

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Pengertian Jembatan**

Jembatan didefinisikan sebagai suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api, dan perlintasan lainnya (Budiadi,2008).

Jembatan jalan raya sebagai elemen yang penting dalam sistem transportasi darat harus dapat menggunakan volume lalu-lintas yang akan datang sesuai dengan umur rencana dan beban yang terjadi. Pada perancangan jembatan harus diperhitungkan semua parameter sehingga kapasitas struktur dan biaya pembangunan menjadi seimbang. Selain itu juga harus dipertimbangkan masalah keselamatan baik pada pelaksanaan maupun pada saat penggunaan jembatan tersebut sesuai dengan umur rencana.

Dengan berkembangnya teknologi ada berbagai macam jenis jembatan yang di bangun untuk keperluan mobilisasi baik itu berdasarkan fungsi jembatan tersebut, dimana jembatan itu di bangun, bahan konstruksi yang digunakan serta tipe struktur yang di aplikasikan pada jembatan.

1. Berdasarkan fungsinya jembatan dibagi menjadi:
  - a. jembatan jalan raya (*highway bridge*),
  - b. jembatan jalan kereta api (*railway bridge*),
  - c. jembatan pejalan kaki atau penyebrangan (*pedestrian bridge*), dan
  - d. jembatan darurat.
2. Berdasarkan lokasi jembatan dibagi menjadi:
  - a. jembatan di atas sungai atau danau serta laut,
  - b. jembatan di atas lembah,
  - c. jembatan di atas jalan yang ada (*fly over*),
  - d. jembatan di atas saluran irigasi/drainase (*culvert*), dan
  - e. jembatan di dermaga (*jetty*).

3. Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain:
  - a. jembatan kayu (*log bridge*),
  - b. jembatan beton (*concrete bridge*),
  - c. jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*),
  - d. jembatan baja (*steel bridge*), dan
  - e. jembatan komposit (*composite bridge*).
4. Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain:
  - a. jembatan plat (*slab bridge*),
  - b. jembatan plat berongga (*voided slab bridge*),
  - c. jembatan gelagar (*girder bridge*),
  - d. jembatan rangka (*truss bridge*),
  - e. jembatan pelengkung (*arch bridge*),
  - f. jembatan gantung (*suspension bridge*),
  - g. jembatan kabel (*cable stayed bridge*), dan
  - h. jembatan cantilever (*cantilever bridge*).

Secara umum komponen jembatan dibagi dalam dua bagian besar, yaitu struktur atas (*upperstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Sesuai dengan istilahnya bangunan atas berada pada bagian atas satu jembatan yang berfungsi untuk menampung semua beban yang ditimbulkan beban meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dan lain-lain yang kemudian disalurkan ke bagian bawah. Struktur atas jembatan umumnya meliputi:

1. trotoar,
2. sandaran dan tiang sandaran,
3. peninggi trotoar,
4. slab lantai trotoar,
5. slab lantai kendaraan,
6. gelagar (*Girder*),
7. balok diafragma,

8. ikatan pengaku (ikatan angin, ikatan melintang), dan
9. tumpuan (*Bearing*).

Sedangkan bagian bawah terletak di bawah bangunan atas yang berfungsi untuk menerima atau memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyaulrkan ke fondasi. Struktur bawah meliputi:

1. abutment,
2. pilar, dan
3. pondasi

### **3.2 Prinsip Dasar Beton Prategang**

Beton adalah suatu bahan yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi kekuatan tariknya relatif rendah. Kuat tariknya 8% sampai 14% dari kuat tekannya (Nawy,2001), sedangkan baja adalah suatu material yang mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi.

Pada struktur dengan bentang yang panjang, struktur bertulang biasanya tidak cukup untuk menahan tegangan lentur sehingga terjadi retak-retak didaerah yang mempunyai tegangan lentur, geser, atau punter yang tinggi (Budiadi, 2008). Timbulnya retak-retak awal pada beton bertulang yang disebabkan oleh ketidakcocokan (*non-compatibility*) dalam regangan-regangan baja dan beton barangkali merupakan titik awal dikembangkannya suatu material baru seperti “beton prategang” (Krishna, 1998).

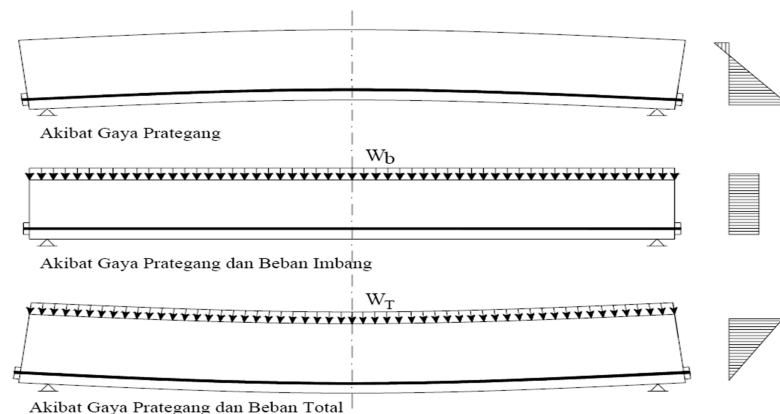
Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan kemampuannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara “aktif”. Dengan mengkombinasikan beton dan baja sebagai bahan struktur maka tegangan tekan dipikulkan kepada beton sementara baja tegangan tarik dipikulkan kepada baja. Hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan kekuatan yang lebih baik dari kedua bahan tersebut.

### 3.3.1 Konsep Beton Prategang

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang berdasarkan sistem prategangnya (Kadir Abdul, 2006). Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut :

#### 1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi elastis

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Konsep ini merupakan sebuah pemikiran dari Eugene Freyssinet pada tahun 1943 yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton dari bahan getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beban yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah muncul kriteria 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 bahan yang elastis. Dalam bentuk yang sederhana, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal (gaya prategang) dan beban eksternal. Berikut ini adalah distribusi tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1

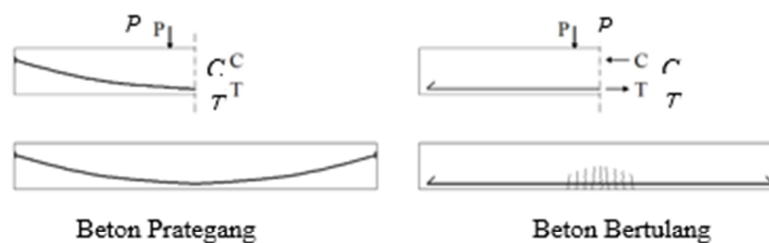


**Gambar 3. 1 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton pategang**

(Sumber: Kadir Abdul 2006)

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, dimana fungsi baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk menahan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Dengan menarik dan memanjangkan baja ke beton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tarik terjadi pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan yang hal ini tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. (Kadir Abdul, 2006). Berikut Gambar 3.2 dibawah ini yang menjelaskan tentang perbedaan antara penampang balok prategang dan balok beton bertulang pada saat diberikan beban.

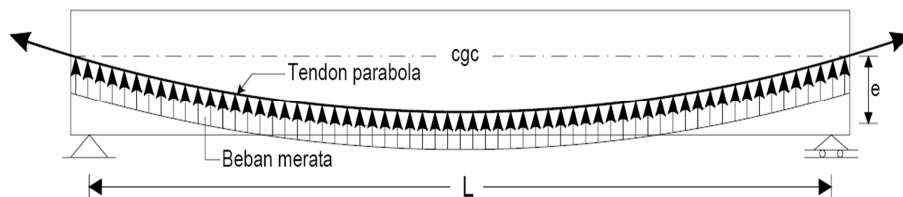


**Gambar 3. 2 Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang**

(Sumber: Kadir Abdul, 2006)

### 3. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah elemen struktur. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga elemen struktur yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan menyederhanakan persoalan baik dalam desain maupun analisis dan struktur yang rumit penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang elemen struktur. Sebagai contoh tendon dengan profil parabola ditarik, maka untuk dapat tetap mempertahankan posisinya diperlukan gaya vertikal ke bawah. Karena tendon terbungkus beton, maka akan timbul gaya keatas menekan beton, yang berlawanan arah dengan gaya untuk mempertahankan posisi tendon. (Kadir Abdul, 2006) lihat Gambar 3.3



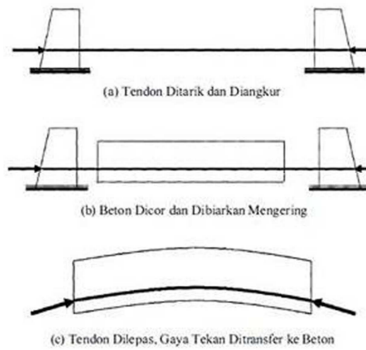
**Gambar 3.3 Balok prategang dengan tendon parabola mencapai perimbangan beban**

(Sumber: Kadir Abdul, 2006)

#### 3.3.2 Sistem Penarikan Baja Prategang

##### 1. Pratarik (*Pretensioning*) dan pengankuran ujung

Pada sistem pratarik, baja prategang ditarik/diregangkan terlebih dahulu dan dijangkarkan pada penahan (*bulkhead*), baru kemudian beton dicor. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.4 di bawah ini.

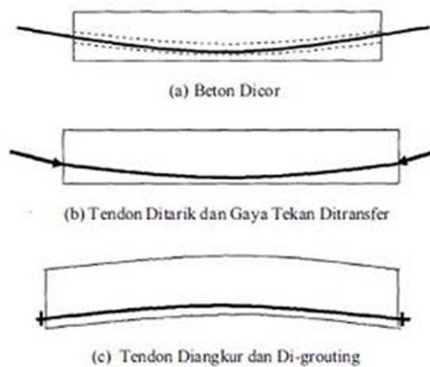


**Gambar 3. 4 Sistem pratarik**

(Sumber: Budiadi Andri 2008)

## 2. Pascatarik (*posttensioning*) dengan metode penarikan kabel

Sistem pascatarik merupakan kebalikan sistem pratarik. Pada cara ini pertama-tama beton dicor / dicetak terlebih dahulu, dengan baja prategang terletak di dalam selongsong (*duck*) juga ikut dicor. Setelah beton mencapai umur / kekuatan tertentu, baja prategang ditarik dan kemudian diangkurkan pada ujung komponen. Untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



**Gambar 3. 5 Sistem pascatarik**

(Sumber: Budiadi Andri 2008)

### 3.3.3 Tahap Pembebanan

Dalam perancangan beton prategang, pembeban tidak hanya ditinjau berdasarkan beban eksternal yang bekerja, seperti beban mati dan beban hidup, tetapi juga terhadap kombinasi dari beban-beban tersebut dengan gaya prategang

yang bekerja pada penampang beton. Diantara tahap pembebanan tersebut yang paling kritis biasanya pada tahap sesaat setelah baja ditegangkan (*initial stage*) dan pada masa pelayanan/akhir (*service/final stage*). (Supriyadi dan Setyo, 2007)

#### 1. *Initial Stage*

*Initial stage* adalah tahap dimana gaya prategang dipindahkan pada beton dan tidak ada beban luar yang bekerja selain berat sendiri. Pada tahap ini gaya prategang maksimum sebab belum ada kehilangan prategangan dan kekuatan beton minimum sebab umur beton masih muda, konsekuensinya tegangan pada beton menjadi kritis. Pada sistem penarikan awal (*pre tensioning*), untuk mempercepat proses penarikan, tendon dilepaskan pada saat beton mencapai (60-80) % kekuatan yang disyaratkan yaitu pada umur 28 hari. Pada sistem penarikan akhir (*post tensioning*), tendon tidak ditarik sekaligus tetapi ditarik dalam dua atau tiga tahap untuk memberikan kesempatan kepada beton untuk mencapai kekuatan yang diisyaratkan gaya prategang diterapkan sepenuhnya. (Naaman, 1982).

#### 2. *Final Stage*

Tahap ini merupakan kondisi paling berat untuk kondisi masa pelayanan, dengan asumsi bahwa semua kehilangan prategang telah terjadi sehingga gaya prategang telah mencapai nilai terkecil dan kombinasi beban luar mencapai nilai terbesar yaitu meliputi berat sendiri, beban mati, beban hidup, beban kejut dan sejenisnya. (Naaman, 1982)

### 3.3 **Abutment Dan Pilar**


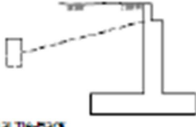




Struktur bawah jembatan terbagi menjadi dua bagian yaitu *Abutmen* (Kepala Jembatan) dan *Pier* (Pilar). Perencanaan *abutment* dan *pier* jembatan menurut Direktorat Jenderal Bina Marga pada Buku Perencanaan Teknik Jembatan, perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Memiliki dimensi yang ekonomis.
2. Kuat menahan beban struktur atas, beban lalu lintas, beban angin dan beban gempa.
3. Kuat menahan tekanan air mengalir, tumbukan benda hanyutan, tumbukan kapal dan tumbukan kendaraan/



*Abutment* merupakan kombinasi dari fungsi pilar dan dinding penahan tanah dengan fungsi mendukung ujung-ujung jembatan dan menyediakan dukungan lateral bagi tanah atau batu disekitar jembatan. Tipe *abutment* untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3. 1 Tipe *Abutment***




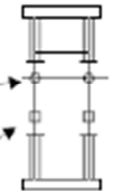

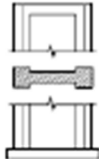
| JENIS PANGKAL                     |  | TINGGI TIFIKAL (m) |    |    |    |
|-----------------------------------|--|--------------------|----|----|----|
|                                   |  | 0                  | 10 | 20 | 30 |
| PANGKAL TEMBOK PENAHAN GRAVITASI  |                       | 3 1                |    |    |    |
| PANGKAL TEMBOK PENAHAN KANTILEVER | <br>Opsi 2: TIA-PILOK | 8                  |    |    |    |
| PANGKAL TEMBOK PENAHAN KONTRAFORT |                      | 0 8                |    |    |    |
| PANGKAL KOLOM SPILL-TROUGH        |                     |                    |    |    |    |
| PANGKAL BALOK CAP TIANG SEDERHANA |                     |                    |    |    |    |
| PANGKAL TANAH BERTULANG           |                     | 5                  | 15 |    |    |

(sumber : Perencanaan Teknik Jembatan, DJBM PU)

Pilar jembatan digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang. Bentuk model pada pilar jembatan dapat berupa masif (*solid*), kotak, bundar, oval dan terdiri dari beberapa kolom. Pilar jembatan Grindulu direncanakan dengan

menggunakan massif (*solid*). Beberapa tipikal bentuk Pilar dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Jenis Pilar

| JENIS PILAR   |   | TINGGI TIPIKAL (m) |    |    |    |
|---|---|--------------------|----|----|----|
|   |   | 0                  | 10 | 20 | 30 |
| <b>PILAR BALOK CAPILANG SEDERHANA</b>   |    |                    |    |    |    |
| Dua baris tiang adalah umumnya minimal  |   |                    |    |    |    |
| <b>PILAR TEMBOK</b>   |    |                    | 5  | 15 |    |
| Ujung bundar dan aliansen tembok sesuai arah aliran membantu mengurangi gaya aliran dan                       |   |                    |    |    |    |
| <b>PILAR TEMBOK</b>   |    |                    | 5  | 25 |    |
| ujung bundar dan aliansen tembok sesuai arah aliran membantu mengurangi gaya aliran dan gerusan lokal         |   |                    |    |    |    |
| <b>PILAR PORTAL SATU TINGKAT (KOLOM GANDA ATAU MAJEMUK)</b>   |   |                    | 5  | 15 |    |
| Dianjurkan kolom sirkular pada aliran arus  |   |                    |    |    |    |
| Pemisahan kolom dengan 2D atau lebih membantu kelancaran aliran arus  |   |                    |    |    |    |
| <b>PILAR PORTAL DUA TINGKAT</b>   |  |                    |    | 15 | 25 |
|   |   |                    |    |    |    |
| <b>PILAR TEMBOK - PENAMPANG 1</b>   |  |                    |    |    | 25 |
| Penampang ini mempunyai karakteristik tidak baik terhadap aliran arus dan dianjurkan untuk penggunaan didarat |   |                    |    |    |    |

(Sumber: Perencanaan Teknik Jembatan, DJBM PU)

Struktur bawah jembatan yang meliputi abutmen dan pilar harus direncanakan berdasarkan perilaku jangka panjang material dan kondisi lingkungan seperti selimut beton digunakan minimal 30 mm (daerah normal) dan minimal 50 mm (daerah agresif).

### 3.4 Pondasi

Pondasi adalah struktur paling bawah dari suatu bangunan. Pondasi suatu bangunan berfungsi untuk meneruskan beban-beban pada struktur atas ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Dasar pondasi harus diletakkan pada tanah keras, apabila tanah keras masih berada pada kedalaman 2 meter dapat digunakan pondasi dangkal. Untuk kedalaman 6 – 8 meter maka harus digunakan pondasi sumuran dan untuk kedalaman lebih dari 8 meter digunakan pondasi tiang pancang atau *bor pile*. (Hary Christady Hardiyatmo, 2003)

Pondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban yang bekerja di atasnya ke tanah. Kegagalan perencanaan pondasi akan mengakibatkan bangunan secara keseluruhan tidak stabil dan mudah runtuh meskipun struktur atas kuat dan aman. Oleh karena itu, data yang diperlukan untuk menentukan jenis pondasi suatu bangunan adalah:

1. Susunan, tebal dan sifat lapisan tanah,
2. Besar, macam dan sifat khusus bangunan,
3. peralatan yang tersedia,
4. beban yang harus didukung,
5. biaya dan tenaga kerja serta lingkungan sekitar bangunan.

Selain data di atas, ada persyaratan teknis lain yang harus diperhatikan dalam merencanakan fondasi, yaitu:

1. tanah dasar harus mampu mendukung beban yang bekerja,
2. tanah dasar harus mampu mendukung beban yang bekerja,
3. fondasi aman terhadap bahaya guling dan geser yang terjadi,
4. dapat menahan tekanan air yang mungkin terjadi,
5. dapat menyesuaikan terhadap kemungkinan terjadi gerakan-gerakan tanah, seperti penyusutan tanah, tanah yang labil, maupun gaya horizontal akibat beban gempa bumi.

Adapun jenis-jenis fondasi sebagai berikut:

1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal yaitu pondasi dengan kedalaman  $< 3$  m. Adapun jenis-jenis pondasi yang termasuk dalam fondasi dangkal yaitu:

- a. Pondasi staal, yaitu pondasi batu kali yang menerus dan biasanya digunakan pada rumah tinggal sederhana.
- b. Pondasi plat kaki (*foot plat*) yaitu pondasi yang berbentuk plat dengan pembebanan terbalik dan kedalaman pondasinya  $\pm 2,5$  m.

## 2. Pondasi dalam

Pondasi dalam yaitu pondasi dengan kedalaman  $\geq 3$  m. Adapun jenis-jenis pondasi yang termasuk dalam pondasi dalam yaitu:

- a. Pondasi tiang pancang, yaitu pondasi yang dikerjakan dengan cara tiang pondasi dibuat terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tanah. Untuk memasukkan tiang ke dalam tanah sampai dengan kedalaman yang direncanakan adalah dengan cara memukul kepala tiang berulang kali dengan menggunakan palu khusus.
- b. Pondasi tiang bor, yaitu pondasi yang dikerjakan dengan cara membuat lubang bor dengan diameter yang direncanakan. Umumnya tulangan yang telah dirangkai kemudian dimasukkan ke dalam lubang tersebut dan diikuti dengan pengisian material beton ke dalam lubang bor tersebut.

Berdasarkan data yang tersedia dan dengan berbagai pertimbangan teknis kondisi di lapangan, maka jembatan Grindulu direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang untuk *pier* dan *abutment*.

### 3.5 Pembebanan

Pembebanan untuk analisis kekuatan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Penggunaan jembatan ini dimaksudkan agar dapat mencapai kekuatan yang aman dan ekonomis sesuai dengan kondisi setempat sehingga proses analisis kekuatan jembatan menjadi efektif. Pada analisis ini yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan adalah SNI 1725-2016 yaitu tentang pembebanan untuk jembatan.

Beban rencana yang diperhitungkan berdasarkan peraturan yang dijelaskan. Pada desain jembatan grindulu ini beban rencana yang diperhitungkan terdiri dari:

1. Beban Permanen
2. Beban lalu lintas
3. Beban dari lingkungan
4. Beban lainnya

### 3.6.1 Beban Permanen

Beban permanen merupakan beban mati yang diakibatkan oleh berat sendiri dari bagian-bagian struktur jembatan. Massa setiap bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar rencana dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi sebesar  $9,81 \text{ m/detik}^2$ .

#### 1. Berat Sendiri

Berat sendiri jembatan adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetpa dengannya yang terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non struktural.

##### b. Perencanaan lantai kendaraan

$$\text{Berat plat dipakai} = 22 + 0,022 f'c \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\text{Berat perkerasan aspal dipakai} = 22 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

##### c. Perencanaan gelagar jembatan

$$\text{Berat sendiri gelagar} = 22 + 0,022 f'c \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

(Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 7.1 Tabel 2)

#### 2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan seperti :

##### a. Pelapisan ulang permukaan aspal (*overlay*) dianggap sebesar 50 mm.

$$\gamma_{\text{aspal}} = 22 \text{ kN/m}^3.$$

##### b. Sandaran, pagar pengaman dan penghalang beton.

##### c. Sarana umum seperti pipa air, lampu jalan

##### d. Genangan air hujan = $9,8 \text{ kN/m}^3$ .

(Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 7.3).

### 3. Beban Akibat Tanah

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung dari sifat-sifat tanah seperti berat volume tanah, kohesi, dan sudut geser tanah. Tanah dibelakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan arah lateral saja.

### 4. Rangkak dan Susut (*Creep and Shrinkage*)

Pengaruh rangkak dan penyusutan (*creep and shrinkage*) harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini harus dihitung dengan menggunakan beban mati dari jembatan.

### 5. Pengaruh Prategang (*Prestress*)

*Prestressing* akan menyebabkan pengaruh momen sekunder pada elemen struktur yang terkekang (*restrain*) pada struktur statik tak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas layan maupun batas *ultimate*. Efek dari prategang harus diperhitungkan sebelum (selama konstruksi) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lain.

## 3.6.2 Beban Lalu Lintas

### 1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata (BTR) dan beban garis terpusat (BTR). 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.

- a. Beban terbagi merata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang bentang total  $L$  yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

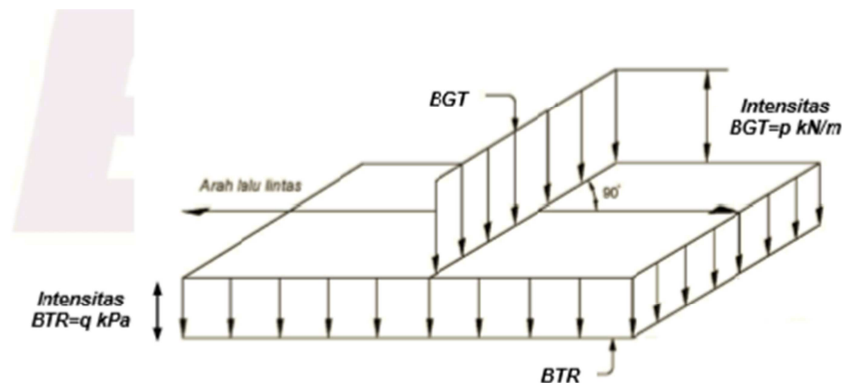
$$\begin{aligned} L \leq 30 \text{ m} & \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa} \quad ; \\ L \geq 30 \text{ m} & \rightarrow q = 9,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \end{aligned} \quad (3.1)$$

(Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 8.3).

“*L*” merupakan jumlah dari panjang masing-masing beban terputus tersebut. Beban lajur “*D*” ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.6. Beban garis (BGT) ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

- b. Beban garis (BGT) ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. Dalam perencanaan ini BGT ditempatkan ditengah bentang untuk mendapatkan momen terbesar di tengah bentang.

BGT mempunyai intensitas,  $p = 49,0 \text{ kN/m}$ , (Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 8.3).



**Gambar 3. 6 Beban Lajur “D”**

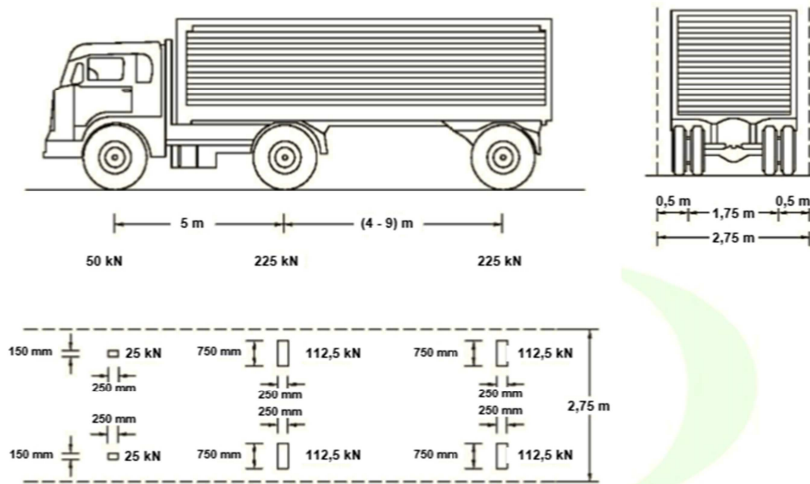
(Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 8.3)

Ketentuan penyebaran beban “*D*” pada arah melintang jembatan digunakan intensitas 100% agar diperoleh momen dan geser arah longitudinal pada gelagar jembatan.

## 2. Beban *Truck* “*T*”

Pembebanan truk “*T*” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam gambar. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah antara

4.0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan

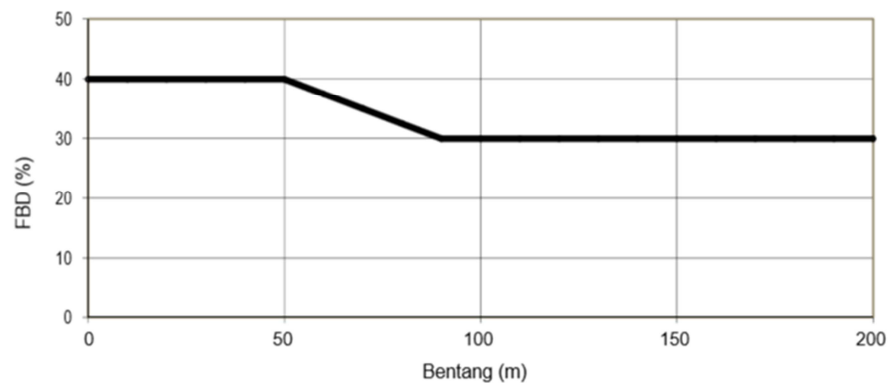


**Gambar 3. 7 Beban Truck "T"**

(Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 8.4)

### 3. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Faktor beban dinamis berlaku untuk pembebanan "D" dan pembebanan truk "T" untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Beban garis FBD dapat dilihat pada Grafik 3.1



**Grafik 3. 1 Faktor Beban Dinamis (FBD)**

(Sumber: SNI 1725:2016)



**Tabel 3. 3 Faktor beban dinamik untuk beban garis KEL**

| BENTANG EKUIVALEN $L_E$ (m) | FBD (untuk kedua keadaan batas) |
|-----------------------------|---------------------------------|
| $L_E \leq 50$               | 0.4                             |
| $50 < L_E < 90$             | $0,525 - 0.0025 (L_E)$          |
| $L_E \geq 90$               | 0.3                             |

Catatan :

Untuk bentang sederhana  $L_E =$  panjang bentang aktual

$$\text{Untuk bentang menerus } L_E = \sqrt{L_{rata-rata} - L_{maks}} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$L_{rata-rata}$  = panjang bentang rata-rata dari bentang-bentang menerus.

$L_{maks}$  = panjang bentang maksimum dari bentang-bentang menerus

#### 4. Gaya Rem

Gaya rem dianggap bekerja horizontal searah sumbu jembatan pada jarak 1,8 m dari permukaan lantai kendaraan. Pengaruh ini harus diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar :

- a. 25% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR atau,
- b. 5% dari berat gandar truk desain

#### 5. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki ( TP )

Semua elemen dari trotoar yang lebih lebar dari 6 m atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan masing-masing lajur kendaraan.

### 3.6.3 Beban Lingkungan

#### 1. Beban Angin

- a. Angin pada struktur ( EWs )

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen yang diambil tegak lurus terhadap arah angin.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.3)$$

Keterangan :

$V_{DZ}$  = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi 10 m diatas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana 90 – 126 km/jam

$V_B$  = kecepatan angin rencana 90 – 126 km/jam

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung

$V_0$  = kecepatan gesekan angin (Tabel 3.4)

$Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan (Tabel 3.4)

**Tabel 3. 4 Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagi variasi kondisi permukaan hulu**

| Kondisi        | Lahan Terbuka | Sub urban | Kota  |
|----------------|---------------|-----------|-------|
| $V_0$ (km/jam) | 13,2          | 17,6      | 19,3  |
| $Z_0$ (mm)     | 70            | 1000      | 25000 |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Sehingga, beban angin pada struktur dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.4)$$

dengan :

$P_B$  = tekanan angin dasar (tabel 3.5)

**Tabel 3. 5 Tekanan Angin Dasar**

| Komponen bangunan atas        | Angin tekanan (MPa) | Angin Hisap (Mpa) |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| Rangka, kolom, dan pelengkung | 0,0024              | 0,0012            |
| Balok                         | 0,0024              | N/A               |
| Permukaan datar               | 0,0019              | N/A               |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Nilai  $P_D$  harus lebih besar dari 4,4 kN/m.

Untuk struktur bawah tenakanan angin dasar sebesar 0,0019 Mpa.

b. Beban angin pada kendaraan ( EW1 )

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan yang diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar  $1,46 \text{ N/mm}$

2. Beban Gempa ( EQ )

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Besarnya beban gempa ( $E_q$ ) diambil sebagai gaya horisontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut :

$$R_d = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3.5)$$

Keterangan :

$E_q$  = gaya gempa horizontal (kN)

$C_{sm}$  = koefisien respon gempa elastis

$R_d$  = faktor modifikasi respon

$W_t$  = berat total struktur terdiri dari beban mati beserta tambahan (kN)

Koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan.

1) Prosedur analisis

Analisis seismik tidak harus dilakukan untuk jembatan dengan bentang sederhana. Hubungan antara bangunan atas dan bangunan bawah direncanakan dapat menahan gaya inersia yaitu perkalian reaksi beban mati dengan koefisien gempa.

Pilihan prosedur perencanaan tergantung pada tipe jembatan. Besarnya koefisien akselerasi gempa dan tingkatan kecermatan. Terdapat empat prosedur analisis, dinamika prosedur 1 dan 2 sesuai untuk perhitungan tangan dan digunakan untuk jembatan beraturan yang terutama bergetar dalam moda pertama. Prosedur 3 dapat diterapkan pada jembatan tidak beraturan yang bergetar dalam beberapa moda sehingga diperlukan program analisis rangka ruang dengan kemampuan dinamis. Prosedur 4 diperlukan untuk struktur utama dengan geometric yang rumit dan atau berdekatan dengan gempa aktif.

**Tabel 3. 6 Kategori Kinerja Seismik**

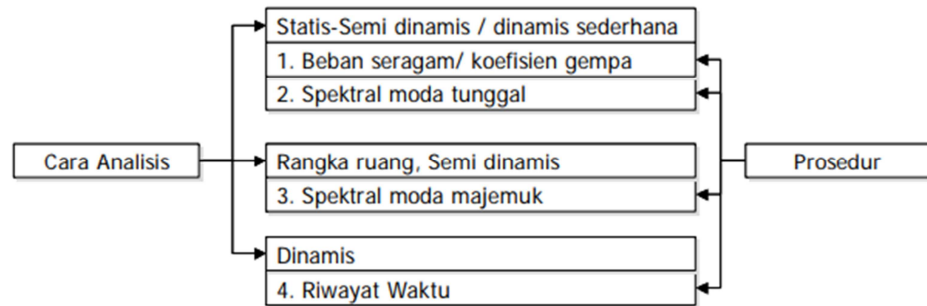
| Koefisien kecepatan puncak di batuan dasar ( $A/g$ ) | Klasifikasi Jembatan Utama | Klasifikasi Jembatan Biasa |
|--|----------------------------|----------------------------|
| > 0,3  | D                          | C                          |
| 0,2 – 0,29   | C                          | B                          |
| 0,11 – 0,19  | B                          | B                          |
| < 0,1  | A                          | A                          |

(sumber : SNI 2833:2008)

**Tabel 3. 7 Prosedur Analisis Berdasarkan Kategori Seismik (A-D)**

| Jumlah Bentang                         | D | C | B | A |
|--|---|---|---|---|
| Tunggal Sederhana                      | 1 | 1 | 1 | - |
| 2 lebih atau menerus                   | 2 | 1 | 1 | - |
| 2 atau lebih dengan 1 sendi            | 3 | 2 | 1 | - |
| 2 atau lebih dengan 2 atau lebih sendi | 3 | 3 | 1 | - |
| Struktur rumit                         | 4 | 3 | 2 | 1 |

(sumber : SNI 2833:2008)



**Gambar 3. 8** Prosedur Analisis Tahan Gempa

(sumber : SNI 2833:2008)

Gaya seismik rencana ditentukan dengan membagi gaya elastis dengan faktor modifikasi respon ( $R_d$ ) sesuai tingkatan daktilitas

**Tabel 3. 8** Faktor Modifikasi Respon

|                    | Kolom atau Pilar                  | Penghubung (connection) bangunan atas pada |                         |                    |
|--------------------|-----------------------------------|--|-------------------------|--------------------|
|                    |                                   | Kepala jembatan                            | Kolom, pilar atau tiang | Sambungan dilatasi |
| Pilar tipe dinding | 2 (sumbu kuat)<br>3 (sumbu lemah) | 0,8  | 1                       | 0,8                |
| Kolom tunggal      | 3-4                               |  |                         |                    |
| Kolom majemuk      | 5-6                               |  |                         |                    |
| Pile cap beton     | 2-3                               |  |                         |                    |

(sumber : SNI 2833:2008)

2) Koefisien geser dasar (*base shear*)

Koefisien geser dasar ( $C_{sm}$ ) elastis untuk analisis dinamis dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{\frac{2}{3}}} \quad (3.6)$$

Dengan:

A = akselerasi puncak di batuan dasar

T = periode struktur alami (detik)

S = koefisien tanah

Wilayah pacitan pada struktur ini termasuk dalam zona 3 dalam peta wilayah gempa Indonesia seperti pada gambar



**Gambar 3. 9 Peta Zona Gempa Wilayah Indonesia Periode 500 tahun**

(sumber : SNI 2833:2008)

**Tabel 3. 9 Koefisien Tanah (S)**

| Tanah Keras | Tanah Sedang | Tanah Lembek |
|-------------|--------------|--------------|
| 1           | 1,2          | 1,5          |

(sumber : SNI 2833:2008)

Akselerasi puncak (PGA) untuk periode ulang 50 tahun, 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 3.10

**Tabel 3. 10 Akselerasi Puncak PGA Di Batuan Dasar Sesuai Periode Ulang**

| PGA (g)   | 50 tahun  | 100 tahun | 200 tahun | 500 tahun | 1000 tahun |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Wilayah 1 | 0,34-0,38 | 0,40-0,46 | 0,47-0,53 | 0,53-0,60 | 0,59-0,67  |
| Wilayah 2 | 0,29-0,32 | 0,35-0,38 | 0,40-0,44 | 0,46-0,50 | 0,52-0,56  |
| Wilayah 3 | 0,23-0,26 | 0,27-0,30 | 0,32-0,35 | 0,36-0,40 | 0,40-0,45  |
| Wilayah 4 | 0,17-0,19 | 0,20-0,23 | 0,23-0,26 | 0,26-0,30 | 0,29-0,34  |
| Wilayah 5 | 0,10-0,13 | 0,11-0,15 | 0,13-0,18 | 0,15-0,20 | 0,17-0,22  |
| Wilayah 6 | 0,03-0,06 | 0,04-0,08 | 0,04-0,09 | 0,05-0,10 | 0,06-0,11  |

(sumber : SNI 2833:2008)

### 3) Pengaruh Inersia

Gaya inersia diperhitungkan pada setiap unit getaran rencana (*vibration unit*) yang sesuai dengan anggapan struktur untuk periode alami (T). gaya inersia dalam dua arah horizontal bekerja umumnya dalam arah sumbu jembatan dan arah tegak lurus sumbu jembatan

### 4) Periode alami jembatan

Rumus periode alami (T) ditentukan berdasarkan sistem dinamis dengan satu derajat kebebasan tunggal sebagai berikut:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{Wt}{gK}} \quad (3.7)$$

Dengan :

Wt = berat total struktur terdiri dari beban mati beserta tambahan (kN)

K = konstanta kekakuan (kN/m)

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

### 3. Pengaruh dari Temperatur ( ET )

Deformasi akibat perubahan temperatur yang dapat dihitung untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.11 dan Tabel 3.12. Perbedaan antara temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam tabel harus digunakan sebagai  $T_{min}$  dan  $T_{max}$  pada persamaan berikut :

$$\Delta_T = \alpha L ( T_{max\ design} - T_{min\ design} ) \quad (3.8)$$

Dengan:

$\alpha$  = koefisien muai temperature

L = panjang komponen jembatan

Besaran rentang simpangan akibat beban temperature ( $\Delta T$ ) harus berdasarkan temperature maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

**Tabel 3. 11 Temperatur Jembatan Rata-rata Normal**

| Tipe Bangunan Atas                                      | Temperatur Jembatan Rata-rata minimum | Temperatur Jembatan Rata-rata maksimum |
|---|---------------------------------------|--|
| Lantai beton di atas gelagar atau boks beton            | 15° C                                 | 40° C                                  |
| Lantai beton diatas gelagar, boks atau rangka baja      | 15° C                                 | 40° C                                  |
| Lantai pelat baja diatas gelagar, boks atau rangka baja | 15° C                                 | 45° C                                  |

(Sumber: SNI 1725:2016)

**Tabel 3. 12 Sifat Bahan Rata-rata Akibat Pengaruh Pengaruh Temperatur**

| Bahan               | Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu | Modulus Elastisitas MPa |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Baja                | $12 \times 10^{-6}$ per ° C        | 200.000                 |
| Beton :             |                                    |                         |
| Kuat tekan < 30 MPa | $10 \times 10^{-6}$ per ° C        | $4700 \sqrt{f'_c}$      |
| Kuat tekan > 30 MPa | $11 \times 10^{-6}$ per ° C        | $4700 \sqrt{f'_c}$      |

(Sumber: SNI 1725:2016)

#### 4. Gaya Akibat Aliran Air dan Tumbukan Benda Hanyut

Semua Pilar dan bagian-bagian dari bangunan jembatan yang mengalami gaya-gaya aliran air dan benda hanyutan, harus diperhitungkan dapat menahan tegangan-tegangan maksimum akibat gaya-gaya tersebut. Menurut SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung kepada kecepatan sebagai berikut:

$$TEF = 0,5 C_D V S^2 A_d \quad (3.9)$$



dengan :

$A_d$  = Luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran dengan tinggi sama dengan kedalaman air hujan (m<sup>2</sup>)

$V_S$  = kecepatan aliran air rata-rata saat banjir pada periode ulang tertentu, (3 m/s<sup>2</sup>)

$C_D$  = koefisien seret (lihat tabel)

**Tabel 3. 13 Koefisien Seret**

| Bentuk Pilar | $C_D$ |
|--------------|-------|
| Persegi      | 1,4   |
| Bersudut     | 0,8   |
| Bundar       | 0,7   |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Hanyutan (TEF)

$$TEF = 0,5 C_L V_S^2 A_d$$

dengan :

$C_L$  = 1,04

$V_S$  = kecepatan aliran air rata-rata saat banjir pada periode ulang tertentu

$A_d$  = Luas proyeksi benda hanyutan tegak lurus arah aliran (m<sup>2</sup>)

$h$  = kedalaman (diambil = 1,2 m didalam muka air banjir)

$b$  = lebar benda hanyutan, setengah panjang dan harus < 20 m

Tumbukan dengan Kayu

Akibat tumbukan dengan kayu dapat dihitung dengan rumus :

$$TEF = \frac{M.V a^2}{d} \quad (3.10)$$

dengan :

$M$  = Massa batang kayu (2 ton)

$V_s$  = kecepatan aliran air rata-rata saat banjir pada periode ulang tertentu

$V_a$  = Kecepatan aliran permukaan pada saat banjir (m/s) = 1,4 x  $V_s$

$d$  = Lentutan Elastis Ekuivalen (m) (lihat tabel)

**Tabel 3. 14 Nilai Lendutan Elastis**

| Tipe Pilar         | d (m) |
|--------------------|-------|
| Pilar beton massif | 0,075 |
| Pilar beton portal | 0,15  |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Untuk kombinasi diambil nilai terbesar dari :

- 1) Kombinasi : gaya seret + gaya akibat benda hanyut
- 2) Kombinasi : gaya seret + gaya akibat tumbukan batang kayu

### 3.6.4 Beban Lainnya

Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung berdasarkan beban tetap dikalikan dengan koefisien untuk perletakan yang bersangkutan.

$$T_{FB} = \mu \times (P_{MS} + P_{MA}) \quad (3.11)$$

$P_{MS}$  = aksi tetap berat sendiri struktur atas ( kN )

$P_{MA}$  = aksi tetap beban mati tambahan struktur atas ( kN )

$\mu$  = koefisien gesek

Untuk jenis perletakan berupa elastomeric, koefisien gesek rata-rata dapat diambil sebesar 0,18.

### 3.6 Kombinasi Pembebanan

Untuk mendesain struktur jembatan, digunakan nilai terbesar dari kombinasi pembebanan pada keadaan ultimit. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam desain jembatan Grindulu dapat dilihat pada tabel 3.11 berikut ini.

**Tabel 3. 15 Kombinasi Pembebanan Struktur Atas Jembatan**

| beban                     | keadaan batas |         |          |         |        |           |         |          |           |          |
|---------------------------|---------------|---------|----------|---------|--------|-----------|---------|----------|-----------|----------|
|                           | Kuat I        | Kuat II | Kuat III | Kuat IV | Kuat V | Ekstrem I | Layan I | Layan II | Layan III | Layan IV |
| MS (mati)                 | 1.2           | 1.2     | 1.2      | 1.2     | 1.2    | 1.2       | 1       | 1        | 1         | 1        |
| MA (mati tambahan)        | 2             | 2       | 2        | 2       | 2      | 2         | 1       | 1        | 1         | 1        |
| PR (prategang)            | 1             | 1       | 1        | 1       | 1      | 1         | 1       | 1        | 1         | 1        |
| SH (susut/rangkak)        | 0.5           | 0.5     | 0.5      | 0.5     | 0.5    | 0.5       | 1       | 1        | 1         | 1        |
| TD (lajur)                | 1.8           | 1.4     | -        | -       | -      | 0.5       | 1       | 1.3      | 0.8       | -        |
| TT (lajur)                | 1.8           | 1.4     | -        | -       | -      | 0.5       | 1       | 1.3      | 0.8       | -        |
| TB (rem)                  | 1.8           | 1.4     | -        | -       | -      | 0.5       | 1       | 1.3      | 0.8       | -        |
| TP (pejalan kaki)         | 1.8           | 1.4     | -        | -       | -      | 0.5       | 1       | 1.3      | 0.8       | -        |
| Arus Air (EU)             | 1             | 1       | 1        | 1       | 1      | 1         | 1       | 1        | 1         | 1        |
| EWs (angin struktur)      | -             | -       | 1.4      | -       | 0.4    | -         | 0.3     | -        | -         | 0.7      |
| EWL (angin kendaraan)     | -             | -       | -        | -       | 1      | -         | 1       | -        | -         | -        |
| BF (gesekekan perletakan) | 1             | 1       | 1        | 1       | 1      | 1         | 1       | 1        | 1         | 1        |
| Eun (temperatur seragam)  | 1             | 1       | 1        | 1       | 1      | -         | 1       | 1        | 1         | 1        |
| TG (temperatur gradien)   | -             | -       | -        | -       | -      | -         | 0.5     | -        | 0.5       | -        |
| EQ (gempa)                | -             | -       | -        | -       | -      | 1         | -       | -        | -         | -        |

### 3.7 Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Perencanaan struktur atas jembatan penting untuk diperhatikan karena dari struktur atas sebagian besar beban-beban eksternal pertama kali bekerja pada jembatan dan beban-beban tersebut akan diteruskan ke struktur bawah. Perencanaan struktur atas Jembatan Grindulu meliputi perencanaan tiang sandaran, slab lantai kendaraan dan perencanaan balok prategang dengan bentang 60 meter.

#### 3.8.1 Perencanaan Dinding Pagar Tepi (*Barrier*)

Dinding pagar tepi (*barier*) atau dinding sandaran merupakan kelengkapan jembatan yang berfungsi untuk keselamatan sekaligus untuk membuat struktur lebih kaku. Secara umum, dinding pagar tepi direncanakan dengan tinggi  $\pm 0,9 - 1,0$  meter dari permukaan trotoar. Pada perencanaan dinding pagar tepi Grindulu dengan tinggi 1 meter dari permukaan trotoar. Untuk perencanaan dinding pagar tepi dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

1. Pembebanan dinding pagar tepi

Perhitungan dinding pagar tepi dengan menggunakan rumus dan tahapan seperti berikut:

$$H = w' \cdot L \quad (3.12)$$

$$V = K \cdot H \quad (3.13)$$

Perhitungan momen *ultimate* rencana:

$$M = H \cdot y \quad (3.14)$$

$$M_u = K \cdot M \quad (3.15)$$

dengan:

$w'$  : beban rencana horizontal pada dinding pagar tepi

$L$  : jarak antara dinding pagar tepi

$y$  : lengan terhadap sisi bawah dinding pagar tepi

$H$  : gaya horizontal pada dinding pagar tepi

$M$  : momen pada dinding pagar tepi

K : faktor beban ultimate

## 2. Perencanaan tulangan dinding pagar tepi

Perhitungan tulangan dinding pagar tepi dengan menggunakan rumor-rumus dan tahapan sebagai berikut:

Setelah mendapat nilai Mu seperti pada langkah nomor 1, maka momen nominal dihitung dengan rumus seperti berikut.

$$M_n = \frac{M}{\phi} \quad (3.16)$$

Setelah didapat Momen nominal ( $m_n$ ) maka dicari faktor tahanan momen dengan rumus seperti berikut.

$$R_n = \frac{M}{(b \cdot d^2)}, R_n < R_{max} \quad (3.17)$$

Dengan faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \left( 1 - \frac{0,5 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c} \right) \quad (3.18)$$

Dan rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang,

$$\rho_b = \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.19)$$

Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho = 0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{(0,85 \cdot f'_c)}} \right) \quad (3.20)$$

Rasio tulangan yang digunakan harus lebih besar atau sama dengan  $\rho_{min}$  dan harus lebih kecil atau sama dengan  $\rho_{max}$ . Adapun rumus untuk  $\rho_{min}$  dan  $\rho_{max}$  seperti berikut.

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{min} = \left( \frac{1,4}{f_y} \right) \quad (3.21)$$

$$\text{Rasio tulangan maximum, } \rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.22)$$

$$\text{Rasio tulangan pakai, } \rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \quad (3.23)$$

Setelah diperoleh rasio tulangan yang memenuhi syarat, maka dapat dihitung luas tulangan pakai dengan rumus seperti berikut.

$$\text{Luas tulangan pakai, } A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3.24)$$

Setelah didapat luas tulangan pakai, maka dapat dicari jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dengan cara membagi luas tulangan pakai ( $A_s$ ) dengan luas tulangan yang ditentukan dan nilai n dibulatkan ke atas.

$$\text{Jumlah tulangan yang diperlukan, } n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} \quad (3.25)$$

dengan:

- $f'_c$  : kuat tekan beton
- $f_y$  : tegangan leleh baja
- $b$  : lebar dinding pagar tepi
- $d$  : tebal efektif dinding pagar tepi
- $D$  : diameter tulangan yang digunakan

### 3. Perencanaan tulangan geser dinding pagar tepi

Tulangan geser pada dinding pagar tepi berfungsi untuk mengikat tulangan lentur dan menahan dinding pagar tepi agar tidak retak / rusak akibat gaya geser. Untuk menentukan tulangan geser tiang sandaran digunakan rumus dan tahapan sebagai berikut :

Gaya geser *ultimate*

$$V_u = \frac{Mu}{L} \quad (3.26)$$

Kuat geser nominal beton

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b \cdot d \quad (3.27)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi V_c < V_u \text{ (perlu tulangan geser)} \quad (3.28)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi V_c > V_u \text{ (tidak memerlukan tulangan geser)} \quad (3.29)$$

Jika elemen tiang sandaran memerlukan tulangan geser, maka dilanjutkan dengan mencari kuat geser yang harus ditahan oleh baja tulangan geser ( $V_s$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.30)$$

Luas tulangan geser sengkang

$$A_v = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (3.31)$$

Jarak tulangan geser yang diperlukan

$$s = A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{V_s} \quad (3.32)$$

Keterangan :

$V_u$  = gaya geser *ultimate* rencana

$f'_c$  = kuat tekan beton

$f_y$  = tegangan leleh baja

$b$  = lebar dinding pagar tepi

$d$  = tebal efektif dinding pagar tepi

$D$  = diameter tulangan yang digunakan

### 3.8.2 Perencanaan Lantai (*Slab*) Jembatan

Lantai jembatan berfungsi sebagai lantai untuk lalu lintas, merupakan pelat sedemikian sehingga mampu mendukung beban. Biasanya dipasang pada arah melintang jembatan diatas gelagar. Pada perencanaan struktur atas Jembatan Grindulu direncanakan menggunakan pelat satu arah. Pelat satu arah yaitu pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, ataupun pelat yang ditumpu pada keempat sisinya tetapi  $L_y/L_x > 2$ , sehingga hampir seluruh beban dilimpahkan pada sisi pendek.

Tahapan perencanaan lantai jembatan sebagai berikut :

#### 1. Pembebanan pelat lantai

Perhitungan momen *ultimate* rencana slab kendaraan dengan menggunakan rumus-rumus dan tahapan sebagai berikut:

$$M_u = K_{.MS} + K_{.MA} + K_{.IT} + K_{.EWI} \quad (3.33)$$

dengan:

$MS$  = Momen yang ditimbulkan akibat berat sendiri

$MA$  = Momen yang ditimbulkan akibat beban mati tambahan

$TT$  = Momen yang ditimbulkan akibat beban truk

$EWI$  = Momen yang ditimbulkan akibat angin pada kendaraan

$K$  = Faktor beban *ultimate*

## 2. Perencanaan tulangan pelat lantai

Perencanaan tulangan pada pelat lantai adalah sama seperti pada perhitungan tulangan dinding pagar tepi. Namun demikian ada sedikit perbedaan yaitu pada perencanaan tulangan pelat lantai juga dihitung tulangan susut, tulangan susut tersebut berfungsi mencegah terjadinya susut atau retak-retak pada pelat lantai. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari luas tulangan susut yang dibutuhkan adalah seperti pada Tabel 3.14 berikut ini.

**Tabel 3. 16 Luas tulangan susut yang dibutuhkan**

| Mutu Baja ( $f_y$ ) | Luas Tulangan Susut = Asst   |
|---------------------|------------------------------|
| $\leq$ BJTD - 30    | 0,0020.b.h                   |
| BJTD - 40           | 0,0018.b.h                   |
| $\geq$ BJTD - 40    | $0,0018.b.h \frac{400}{f_y}$ |

### 3.8.3 Perencanaan Penampang Balok

Balok/gelagar pada jembatan berfungsi mendukung semua beban yang bekerja pada struktur atas jembatan, kemudian diteruskan ke struktur bawah jembatan. Pada analisis kekuatan jalan layang ini menggunakan beton prategang dengan bentang sederhana. Tipe box girder pada jembatan bentang panjang dinilai memiliki kekuatan lentur lebih tinggi dan kekakuan torsional yang lebih baik dibandingkan bentuk lainnya. Desain jembatan Grindulu ini menggunakan



*prestressed concrete box girder* penampang *Single Twin Cellular*. Perencanaan balok beton prategang didasarkan atas beban kerja, tegangan ijin dan asumsi yang didasarkan pada RSNIT-12-2004. Persamaan terdiri atas beberapa tahapan, yaitu :

1. Pemilihan bentuk dan ukuran penampang
2. Peninjauan besar gaya prategang dan eksentrisitas tendon
3. Penentuan tata letak/layout tendon disepanjang balok
4. Pemeriksaan terhadap tegangan-tegangan yang terjadi, kuat/kapasitas penampang pada kondisi batas, lendutan, geser dan sebagainya.

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Baja mutu tinggi merupakan bahan yang umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Baja mutu tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga bentuk kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*) dan batang (*bar*). Untaian kawat (*strand*) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan spesifikasi ASTM A - 416 yang mempunyai kekuatan batas derajat 1676 MPa atau 1860 MPa. *Strand 7* kawat mempunyai sebuah kawat ditengah yang sedikit lebih besar dari keenam kawat sebelah luar yang membungkusnya. Sifat dan karakteristik *strand* terlihat dalam Tabel 3.17 berikut ini.

**Tabel 3. 17 Sifat-sifat *strand* 7 kawat (ASTM A-416)**

| Diameter nominal<br>(mm) | Kekuatan putus<br>(kN) | Luas nominal <i>strand</i><br>(mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|------------------------|--|
| *Derajat 1720 MPa        |                        |  |
| 6,35                     | 40                     | 23,22  |
| 7,94                     | 64,5                   | 37,42  |
| 9,53                     | 89                     | 51,61  |
| 11,11                    | 120,1                  | 69,68  |
| 12,7                     | 160,1                  | 92,9   |
| 15,24                    | 240,2                  | 139,35   |
| *Derajat 1860 MPa        |                        |  |
| 9,53                     | 102,3                  | 54,84  |
| 11,11                    | 137,9                  | 74,19  |
| 12,7                     | 183,7                  | 98,71  |
| 15,24                    | 260,7                  | 140  |

Tipe *strand* yang digunakan pada Jembatan Grindulu adalah 7 *wires strand* derajat 1860 MPa dengan diameter *strand* 15,24 mm, luas nominal 260,7 mm<sup>2</sup>, kekuatan putus 260,7 kN.

Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan penampang balok yaitu Tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur dan tegangan ijin tendon prategang seperti berikut ini.

1. Tegangan ijin beton saat transfer untuk struktur lentur tidak boleh melebihi nilai berikut:
  - a. Serat terluar mengalami tegangan tekan ( $f_{ci}$ )  $\leq 0,60 \cdot f'_c$
  - b. Serat terluar mengalami tegangan tarik ( $f_{ti}$ )  $\leq 0,25 \cdot \sqrt{f'_c}$
2. Tegangan ijin beton saat akhir untuk struktur lentur tidak boleh melampaui nilai berikut:
  - a. Serat terluar mengalami tegangan tekan ( $f_{cs}$ )  $\leq 0,45 \cdot f'_c$
  - b. Serat terluar mengalami tegangan tarik ( $f_{ts}$ )  $\leq 0,50 \cdot \sqrt{f'_c}$
3. Tegangan ijin tarik tendon prategang ( $f_{ps}$ ) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Akibat gaya pengangkutan tendon  $\leq 0,94 \cdot f_{py}$ , tetapi tidak lebih besar dari  $0,85 \cdot f_{pu}$ .
- b. Sesaat setelah pemindahan gaya pratekan  $\leq 0,82 \cdot f_{py}$ , tetapi tidak lebih besar dari  $0,74 \cdot f_{pu}$ .
- c. Tendon paskatarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya  $\leq 0,60 f_{pu}$ .

dengan:

- $f_{ps}$  : tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya
- $f_{py}$  : kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan
- $f_{pu}$  : kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan

#### 3.8.4 Analisis Prategangan

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris (Khrisna 1988) pada dasarnya baik pada sistem pratarik maupun sistem paskatarik, pola tegangan umumnya ditinjau/diperiksa pada dua keadaan yang berbeda, yaitu pada saat awal (saat transfer) dan saat akhir/layan/saat *service*. Pada desain struktur atas Jembatan Grindulu ini menggunakan sistem paskatarik.

##### 1. Pemeriksaan tegangan pada saat keadaan awal (saat transfer)

Pemeriksaan tegangan saat transfer adalah pemeriksaan tegangan pada saat awal penarikan tendon. Beban-beban yang diperhitungkan yaitu gaya prategang awal dan berat sendiri balok dan dimungkinkan sebagian beban mati dan hidup telah bekerja. Penampang yang digunakan untuk perhitungan mencari propertis penampang digunakan penampang *netto*/bersih. Berikut ini rumus yang digunakan untuk menganalisis tegangan-tegangan beton yang terjadi pada serat atas dan serat bawah pada saat transfer.

Beban-beban yang diperhitungkan adalah:

- a. Gaya prategang awal,  $P_o$  (gaya prategang sebelum terjadi kehilangan tegangan/gaya prategang)

b. Beban berat sendiri  $M_{BS}$

Distribusi tegangan – tegangan awal di tengah bentang saat transfer

a. Pada serat atas,

$$f_t = -\frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 \cdot e}{S_a} - \frac{M_{BS}}{S_a} \quad (3.34)$$

b. Pada serat bawah,

$$f_b = -\frac{P_0}{A_c} - \frac{P_0 \cdot e}{S_b} + \frac{M_{BS}}{S_b} \quad (3.35)$$

Dimana :

$P_0$  = gaya prategang awal

$A_C$  = luas penampang balok

$e$  = eksentrisitas

$y_a$  = jarak titik berat penampang ke sisi atas

$y_b$  = jarak titik berat penampang ke sisi bawah

$M_{BS}$  = momen akibat beban berat sendiri balok

$S_a$  = Section Modulus Atas

$S_b$  = Section Modulus Bawah

## 2. Pemeriksaan tegangan pada saat akhir (saat layan/*service*)

Pemeriksaan tegangan pada saat keadaan akhir (saat layan) adalah pemeriksaan pada saat seluruh beban transversal sudah bekerja. Penampang yang digunakan untuk perhitungan propertis yaitu penampang transformasi untuk tendon terikat (*bounded*) dan penampang *netto* untuk tendon tak terikat (*unbounded*)

Beban-beban yang bekerja/diperhitungkan adalah:

a. Gaya prategang efektif  $P_e$  (gaya prategang setelah terjadi seluruh kehilangan tegangan).

$$P_e = R \cdot P_0 \quad (3.36)$$

$$R = 1 - LOF \quad (3.37)$$

keterangan :

$R$  = rasio kehilangan gaya prategang

$P_0$  = gaya prategang awal

$LOF$  = kehilangan gaya prategang total, dimana prosentase

- b. Seluruh beban eksternal telah bekerja

$$\text{Momen total, } M_T = M_{BS} + M_{SD} + M_L \quad (3.38)$$

Keterangan :

$M_G$  = Beban berat sendiri,

$M_{SD}$  = Beban mati

$M_L$  = Beban hidup

Distribusi tegangan – tegangan awal di tengah bentang saat layan

- a. Pada serat atas,

$$f_t = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e \cdot e}{S_a} - \frac{M_T}{S_a} \quad (3.39)$$

- b. serat bawah,

$$f_b = -\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e \cdot e}{S_b} + \frac{M_T}{S_b} \quad (3.40)$$

Dimana :

$P_e$  = gaya prategang efektif

$A_C$  = luas penampang balok

$e$  = eksentrisitas

$y_a$  = jarak titik berat penampang ke sisi atas

$y_b$  = jarak titik berat penampang ke sisi bawah

$S_a$  = Section Modulus Atas

$S_b$  = Section Modulus Bawah

### 3.8.5 Tata Letak Tendon (*Lay Out Tendon*)

Penampang balok prategang diatas dua tumpuan akan terjadi momen maksimum. Pada daerah tersebut, tendon (*ekivalen cgs*) diletakkan sedekat mungkin sisi bawah balok agar diperoleh lengan momen akibat gaya dalam maksimum. Saat transfer tidak direncanakan terjadi tegangan tarik  $> f_{ti}$  pada ujung balok perencanaan, maka besar  $M_0$  harus diperhatikan. Perencanaan

dilakukan dengan melihat luas yang diperlukan untuk perlawanan geser, letak plat bantalan, jarak angkur dan jarak bersih dongkrak.

Ujung balok direncanakan  $M = 0$ , maka tendon sebaiknya diletakkan didalam *kern* agar tidak terjadi tegangan tarik sehingga *cgs* berimpit dengan *cgc* yang memberikan tegangan merata.

$$\text{Radius girasi, } r^2 = \frac{I_x}{A_c} \quad (3.41)$$

$$\text{Batas kern atas, } k_t = \frac{r^2}{y_a} \quad (3.42)$$

$$\text{Batas kern bawah, } k_b = \frac{r^2}{y_b} \quad (3.43)$$

Letak tendon (*cgs*) dipengaruhi oleh besar momen pada setiap titik, maka eksentrisitas tendon  $e$  berubah sesuai dengan besar momen. Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan sebagai berikut.

1. Batas bawah didasarkan saat transfer, agar tegangan pada serat atas  $\leq$  tegangan ijin. Lengan minimum dari kopel tendon,

$$a_{\min} = \frac{M_0}{P_i} \quad (3.44)$$

Batas eksentrisitas bawah,

$$e_b = a_{\min} + k_b \quad (3.45)$$

Pertambahan lebar daerah tendon jika diperbolehkan terjadi tegangan tarik,

$$e_{b'} = \frac{f_{ti} \cdot A_c \cdot k_b}{P_i} \quad (3.46)$$

$$e_{b1} = e_b + e_{b'} = a_{\min} + k_b + e_{b'} \quad (3.47)$$

2. Batas atas didasarkan saat layan. Jika tendon diletakkan diluar batas ini maka beban yang dapat dipikul berkurang atau tegangan serat bawah yang terjadi  $>$  tegangan ijin.

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e} \quad (3.48)$$

Batas eksentrisitas bawah,

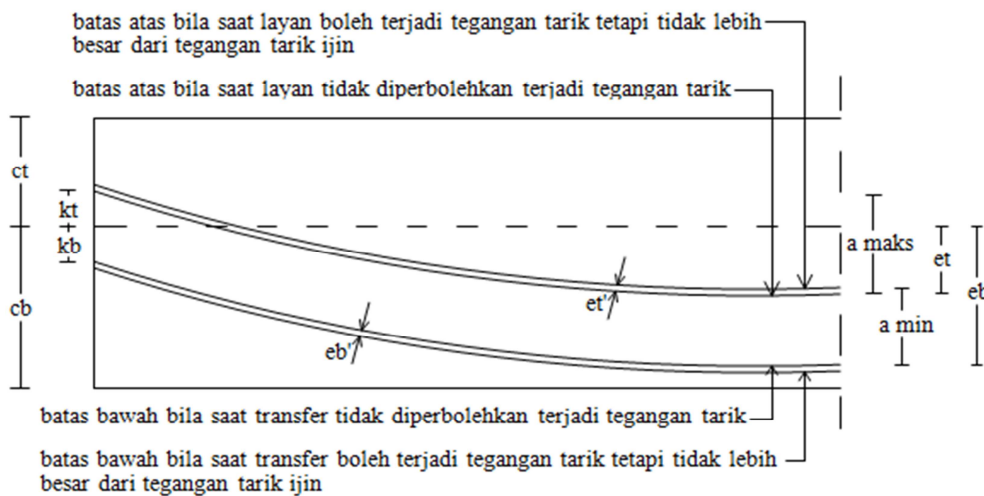
$$e_t = a_{\max} + k_t \quad (3.49)$$

Pertambahan lebar daerah tendon jika diperbolehkan terjadi tegangan tarik,

$$e_t' = \frac{f_{ts} \cdot A_c \cdot k_t}{P_e} \quad (3.50)$$

$$e_{tl} = e_t - e_t' = a_{\max} - k_t - e_t' \quad (3.51)$$

Untuk lebih jelasnya keterangan rumus di atas dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini.



**Gambar 3. 10 Tata Letak Tendon**

### 3.8.6 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang ada kaitannya dengan penurunan tegangan tarik pada tendon. Kehilangan prategang saat transfer terjadi sesaat setelah penarikan tendon, sedangkan kehilangan saat layan terjadi perlahan lahan pada saat umur pelayanan dan karena pengaruh. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan gaya prategang total. Kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: kehilangan langsung (*immediate*) dan kehilangan yang bergantung dengan waktu (*time depending lost*) (Nawy2001).

#### 1. Kehilangan Gaya Prategang Langsung

Kehilangan tegangan yang terjadi segera setelah peralihan gaya prategang atau selama tahap konstruksi (jangka pendek). Kehilangan gaya prategang

langsung meliputi antara lain gesekan kabel, slip pengangkuran, dan perpendekan elastis beton.

a. Kehilangan tegangan akibat *Friction*/gesekan ( $F$ )

Pada struktur beton prategang dengan tendon yang melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik (*jacking*) dan ankur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca tekanan (*pressure gauge*). Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh kelengkungan (*curvature effect*) dan simpangan lokal pada profil tendon (*wobble effect*). Untuk itu digunakan koefisien wobble ( $K$ ) dan koefisien kelengkungan ( $\mu$ ) bersumber berdasarkan Tabel 3.14

Dengan menggabungkan *curvature effect*, maka :

$$Px = P_0 \cdot e^{-(k \cdot Lx + \phi \cdot \alpha)} \quad (3.52)$$

$$\Delta f_{pF} = \frac{(P_0 - Px)}{Ap} \quad (3.53)$$

Keterangan :

$\Delta f_{pF}$  = kehilangan tegangan akibat gesekan kabel

$Px$  = gaya prategang setelah kehilangan friksi

$P_0$  = gaya prategang awal

$L$  = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi  $x$ , tapi karena tinggi puncak lengkung relative kecil dibandingkan bentang maka bisa didekati dengan panjang proyeksi (panjang bentang balok)

$K$  = *wobble effect*

$\Phi$  = koefisien gesek kabel dan material

$\alpha$  = sudut kabel (*radian*)



**Tabel 3. 18 Koefisien Friksi Tendon Pasca Tarik**

|                      |               |                        | Koefisien <i>wobble</i> $K$<br>(1/m) | Koefisien<br><i>friksi</i> $\mu$ |
|----------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|                      |               | Tendon kawat           | 0,0033 – 0,0049                      | 0,15 – 0,25                      |
|                      |               | Batang kekuatan tinggi | 0,0033 – 0,0020                      | 0,08 – 0,30                      |
|                      |               | Strand 7 kawat         | 0,0016 – 0,0066                      | 0,15 – 0,25                      |
| Tendon tanpa lekatan | Mastic coated | Tendon kawat           | 0,0033 – 0,0066                      | 0,05 – 0,15                      |
|                      |               | Strand 7 kawat         | 0,0033 – 0,0066                      | 0,05 – 0,15                      |
|                      | Pre-greased   | Tendon kawat           | 0,0010 – 0,0066                      | 0,05 – 0,15                      |
|                      |               | Strand 7 kawat         | 0,0010 – 0,0066                      | 0,05 – 0,15                      |

(Sumber : Nawy,2001)

## b. Pergesekan Angkur (A)

Dalam sistem pascatarik, apabila kabel ditarik dan dongkrak dilepaskan untuk mentransfer prategang beton, pasak-pasak gesekan yang dipasang untuk memegang kawat-kawat dapat menggelincir pada jarak yang pendek sebelum kawat-kawat tersebut menempatkan diri secara kokoh diantara pasak-pasak tadi. Besarnya penggelinciran yang terjadi tergantung pada tipe pasak dan tegangan pada kawat. Kehilangan tegangan akibat slip angkur ( $\Delta f_{pA}$ ) berubah secara linear terhadap panjang daerah pengaruh angkur (Nawy,2001).

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} \cdot E_s \quad (3.50)$$

Keterangan :

 $\Delta A$  = deformasi pengangkuran / slip (0,002-0,007) $E_s$  = modulus *elastic* kabel $L$  = panjang tendon yang ditinjau (m)

c. Perpendekan Elastic Beton (ES)

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton, harus memperhitungkan nilai modulus elastisitas beton pada saat transfer tegangan. Modulus elastisitas baja prategang, dan tegangan beton pada titik berat baja prategang yang diakibatkan oleh gaya prategang dan beban mati segera setelah transfer (Chen 2000). Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis ( $\Delta f_{pES}$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

1) Untuk sistem pratarik

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_s}{E_c} \times f_{cgp} \quad (3.54)$$

2) Untuk sistem pascatarik

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_s}{E_c} \times f_{cgp} \times \frac{N-1}{2xN} \quad (3.55)$$

Dengan :

$E_c$  = Modulus elastis beton prategang (MPa)

$E_s$  = Modulus elastisitas tendon (MPa)

$f_{cgp}$  = Total tegangan beton pada titik berat tendon karena gaya prategang saat transfer (untuk *pretension members*) dan berat sendiri pada penampang momen maksimum. (MPa)

N = Jumlah tendon yang sama

Total tegangan beton pada level baja ( $f_{cgp}$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_{cgp} = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e^2}{I_x} + \frac{M_G \cdot e}{I_x} \quad (3.56)$$

Keterangan :

$P_i$  = gaya prategang awal

$M_G$  = momen akibat berat gelagar beton

$I_x$  = inersia penampang balok

$e$  = eksentrisitas tendon pada momen maksimum

## 2. Kehilangan Gaya Prategang yang Bergantung dengan Waktu

Kehilangan tegangan tergantung waktu (*time dependent loss of stress*) diakibatkan oleh proses penuaan beton selama dalam pemakaian. Proses ini terutama dipengaruhi oleh adanya susut dan rangkai pada beton sepanjang umur pemakaian. Disamping kedua hal tersebut, kehilangan tegangan juga dipengaruhi oleh adanya relaksasi pada baja prategang.

### a. Rangkai pada beton ( $CR$ )

Deformasi atau aliran lateral akibat tegangan longitudinal disebut rangkai dan kehilangan hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan suatu elemen struktural.

Kehilangan gaya prategang akibat rangkai didapati persamaan:

Tendon terekat ( *bounded* ),

$$\Delta f_{pCR} = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cgp} - f_{csd}) \quad \text{atau} \quad (3.57)$$

Tendon tak terekat (*unbounded*)

$$\Delta f_{pCR} = n \cdot K_{cr} \cdot f_{cpa} \quad (3.58)$$

Keterangan :

$P_i$  = 2,0 untuk komponen struktur pratarik

= 1,6 untuk komponen struktur pasca-tarik

$f_{cgp}$  = tegangan beton pada level pusat berat tendon akibat seluruh beban mati tambahan yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

$f_{cpa}$  = tegangan tekan rata-rata pada beton sepanjang komponen struktur pada titik berat tendon (tendon tak terekat)

$n$  = modulus ratio antara baja prestess dengan beton balok saat peralihan

### b. Susut pada beton ( $SH$ )

Sepertihalnya pada rangkai beton, besarnya susut pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor. Untuk komponen struktur paskatarik,

kehilangan beton prategang akibat susut agak kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian paskatarik. Metode bergantung waktu untuk kehilangan gaya prategang disebabkan susut adalah :

Metode perawatan basah,

$$\varepsilon_{SH,t} = \frac{t}{t + 35} \cdot \varepsilon_{SHu} \quad (3.59)$$

$$\varepsilon_{SH,u} = \text{regangan susut ultimit} = 820 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}$$

Kehilangan tegangan akibat susut,

$$\Delta f_{pSH} = \varepsilon_{SH,t} \cdot E_{ps} \quad (3.60)$$

### c. Relaksasi tendon prategang ( $R$ )

Menurut Nawy (2001), bahwa relaksasi pada tendon mengalami tegangan tarik dalam waktu yang cukup lama. Besar pengurangan prategang bergantung tidak hanya pada durasi gaya prategang yang ditahan ( $t$ ), melainkan juga pada rasio antara prategang awal dan kuat leleh baja prategang ( $f_{pi}/f_{py}$ ).

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (3.61)$$

Keterangan :

$f_{pi}$  = tegangan awal tendon

$F_{py}$  = kuat leleh tendon prategang

$t$  = umur rencana jembatan 50 tahun (jam)

### 3.8.7 Kekuatan Batas Lentur (*Ultimate Strength*)

Kuat momen rencana dari komponen struktur lentur prategang harus dihitung dengan menggunakan metode kekuatan batas (*strength design methods*). Baja prategang tidak memperlihatkan titik leleh secara jelas. Oleh karena itu, dipergunakan suatu nilai tegangan ( $f_{ps}$ ) sebagai pengganti tegangan leleh ( $f_y$ ).

RSNI T-2004 memberikan batasan rasio tulangan prategang agar penampang daktail:

$$w_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f'_c} \leq 0,36\beta_1 \quad (3.62)$$

dengan:

$f_{ps}$  = tegangan dalam tulangan prategang pada saat  $M_n$  dicapai

$\beta_1$  = konstanta yang tergantung pada mutu beton

$$f'_c \leq 30 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,85 \quad (3.63)$$

$$f'_c > 30 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,85 - (f'_c - 30) \geq 0,65 \quad (3.64)$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{Ag} = \text{rasio tulangan prategang} \quad (3.65)$$

Keseimbangan penampang prategang dalam keadaan lentur batas adalah sebagai berikut:

$$C = T_{ps} \quad (3.66)$$

Dengan:

$C$  = gaya tekan beton prategang (MPa)

$T_{ps}$  = gaya internal tendon prategang (MPa)

Gaya internal tendon baja prategang,

$$T_{ps} = A_{ps} \cdot f_{ps} \quad (3.67)$$

dengan :

$A_{ps}$  = luas penampang baja prategang

Dengan menggunakan pendekatan *Whitney* tegangan desak beton adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (3.68)$$

dengan :

$a$  = tinggi balok beton tekan

$b$  = lebar beton dengan lebar ekuivalen (*Beq*) untuk penampang box girder

Untuk penampang tanpa tulangan non-prategang

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{ps} \cdot f_{ps} \quad (3.69)$$

Maka tinggi balok tekan,

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.70)$$

Bila lengan momen adalah  $d$ , maka batas kekuatan nominal adalah:

Untuk penampang tanpa tulangan non-prategang,

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.71)$$

Kapasitas momen *ultimate girder*,

$$M_{uk} = \phi \cdot M_n \quad (3.72)$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,  $\phi = 0,8$

### 3.8.8 (*Deflection*) dan Lawan Lentut (*Chamber*)

Lendutan pada balok prategang tergantung dari kombinasi gaya prategang, beban luar dan lama pembebanan. Gaya prategang akan menimbulkan lendutan ke atas (*chamber*), sedangkan beban luar akan menimbulkan lendutan ke bawah.

Kontrol lendutan dilakukan pada saat transfer dan pada saat servis. Pada saat transfer dimana beban berat sendiri yang bekerja terjadi lendutan keatas yang disebabkan oleh tekanan tendon ke atas pada waktu penarikan kabel prategang. Lendutan yang terjadi diimbangi oleh beban servis sehingga menimbulkan lendutan pada balok dan diharapkan lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan maksimum yang diijinkan. Lendutan maksimum yang diijinkan adalah  $L/240$ , dimana  $L$  adalah panjang bentang balok.

Untuk lendutan ke atas akibat gaya prategang pada *simple beam* dihitung dengan rumus:

$$\delta_C = \frac{5}{48} \cdot \frac{P_e \cdot e_s \cdot L^4}{(E_c \cdot I_x)} \quad (3.73)$$

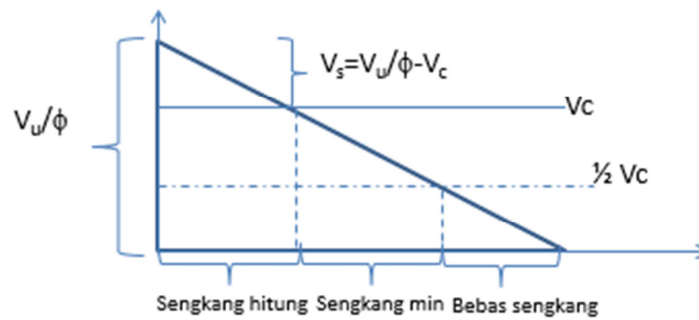
Untuk lendutan dengan beban merata dapat dihitung dengan rumus:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot L^4}{(E_c \cdot I_x)} \quad (3.74)$$

Pada perhitungan lendutan akibat beban transversal dan lawan lentut berlaku prinsip superposisi.

### 3.8.9 Desain geser

Berikut ini gambar diagram gaya geser yang di tahan oleh tulangan sengkang yang dapat dilihat pada gambar 5.1.



**Gambar 3. 11 Gambar Desain Geser Balok**

(sumber : Yulianto, 2016)

Kemampuan beton menahan geser,

$$V_c = \left( 1 + \frac{0,3 Nu}{A_g} \right) \frac{\sqrt{f'c}}{6} bw d \quad (5.75)$$

Kekuatan maksimum geser,

$$V_s \text{ maksimum} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} bw d \quad (5.76)$$

Tulangan geser minimum,

$$A_v (\text{min}) = \frac{bw \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad (5.77)$$

Keterangan :

$V_c$  = Kemampuan beton menahan geser (Mpa)

$Nu$  = Gaya prategang efektif (kN)

$A_g$  = luas penampang balok (mm<sup>2</sup>)

$f'c$  = mutu bahan beton (Mpa)

$bw$  = lebar balok yang menahan geser (mm)

$d$  = tinggi efektif balok prategang (mm)

$s$  = jarak sengkang (mm)

$f_y$  = mutu baja (Mpa)

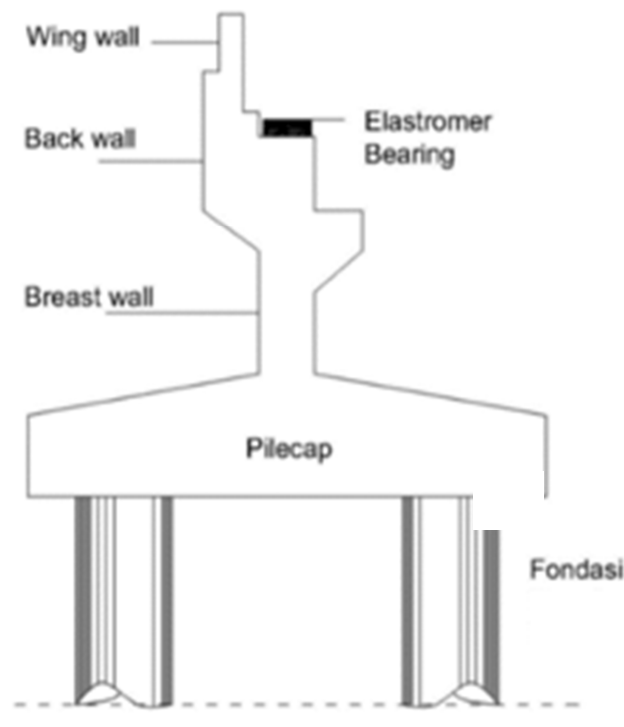
(sumber RSNI T-12-2004)

### 3.8 Perencanaan Struktur Bawah

#### 3.9.1 Abutment

##### 1. Gaya yang bekerja pada Abutment

Abutment merupakan bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bagian-bagian dari abutment yang akan dibuat pada desain jembatan grindulu ini antara lain *back wall*, *wing wall*, dan *pile cap*. Untuk lebih jelasnya dapat disajikan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3. 12 Abutment**

(sumber : Putra, 2016)

Beban – beban yang mempengaruhi pada perencanaan konstruksi abutment adalah sebagai berikut :

- a. Beban struktur atas,
  - 1) Beban mati struktur atas

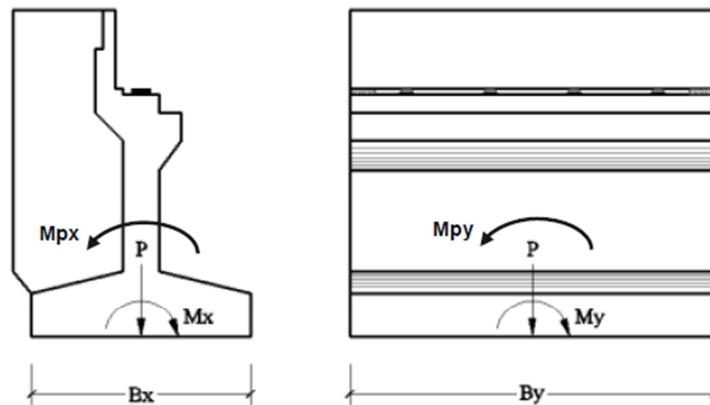


- 2) Beban hidup
- b. Beban struktur bawah
  - 1) Beban mati akibat berat sendiri abutment
  - 2) Beban mati akibat tanah di atas fondasi
  - 3) Beban tekanan tanah
- c. Beban – beban sekunder
  - 1) Beban gempa
  - 2) Beban angin
  - 3) Beban rem
  - 4) Beban gesekan pada tumpuan

## 2. Stabilitas Abutment

Abutment dan pilar harus mampu menahan gaya luar yang dapat mengakibatkan guling dan geser pada abutment dan pilar itu sendiri. Momen total akibat gaya luar harus dilawan oleh momen penahan guling. Abutment dan pilar dikatakan stabil apabila momen penahan guling minimum harus lebih besar 1,5 kali dari momen akibat gaya luar. Cara perhitungan stabilisasi abutment dan pilar dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Menghitung momen keamanan terhadap guling :



**Gambar 3. 13 Stabilitas Gaya Guling pada Abutment**

(sumber : Putra, 2016)

Untuk menghitung keamanan terhadap penggulingnya,

$$SF = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma M} > 1,5 \quad (3.78)$$

keterangan:

$\Sigma M_{Px}$  = momen penahan guling arah x

$\Sigma M_{Py}$  = momen penahan guling arah y

$M_x$  = momen guling arah x

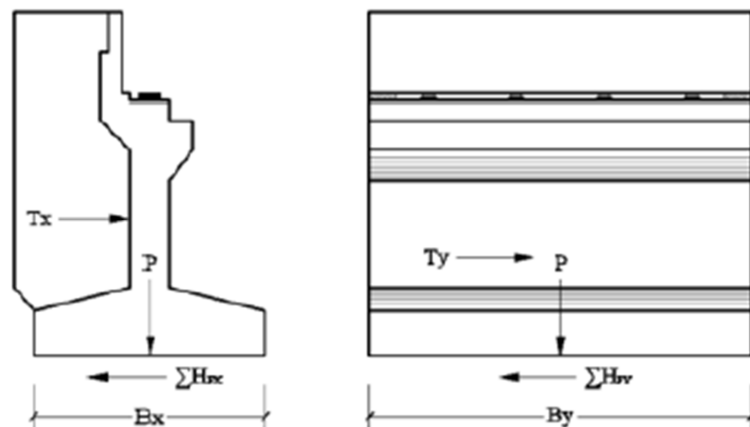
$M_y$  = momen guling arah y

- b. Untuk menghitung keamanan terhadap geser,

Gaya yang menjadi penyebab geser pada abutment dan pilar akan di tahan oleh:

Gesekan tanah dengan dasar pondasi

Tekanan tanah pasif bila terdapat tanah timbunan di sekitar depan abutment dan pilar



**Gambar 3. 14 Stabilitas Gaya Geser pada Abutment**

(sumber : Putra, 2016)

Angka aman terhadap geser,

$$SF = \frac{\Sigma Hp}{\Sigma T} > 1,5 \quad (3.79)$$

keterangan:

$\Sigma H_{Px}$  = gaya penahan geser arah x

$\Sigma H_{Py}$  = gaya penahan geser arah y

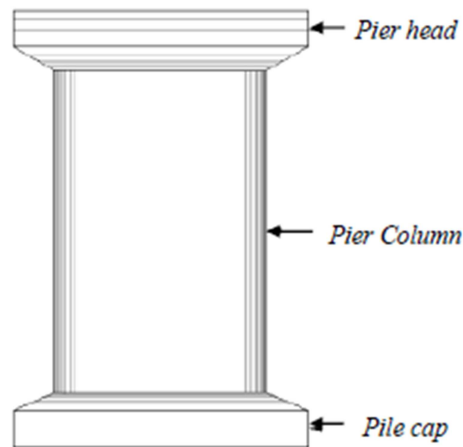
$T_x$  = gaya geser arah x

$T_y$  = gaya geser arah y

### 3.9.2 Pilar

#### 1. Gaya yang bekerja pada pilar

Kolom pilar merupakan elemen struktur yang berfungsi menahan beban tekan aksial. Pilar diperlukan untuk jembatan dengan bentang yang panjang. Perencanaan pilar pada jembatan grindulu menggunakan jenis pilar boro, seperti terlihat pada gambar berikut



**Gambar 3. 15 Sketsa Pilar**

(sumber : Putra, 2016)

Beban – beban yang mempengaruhi pada perencanaan konstruksi pilar adalah sebagai berikut :

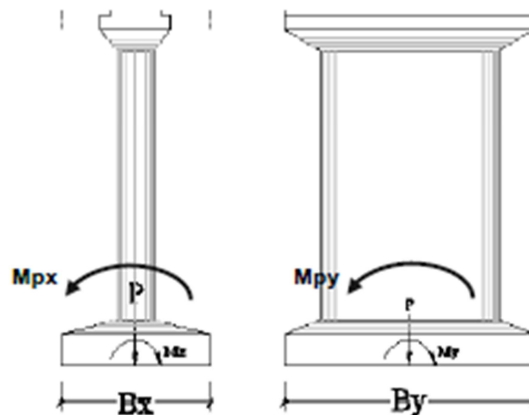
- a. Beban struktur atas,
  - 1) Beban mati struktur atas
  - 2) Beban hidup
- b. Beban struktur bawah
  - 1) Beban mati akibat berat sendiri pilar
- c. Beban-beban sekunder
  - 1) Beban gempa
  - 2) Beban angin
  - 3) Beban rem
  - 4) Beban gesekan pada tumpuan

## 2. Stabilitas Pilar

Pilar jembatan dalam perencanaannya harus mampu untuk menahan gaya luar yang dapat mengakibatkan gaya guling dan geser. Perhitungan stabilitas terhadap guling dan geser dapat dilihat seperti rumus-rumus berikut :

- a. Menghitung keamanan terhadap guling :

Berikut adalah stabilitas gaya guling yang bekerja pada pilar



**Gambar 3. 16 Sketsa Stabilitas Gaya Guling pada Pilar**

(sumber : Putra, 2016)

Momen terhadap guling,

$$\Sigma M_p = - \frac{Bx}{2} \cdot P \quad (3.82)$$

Angka aman guling,

$$SF = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma M} > 2,5 \quad (3.83)$$

keterangan:

$\Sigma M_{px}$  = momen penahan guling arah x

$\Sigma M_{py}$  = momen penahan guling arah y

$M_x$  = momen guling arah x

$M_y$  = momen guling arah y

$B_x$  = lebar abutment arah x

$B_y$  = lebar abutment arah y

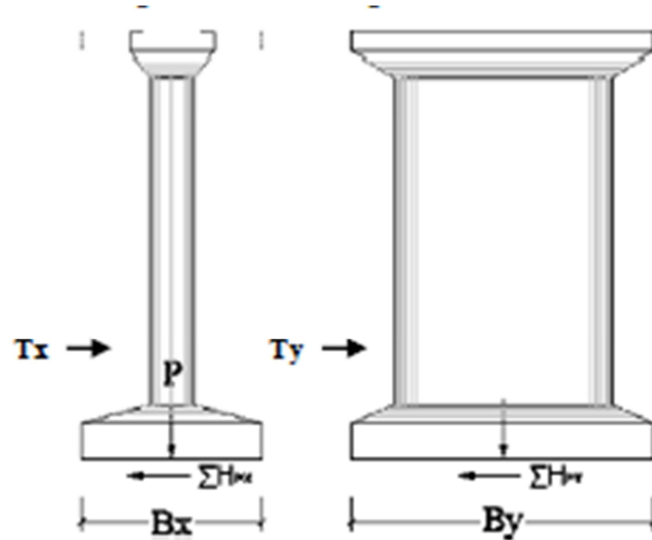
$P$  = jumlah gaya arah vertical

$K$  = persen kelebihan beban di izinkan

b. Untuk menghitung keamanan terhadap geser,

Gaya yang menjadi penyebab geser pada pilar akan di tahan oleh :

- 1) Gesekan tanah dengan dasar pondasi
- 2) tekanan tanah pasif bila terdapat tanah timbunan di sekitar depan pilar



**Gambar 3. 17 Sketsa Stabilitas Gaya Geser pada Pilar**

(sumber : Putra, 2016)

Angka aman terhadap geser,

$$SF = \frac{\Sigma H_p}{\Sigma H} > 2,5 \quad (3.84)$$

keterangan:

$\Sigma H_{Px}$  = gaya penahan geser arah x

$\Sigma H_{Py}$  = gaya penahan geser arah y

$T_x$  = gaya geser arah x

$T_y$  = gaya geser arah y

### 3.9.3 Perencanaan Tulangan Dengan Grafik Mn-Pn

#### 1. Tulangan Lentur

Tulangan lentur kolom dihitung dengan menghubungkan momen ultimit dengan gaya aksial ultimit yang di dapat dari hasil analisis struktur, kemudian

diplotkan ke dalam grafik Mn-Pn. Dari grafik Mn-Pn didapat jumlah tulangan lentur yang diperlukan dan kuat lentur kolom dihasilkan. Grafik Mu-Pu dibuat dengan menghubungkan gaya aksial dan momen lentur pilar. Grafik Mu-Pu dihitung berdasarkan lima kondisi beban, yaitu :

- a. Kondisi beban sentris

$$P_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_s) + (f_y \cdot A_s') \quad (3.86)$$

$$M_n = 0$$

- b. Kondisi balance ( $c = c_b$ )

$$c_b = \frac{600}{600 + F_y} \cdot d \quad (3.87)$$

$$a_b = \beta \cdot c_b \quad (3.88)$$

$$\epsilon_s' = \frac{c_b - d_s}{c_b} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.89)$$

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b \quad (3.90)$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad (3.91)$$

$$T_{sb} = A_s \cdot f_y \quad (3.92)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_s - T_{sb} \quad (3.93)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left( \frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d_s \right) - T_{sb} \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.94)$$

- c. Patah desak ( $c > c_b$ )

$$c = (1,1 - 2) c_b \quad (3.95)$$

$$a = \beta \cdot c \quad (3.96)$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{d} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.97)$$

$$\epsilon_s' = \frac{c_b - d_s}{c_b} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.98)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.99)$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad (3.100)$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.101)$$

$$M_n = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d_s \right) - T_{sb} \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.102)$$

- d. Patah tarik ( $c < c_b$ )

$$c = (0,1 - 0,9) c_b \quad (3.103)$$

$$a = \beta \cdot c \quad (3.104)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{d} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.105)$$

$$\epsilon_s' = \frac{cb-ds}{cb} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.106)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.107)$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad (3.108)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.109)$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.110)$$

$$M_n = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - ds \right) - T_s b \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.111)$$

e. Momen Lentur

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \left( \frac{0,003 a - \beta \cdot ds}{a} \cdot E_s \right) \quad (3.112)$$

$$c = \frac{a}{\beta} \quad (3.113)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{d} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.114)$$

$$\epsilon_s' = \frac{cb-ds}{cb} \cdot \epsilon_{cu} \quad (3.115)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.116)$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad (3.117)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.118)$$

$$M_n = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - ds \right) - T_s b \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.119)$$

Untuk nilai  $\mu$  dan  $\phi$  diperoleh dengan mengalikan faktor reduksi sebagai berikut (sumber SNI-2847-2013):

$$\epsilon_s < 0,002 \quad ; \quad \phi = 0,65$$

$$0,002 < \epsilon_s < 0,005 \quad ; \quad \phi = 0,65$$

$$\epsilon_s > 0,005 \quad ; \quad \phi = 0,65 + (\epsilon_s - 0,002) \left( \frac{250}{3} \right)$$

dari grafik  $\mu$ - $\phi$  diperoleh jumlah tulangan lentur yang diperlukan dan kuat lentur rencana pilar

2. Tulangan Geser Kolom Pilar dan Abutmen

Menurut RSNI T-12-2004 gaya geser sepenuhnya ditahan sepenuhnya oleh tulangan sengkang.

Luas minimum dari tulangan sengkang ( $A_{sh \min}$ ):

$$A_{sh1} = \frac{0,3 \cdot s \cdot hc \cdot f_c}{f_y h} \cdot \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (3.120)$$

$$Ash2 = \frac{0,12 \cdot s \cdot hc \cdot f_c}{f_y h} \quad (3.121)$$

Keterangan :

S = jarak tulangan sengkang vertical

hc = jarak antar tulangan sengkang terluar ke dalam

f<sub>c</sub> = mutu beton digunakan

f<sub>y</sub> = mutu leleh baja digunakan

Ag = luas kolom pilar

Ac = luas bersih kolom pilar

### 3.9.4 Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur paling bawah dari sebuah bangunan yang berfungsi sebagai perantara untuk meneruskan beban yang di atasnya ke tanah pendukung. Dalam perencanaan pondasi jembatan grindulu ini, jenis pondasi yang dipakai adalah tiang pancang *precast* produk dari PT Wijaya Karya dan data tanah digunakan data SPT hasil penyelidikan tanah di daerah tersebut.

#### 1. Menghitung kapasitas 1 tiang

Untuk menghitung kapasitas tiang digunakan metode Meyerhoff dengan nilai daya dukung tanah berdasarkan nilai NSPT

##### a. Tahanan ujung

$$Q_p = 40 \text{ N-SPT } A_p \quad (3.122)$$

##### b. Tahanan selimut

$$Q_s = 0,1 \cdot \text{N-SPT} \cdot L_i \cdot p \quad (3.123)$$

##### c. Tahanan ijin

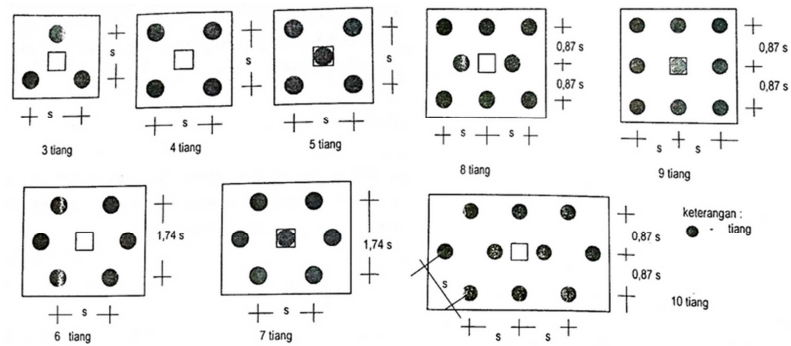
$$Q_{all} = \frac{(Q_p + Q_s)}{SF=3} \quad (3.124)$$

##### d. Menghitung jumlah tiang yang diperlukan

$$N = \frac{\sum P}{Q_{all}} \quad (3.125)$$



## 2. Membuat susunan tiang

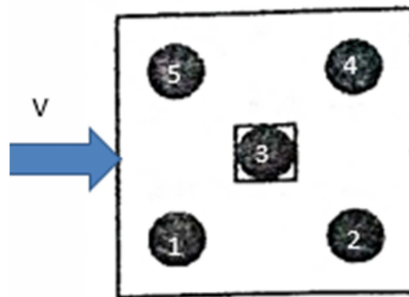


**Gambar 3. 18 Susunan Tiang Yang Umum Digunakan Dilapangan**  
(sumber : Luthfi Hasan, 2015)

## 3. Kontrol gaya tekan pada tiang

$$P_{maks} = \frac{\sum P}{n} + \frac{Mx \cdot y_{maks}}{ny \cdot \sum y^2} + \frac{My \cdot x_{maks}}{nx \cdot \sum x^2} \quad (3.126)$$

## 4. Kontrol terhadap gaya lateral



**Gambar 3. 19 Gaya Lateral**  
(Sumber : Yulianto, 2017)

$$H < H_{all}$$

Dimana :

$$H = \frac{V}{n} \quad (3.127)$$

$$H_{all} = \frac{Hu}{SF} \quad (3.128)$$

Keterangan :

H = gaya geser yang bekerja

V = gaya geser

$n$  = jumlah tiang

$H_u$  = daya dukung horizontal ultimit tiang

SF = angka aman ( SF = 2,5)

Dimana  $H_u$ , menurut Broms 1964

$$H_u = \frac{2 M_y}{(1,5 d + 0,5 f)} \quad (3.129)$$

Keterangan :

$M_y$  = kapasitas momen tiang pancang

$d$  = diameter tiang pancang

$f$  = tinggi reaksi tanah

dimana nilai  $f$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$f^2 + (2L + 3d) f + \left( \frac{M_y}{2,25 \cdot c_u \cdot d} - (L - 1,5d)^2 \right) = 0 \quad (3.130)$$

keterangan :

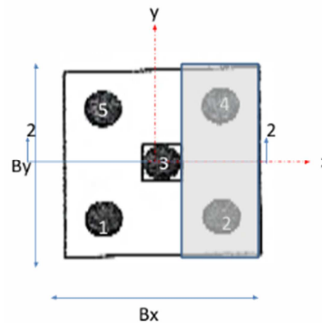
$d$  = diameter tiang pancang

$L$  = panjang tiang

$c_u$  = kohesifitas tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

## 5. Perencanaan tulangan pile cap

### a. Kontrol geser 1 arah



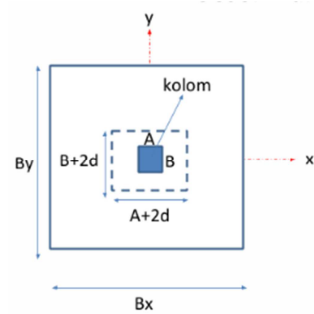
**Gambar 3. 20 Bidang Geser 1 Arah**

(sumber : Yulianto, 2017)

Kuat geser,

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \quad (3.131)$$

## b. Kontrol geser 2 arah

**Gambar 3. 21 Bidang Geser 2 Arah**

(sumber : Yulianto, 2017)

Keliling penampang geser 2 arah

$$b_o = 2 (A+B+2d) \quad (3.132)$$

Kuat geser,

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \quad (3.133)$$

$$V_c = \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \cdot \left(2 + \frac{40 \cdot d}{b_o}\right) \quad (3.134)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad (3.135)$$

## 6. Penulangan Pile cap

Momen *ultimate* ( $M_u$ ) ditentukan berdasarkan pada sisi kritis momen geser satu arah