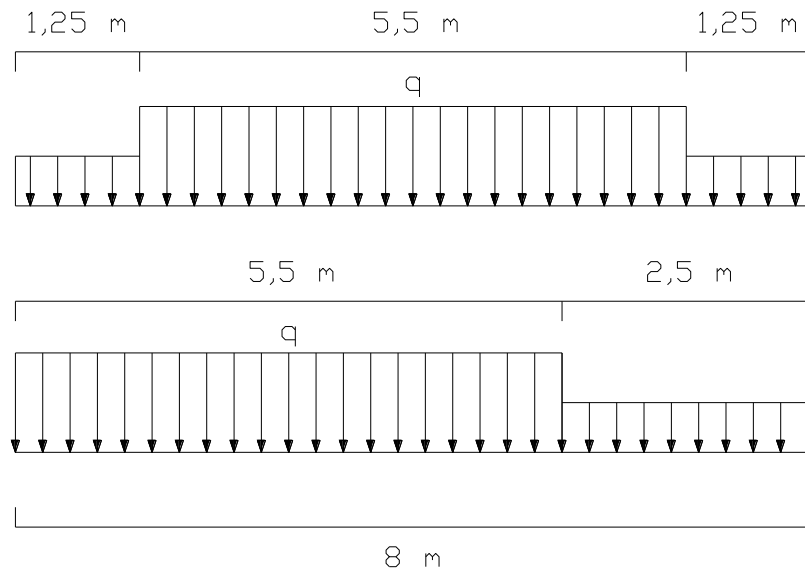
Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum beban “D” akan menentukan dalam perhitungan yang mempunyai bentang mulai sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan.

2.11.4.1 Beban lajur “D”

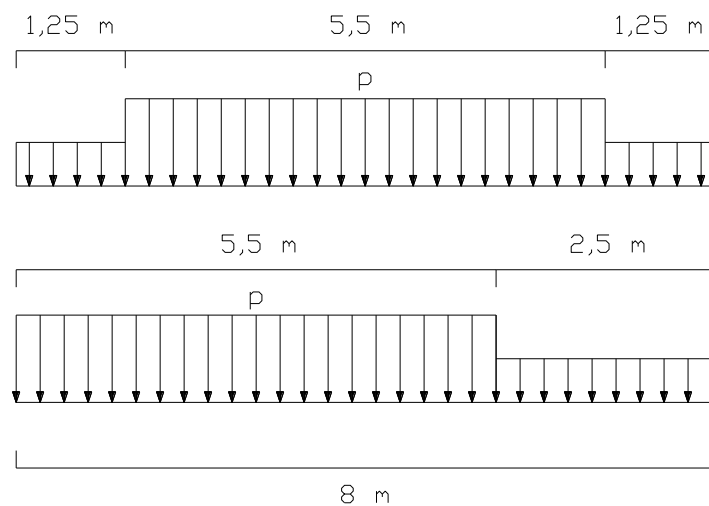
Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Menurut RSNI T-02-2005, beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 L \leq 30 \text{ m}; & \quad q = 9.0 \text{ kN/m}^2 \\
 L > 30 \text{ m}; & \quad q = 9.0 \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots(2.21)
 \end{aligned}$$



Gambar 2.17. Distribusi Beban Tersebar Merata (BTR)

Beban garis : Satu BGT dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49.0 kN/m.

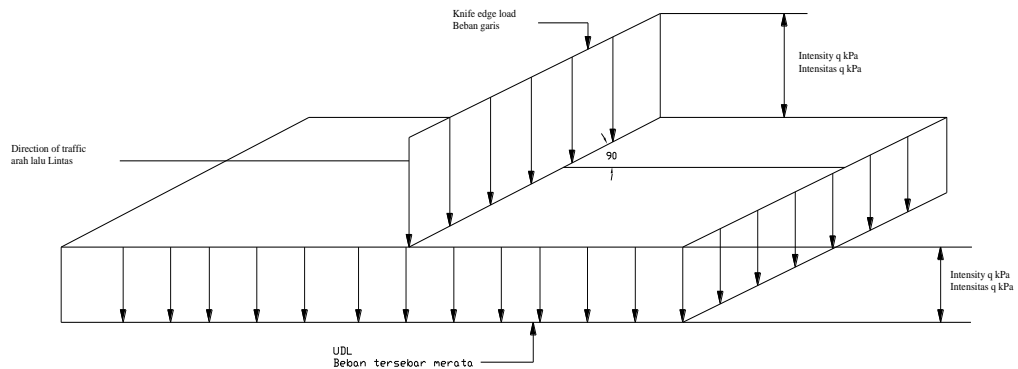


Gambar 2.18. Distribusi Beban Garis (BGT)

Secara umum beban “D” akan menentukan dalam perhitungan yang mempunyai bentang mulai dari sedang sampai panjang.

Tabel 2.7. Faktor Beban Akibat Beban Lajur “D”

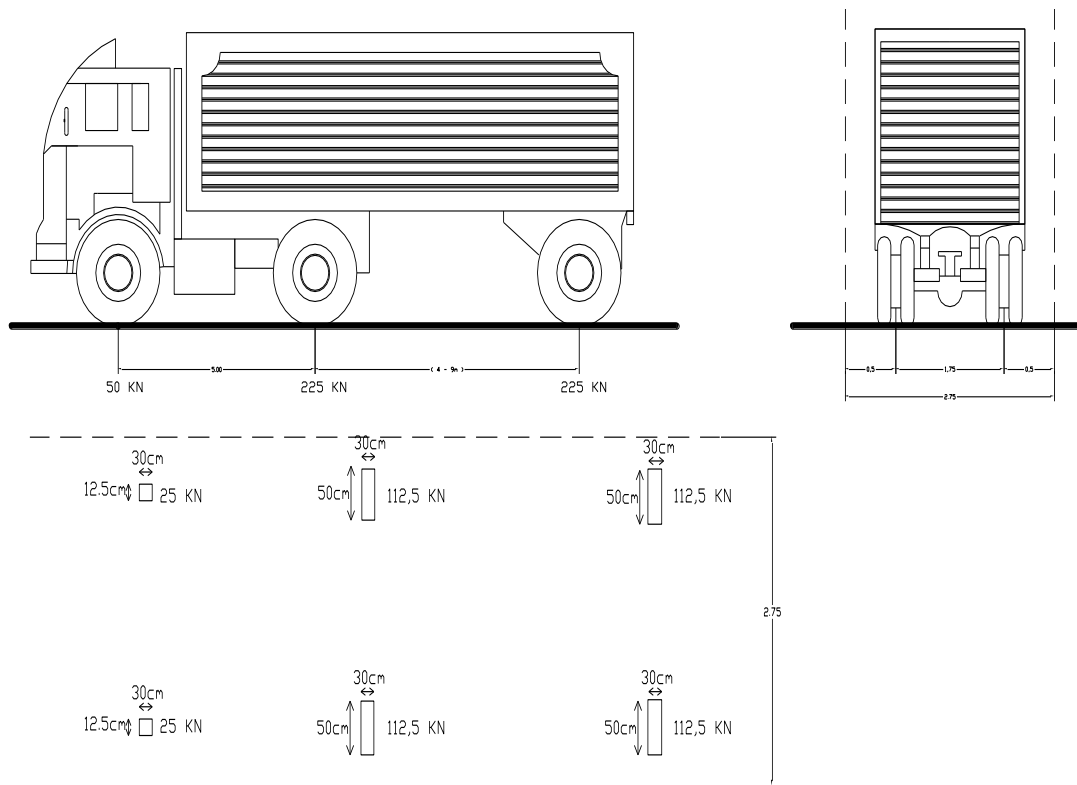
| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TD}^S | K_{RD}^U |
| Transien | 1.0 | 1.8 |



Gambar 2.19. Beban Lajur “D”

2.11.4.2 Beban truk “T”

Berdasarkan RSNI T-2-2005 6.4.1 pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang memiliki susunan dan berat as seperti terlihat dalam gambar 2.18. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana.



Gambar 2.20. Beban Truk “T”

Tabel 2.8. Faktor Beban Akibat Pembebanan Truk “T”

| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TT}^s | K_{TT}^u |
| Tetap | 1.0 | 1,8 |

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

2.11.4.3 Gaya Rem

Efek rem dan percepatan pada lalu lintas ditetapkan sebagai gaya yang bekerja arah memanjang yang bekerja di permukaan jalan. Bekerjanya gaya-gaya arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini di diperhitungkan

senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur “D” yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan faktor beban dinamis. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai jembatan.

Tabel 2.9. Faktor Beban Akibat Gaya Rem RSNI T-02-2005 6.7

| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TB}^s | K_{TB}^u |
| Transien | 1.0 | 1.8 |

(Sumber: Standar Pembebeanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

2.11.5 Aksi Lingkungan

2.11.5.1 Beban angin

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin statik yang bekerja pada dek jembatan diperhitungkan sebesar luas ekivalen bagian samping jembatan. Beban kerja dan terfaktor angin yang bekerja pada jembatan didapat dari persamaan :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_W)^2 A_b [kN] \dots\dots\dots(2.22)$$

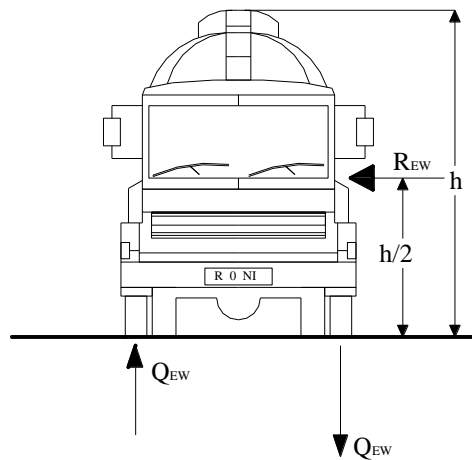
Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_W)^2 A_b [kN] \dots\dots\dots(2.23)$$

C_w = koefisien seret

V_w = kecepatan angin rencana (m/detik)

e = ekivalen luas jembatan [m^2]



Gambar 2.21. Pembebanan Angin

Tabel 2.10. Koefesien Seret C_w

| Tipe Jembatan | C_w |
|-----------------------|-------|
| Bangunan atas masif : | |
| $b/d = 1.0$ | 2.1 |
| $b/d = 2.0$ | 1.5 |
| $b/d \geq 6.0$ | 1.25 |
| Bangunan atas rangka | 1.2 |

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Tabel 2.11. Kecepatan Angin Rencana V_w

| Keadaan Batas | Lokasi | |
|---------------|-------------------------|--------------------|
| | Sampai 5 km dari pantai | > 5 km dari pantai |

| | | |
|------------|--------|--------|
| Daya Layan | 30 m/s | 25 m/s |
| Ultimate | 35 m/s | 30 m/s |

(Sumber: Standar Pembebeanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Tabel 2.12. Faktor Beban Untuk Beban Angin

| Jangka waktu | Faktor Beban | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{EW}^S | K_{EW}^U |
| Transient | 1.0 | 1.2 |

2.11.5.2 Beban gempa

Dalam suatu perencanaan jembatan harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa.

$$C_{elastis} = A.R.S ; \quad C_{plastis} = \frac{A.R.S}{Z} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- $C_{elastis}$ = Koefisien geser dasar tanpa faktor daktilitas dan resiko (Z)
- $C_{plastis}$ = Koefisien geser dasar termasuk faktor daktilitas dan resiko (Z)
- A = Percepatan/ akselerasi puncak (PGA) di batuan dasar
- R = Respon batuan dasar
- Z = Faktor reduksi sehubungan daktilitas dan resiko

Dalam suatu perencanaan jembatan, harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa. Beban gempa hanya diperhitungkan untuk kondisi batas ultimate. Beban gempa biasanya berakibat langsung

pada perencanaan pilar, kepala jembatan dan pondasi. Besarnya beban gempa diperhitungkan sebagai berikut.

$$T'_{EQ} = K_v \cdot I \cdot W_T \quad ; \quad K_h = C \cdot S \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

T'_{EQ} = Gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau (kN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

K_v = Koefisien beban gempa vertical

I = Faktor kepentingan

C = Koefisien geser dasar

S = Faktor tipe bangunan

W_T = Berat total nominal bangunan termasuk beban mati tambahan

Koefisien geser dasar (C) ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan waktu getar bangunan (T) dan (C) dapat dihitung dengan rumus :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{W_T / g \cdot K_p} \text{ (detik)} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan pengertian :

W_T = Berat total jembatan termasuk beban mati tambahan

g = Percepatan gravitasi (m/det)

K_p = Kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m).

Tabel 2.13. Faktor Tipe Bangunan

| | | | |
|---------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Tipe jembatan | Jembatan dengan daerah sendi beton bertulang atau baja | Jembatan dengan sendi beton prategang | |
| | | Prategang parsial | Prategang penuh |

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Tipe A | 1,0 F | 1.15 F | 1.3 F |
| Tipe B | 1,0 F | 1.15 F | 1.3 F |
| Tipe C | 3,0 | 3,0 | 3,0 |

Jembatan mungkin mempunyai tipe bangunan yang berbeda pada arah melintang dan memanjang, dan tipe bangunan yang sesuai harus digunakan untuk masing-masing arah. Yang dimaksud dalam table 2.13 ini, beton prategang parsial mempunyai prapenegangan yang cukup untuk kira-kira mengimbangi pengaruh dari beban tetap rencana dan selebihnya diimbangi oleh tulangan biasa. Beton prategang penuh mempunyai prapenegangan yang cukup untuk mengimbangi beban total rencana. Jembatan Tipe A adalah jembatan daktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah). Jembatan Tipe B juga jembatan daktail namun bangunan atas terpisah dengan bangunan bawah. Jembatan Tipe C adalah jembatan tidak daktail (tanpa sendi plastis).

$$F = 1,25 - 0,025 n ; F \geq 1,00$$

F = Faktor perangkaan

n = Jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral pada masing-masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri-sendiri.

Tabel 2.14. Faktor Kepentingan

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif | 1,2 |
| Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternative tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu | 1,0 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| lintas yang dikurangi | |
| Jembatan sementara dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi | 0,8 |

2.12 Bantalan Elastomer

Bantalan Elastomer adalah suatu elemen *fly over* yang terbuat dari karet alam atau karet sintetis (*neoprene*) yang berfungsi untuk meneruskan beban dari bangunan atas ke bangunan bawah.

Setelah dilakukan perhitungan pembebanan pada tumpuan dan di dapatkan besarnya gaya-gaya yang bekerja, direncanakan bantalan perletakan (Elastomer) sebagai perletakan *fly over*.

Kontrol kekuatan elastomer :

2.12.1 Terhadap selip

$$\sigma_{\min} < \text{persyara tan selip} = 100(1 + a/b) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{\min}}{A}$$

Persyaratan selip = 100(1+60/60)

$$\sigma_{\min} < \text{persyara tan selip} = 100(1 + a/b) \dots\dots\dots(2.28)$$

a = Lebar penampang perletakan (mm)

b = Panjang penampang perletakan (mm)

2.12.2 Terhadap tegangan vertikal

$$\sigma_{\max} < 2.G.S_F$$

$$S_f = \frac{a.b}{T(a+b)} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{V_A}{A}$$

$$\sigma_{\max} < 2.G.S_f$$

G = Modulus geser gempa (Mpa)

S_F = Faktor keamanan

T = Tebal total perletakan (mm)

2.12.3 Terhadap geser horizontal

Pengontrolan terhadap gaya geser horizontal yang diakibatkan oleh pengaruh pemuaian dan penyusutan :

Persyaratan : Pemuaian dan penyusutan (η) < lendutan (Δ)

Dengan, η = Penyusutan suhu maksimum ($^{\circ}C$)

Δ = Lendutan rangkak maksimum (mm)

$$\delta = \eta.L.AC < \Delta \dots\dots\dots(2.30)$$

2.12.4 Terhadap stabilitas lapisan perletakan

Persyaratan : $\sigma_{vmaks} < \frac{2a}{3T.G.S}$ terhadap lapisan pelat baja (Ts)

$$T_s > \frac{4.t.(H_A + 1,5P)}{A\sigma_i} \dots\dots\dots(2.31)$$

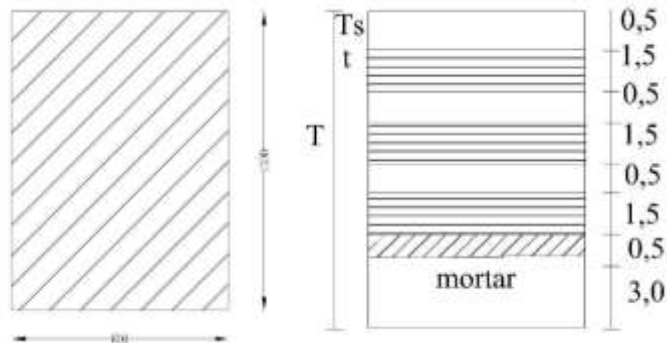
Dengan : T_s = Tebal Pelat (mm)

H_A = Gaya Horizontal

σ_i = Mutu Baja(Mpa)

s = Tebal beton

P = Beban garis (N)



Gambar 2.22. Perletakan

2.13 Abutmen

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar. Namun pada *abutment* juga terkait dengan adanya faktor tanah. Adapun langkah perencanaan *abutment* adalah sama dengan tahapan perencanaan pilar, namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

Dalam merencanakan struktur abutment koefisien tekanan tanah aktif perlu diperhitungkan berapa besar tekanan tanah yang bekerja pada struktur, sehingga bisa menjadi bahan acuan dalam perencanaan praktis.

a. Tekanan tanah menurut teori Rankine :

$$\text{Tekanan tanah aktif : } Ka = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots\dots\dots 2.32$$

$$\text{Tekanan tanah pasif dalam keadaan diam : } Kp = 1 - \sin \phi \dots\dots\dots 2.33$$

$$\text{atau } Ka = Tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots 2.34$$

$$Kp = Tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots 2.35$$

Dengan pengertian :

K_a adalah koefisien tanah aktif;

K_p adalah koefisien tanah pasif;

ϕ adalah nilai sudut geser.

b. Tekanan tanah aktif :

$$P_a = (q + \gamma.h).K_a - 2.c.\tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots 2.36$$

c. Tekanan tanah pasif :

$$P_p = \gamma.h.K_p + 2.c.\tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots 2.37$$

Dengan pengertian :

P_a adalah tekanan tanah aktif (t/m^2);

P_p adalah tekanan tanah pasif (t/m^2);

q adalah beban merata (t/m^2);

h adalah jarak dari permukaan tanah (m);

c adalah kohesi tanah (t/m^2);

γ adalah berat volume tanah di bawah air (t/m^3);

ϕ = Sudut geser dalam untuk tanah ($^\circ$).

2.14 Pilar

2.14.1 Pengertian Pilar

Pilar adalah salah satu dari bangunan bawah *fly over* yang terletak diantara dua buah abutment yang berfungsi untuk memikul beban-beban

bangunan atas dan bagian pondasi dan disebarkan ke tanah dasar yang keras (SNI 2541-2008). Pembebanan pada struktur *pier* jembatan mengacu pada (RSNIT – 02 -2005). Berfungsi sebagai pemikul seluruh beban pada ujung – ujung bentang dan gaya – gaya lainnya, serta melimpahkannya ke pondasi.

➤ Pier Head (Kelapa Pilar)

Istilah yang dipakai pada pilar jembatan dimana pier head ini dapat didefinisikan sebagai bagian dari pilar jembatan yang berfungsi sebagai pemikul ujung – ujung perletakan jembatan

➤ Badan Pilar (badan Pier)

Berupa dinding atau kolom pada bagian pilar jembatan yang berfungsi meneruskan gaya dari pier head (kepala Pilar) pada pondasi.

2.15 Pondasi

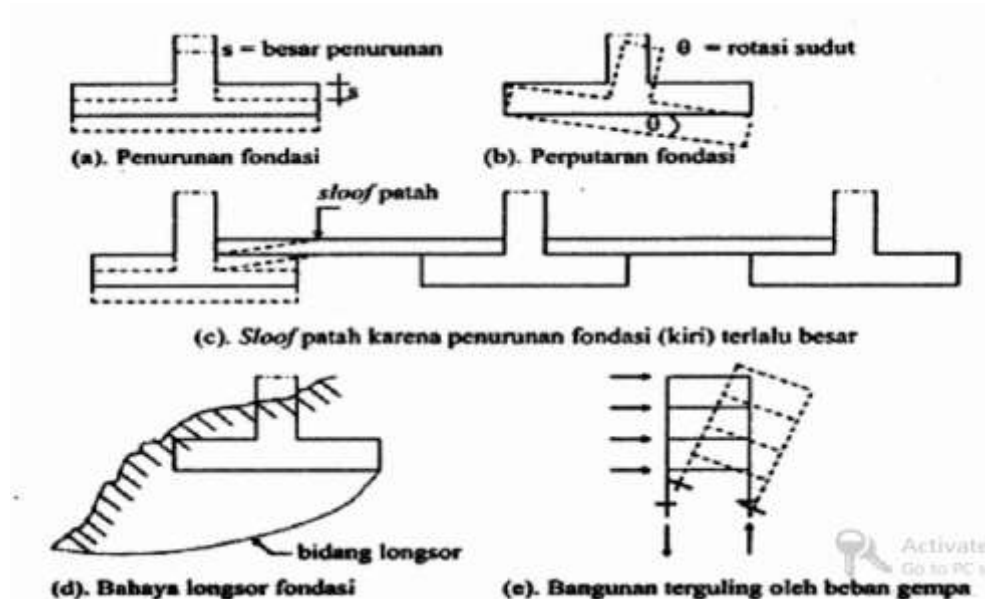
2.15.1 Pengertian Pondasi

Pondasi adalah tahapan awal dari pekerjaan suatu proyek jembatan, maka diperlukan perhitungan dan perencanaan yang baik serta teliti dari beban rencana yang telah diperhitungkan yang akan diterima oleh pondasi tersebut, karena pondasi adalah sebagai penyangga dari *abutment*, tiang utama atau pilar, kepala jembatan dan badan jalan, serta kendaraan dan bangunan pendukung lalu lintas yang pembebanan selanjutnya disalurkan kepada tanah keras.

2.15.2 Persyaratan Pondasi

Struktur pondasi dari suatu bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga proses pemindahan beban bangunan ke tanah dasar dapat berlangsung dengan baik dan aman. Untuk keperluan tersebut, pada perencanaan pondasi harus mempertimbangkan beberapa persyaratan berikut (Gambar 2.11):

1. Pondasi harus cukup kuat untuk mencegah penurunan (*settlement*) dan perputaran (rotasi) yang berlebihan (lihat gambar a dan b);
2. Tidak terjadi penurunan setempat yang terlalu besar bila dibandingkan dengan penurunan pondasi di dekatnya (gambar c) ;
3. Cukup aman terhadap bahaya longsor (Gambar d) ;
4. Cukup aman terhadap bahaya guling (Gambar e).



Gambar 2.23. Pertimbangan Keamanan Pondasi

2.15.3 Daya Dukung Tanah

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan/daya dukung tanah di bawah pondasi tersebut. Sebagai contoh

untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, semakin kecil ukuran pondasi yang akan direncanakan. Sebaliknya, semakin lemah daya dukung tanah, semakin besar ukuran pondasi yang akan direncanakan. Untuk tanah dengan daya dukung yang lemah ini, sebaiknya digunakan jenis fondasi lain, misalnya pondasi sumuran bahkan digunakan tiang pancang.

Kekuatan/daya dukung tanah pada umumnya dapat diketahui melalui berbagai usaha berikut :

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait;
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi di sekitarnya;
3. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.

2.15.4 Pemilihan jenis pondasi

Dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut:

- Gaya yang bekerja dari konstruksi *fly over*
- Kapasitas daya dukung tanah dan kedalaman yang akan dicapai
- Stabilitas tanah yang mendukung pondasi
- Tingkat kesulitan pada saat pelaksanaan

Jenis pondasi dibedakan menjadi:

2.15.4.1 Pondasi Dangkal

Pondasi ini dapat dipergunakan secara langsung diatas lapis tanah keras, jenis pondasi ini adalah monolit dapat berupa pasangan batu kali maupun beton bertulang. Persyaratan teknisnya adalah:

- Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah
- Aman terhadap geser, guling, dan penurunan yang berlebihan
- Aman terhadap gerusan air dan longsoran tanah
- Kedalaman dasar pondasi > 3 m dari dasar sungai terdalam atau muka tanah setempat
- Tidak disarankan untuk pondasi pilar

2.15.4.2 Pondasi Dalam

1. Pondasi Sumuran

- Tekanan kostruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran
- Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air, dan longsoran tanah
- Diameter sumuran $\geq 1,50$ m
- Tidak disarankan jika tanah atas lunak dan tebalnya > 3 m
- Cara galian terbuka tidak disarankan
- Kedalaman dasar pondasi sumuran harus dibawah gerusan maksimum

2. Pondasi Tiang Pancang

- Kapasitas daya dukung tiang terdiri dari *point bearing* serta tahanan gesek tiang

- Lapisan tanah keras berada > 8 m dari muka tanah setempat atau dari dasar sungai terdalam
- Jika gerusan tidak dapat dihindari yang dapat mengakibatkan daya dukung tiang dapat berkurang maka harus diperhitungkan pengaruh tekuk dan reduksi gesekan antara tiang dan tanah sepanjang kedalaman gerusan
- Jarak as tiang tidak boleh kurang dari 3 kali garis tengah tiang yang dipergunakan.

2.15.5 Data-data yang diperlukan dalam perencanaan pondasi :

1. Pondasi borpile
 - Berat isi tanah rata-rata (γ), (N/m³)
 - Sudut geser (ϕ), (°)
 - Kohesi tanah (c), (N/m²)

Perhitungan daya dukung ultimate digunakan persamaan Terzaghi :

$$q_u = \frac{1}{F_s} \cdot (1,3 \cdot c \cdot N_c) \cdot (D_f \cdot \gamma_{tanah} \cdot N_q) \cdot (0,3 \cdot B \cdot \gamma_{tanah} \cdot N_\gamma) \dots\dots\dots (2.38)$$

Tabel 2.15. Koefisien daya dukung dari Terzaghi

| ϕ | Nc | Nq | N γ |
|--------|------|------|------------|
| 0° | 5,71 | 1,00 | 0 |
| 5° | 7,32 | 1,64 | 0 |
| 10° | 9,64 | 2,70 | 1,2 |
| 15° | 12,8 | 4,44 | 2,4 |
| 20° | 17,7 | 7,43 | 4,6 |
| 25° | 25,1 | 12,7 | 9,2 |
| 30° | 37,2 | 22,5 | 20,0 |

| | | | |
|-----|------|------|-------|
| 35° | 57,8 | 41,4 | 44,0 |
| 40° | 95,6 | 81,2 | 114,0 |
| 45° | 172 | 173 | 320 |

Analisis daya dukung masing-masing tiang :

$$\bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 \dots\dots\dots(2.39)$$

$\bar{P}_1 =$ Adhesi, (N)

$$\bar{P}_1 = \frac{1}{F_s} \cdot K \cdot L \cdot c \dots\dots\dots(2.41)$$

$\bar{P}_2 =$ Gesekan, (N)

$$\bar{P}_2 = \frac{1}{F_s} \cdot K \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot L^2 \cdot \gamma \right) \cdot (1 + \tan^2 \phi) \cdot \tan \phi \dots\dots\dots(2.42)$$

$$\bar{P}_3 = A \cdot q_u, (N) \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\bar{P}_{ijin} = \Sigma \bar{P} - \text{berat tiang, (N)} \dots\dots\dots(2.44)$$

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan :

$$n = \frac{V_{total}}{P_{ijin}}, (\text{jumlah tiang}) \dots\dots\dots(2.45)$$

Kontrol daya dukung masing-masing tiang :

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I_x} \pm \frac{M \cdot x}{I_y} \dots\dots\dots(2.46)$$

Dengan,

- V = Beban vertikal (N)
- M = Momen yang bekerja pada pondasi (N.m)
- N = Jumlah tiang
- D_f = Panjang tiang (m)

B = Lebar tiang (m)

y = Jarak searah sumbu y (m)

q_u = Kapasitas beban batas (N/m^2)

c = Kohesi tanah (N/m^2)