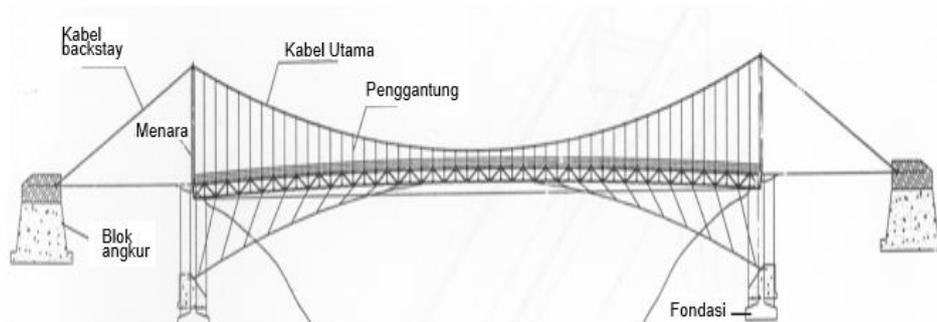


## BAB II STUDI LITERATUR

### 2.1 Jembatan Gantung

Jembatan gantung adalah sistem struktur jembatan yang menggunakan kabel sebagai pemikul utama beban lalu lintas di atasnya, pada sistem ini kabel utama memikul beberapa kabel penggantung yang menghubungkan antara kabel utama dengan gelagar jembatan. Kabel utama dihubungkan pada kedua *tower* jembatan dan memanjang disepanjang jembatan yang berakhir pada pengangkeran pada kedua ujung jembatan untuk menahan pergerakan vertikal dan horizontal akibat beban-beban yang bekerja.

Sistem jembatan ini merupakan salah satu sistem yang mampu mengakomodasi bentang terpanjang dari semua sistem struktur jembatan yang ada. Pertimbangan pemakaian tipe jembatan gantung adalah strukturnya dapat dibuat untuk bentang panjang tanpa menggunakan pilar ditengahnya. Sketsa jembatan gantung dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Sketsa Jembatan Gantung**

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

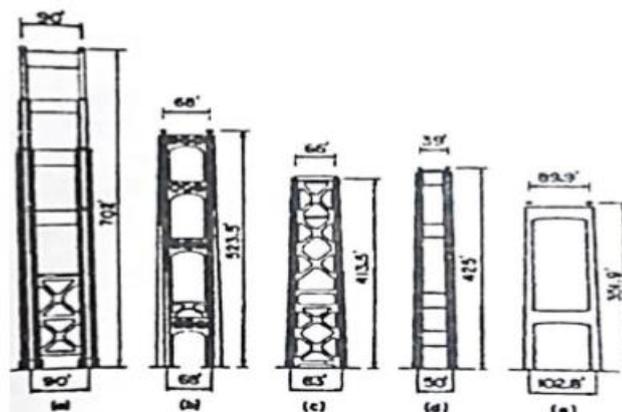
Komponen atau bagian-bagian struktur atas jembatan gantung meliputi lantai (*deck*) jembatan, kabel penggantung, kabel utama, dan menara.

### 2.1.1 Menara

Menara pada sistem jembatan gantung akan menjadi tumpuan kabel utama. Beban yang dipikul oleh kabel selanjutnya diteruskan ke menara yang kemudian disebarkan ke tanah melalui fondasi. Dengan demikian agar dapat menyalurkan beban dengan baik perlu diketahui pula bentuk atau macam menara yang akan digunakan.

Bentuk menara dapat berupa portal, *multistory*, atau *diagonally braced frame* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. konstruksi menara tersebut dapat juga berupa konstruksi *cellular*, yang terbuat dari pelat baja lembaran, baja berongga, atau beton bertulang.

Tumpuan menara baja biasanya bisa diasumsikan jepit atau sendi. Sedangkan tumpuan kabel dibagian atas menara, sering digunakan tumpuan rol untuk mengurangi pengaruh ketidak seimbangan menara akibat lendutan kabel.



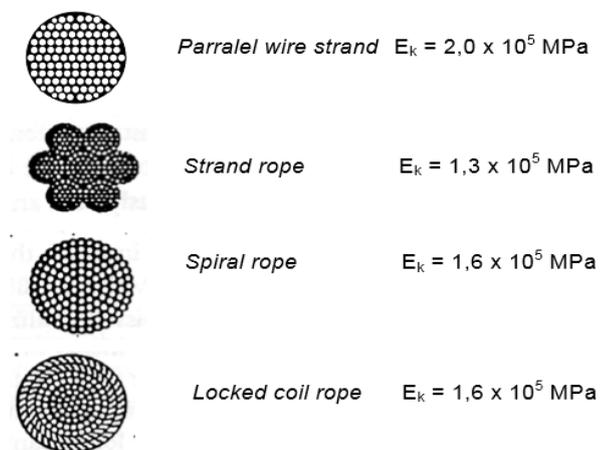
Gambar 2. 2 Tipe Menara

(Respa Rose Mangi, 2017)

### 2.1.2 Kabel

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan gantung. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama dan kabel penggantung. Kabel utama adalah kabel yang berfungsi sebagai penahan kabel penggantung dan menyalurkan beban dari kabel penggantung ke menara. Kabel penggantung adalah kabel vertikal/diagonal yang berfungsi sebagai penggantung lantai dan menyalurkan beban dari lantai ke kabel utama.

Kabel dengan inti yang lunak tidak diizinkan digunakan pada jembatan gantung ini, kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 MPa. Kabel pemikul yang digunakan berupa untaian dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 MPa. Jenis-jenis kabel ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3 Penampang Melintang Kabel**

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Karakteristik kabel dan kaitanya dengan struktur jembatan gantung antara lain :

1. Mempunyai penampang yang homogen (seragam) pada seluruh bentang
2. Tidak dapat menahan momen dan gaya desak
3. Gaya-gaya dalam yang bekerja selalu merupakan gaya tarik aksial
4. Bentuk kabel tergantung pada beban yang bekerja padanya
5. Bila kabel menderita beban terbagi merata, maka wujudnya akan melengkung parabola
6. Pada jembatan gantung, kabel menderita beban titik sepanjang beban mendatar.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk perawatan kabel adalah sebagai berikut:

1. Penguat kabel (warpel) sangat diperlukan untuk menjaga agar kabel tetap dalam tarikan yang benar dan selalu kuat,
2. Bersihkan dan beri minyak pada kabel secara berkala,
3. Jagalah agar air dan lumpur tidak menetap di bagian bajanya, bahaya karat

(Sumber : *Ekart Hartmann dkk*, 2005).

Gambar 2.4 dibawah ini menunjukkan tabel kekuatan putus kabel (*minimum breaking force*).

| Diameter | Approx. nominal length mass | Minimum Breaking Force 1960 / EIPS Grade |        |
|----------|-----------------------------|--|--------|
|          |                             | kN                                       | Tonnes |
| 8        | 0.26                        | 44.7                                     | 4.56   |
| 9        | 0.33                        | 56.5                                     | 5.76   |
| 10       | 0.41                        | 69.6                                     | 7.12   |
| 11       | 0.50                        | 84.4                                     | 8.60   |
| 12       | 0.59                        | 100                                      | 10.2   |
| 13       | 0.69                        | 118                                      | 12.0   |
| 14       | 0.80                        | 137                                      | 14.0   |
| 16       | 1.05                        | 179                                      | 18.2   |
| 18       | 1.33                        | 226                                      | 23.0   |
| 19       | 1.48                        | 252                                      | 25.7   |
| 20       | 1.64                        | 279                                      | 28.4   |
| 22       | 1.98                        | 338                                      | 34.5   |
| 24       | 2.36                        | 402                                      | 41.0   |
| 26       | 2.76                        | 472                                      | 48.1   |
| 28       | 3.21                        | 547                                      | 55.8   |
| 32       | 4.19                        | 715                                      | 72.9   |
| 36       | 5.30                        | 904                                      | 92.2   |
| 38       | 5.91                        | 1010                                     | 103    |
| 40       | 6.54                        | 1120                                     | 114    |
| 44       | 7.92                        | 1350                                     | 138    |
| 48       | 9.42                        | 1610                                     | 164    |
| 52       | 11.1                        | 1890                                     | 193    |

Gambar 2. 4 Tabel Untuk Menunjukkan Minimum Breaking Force

(sumber : PT WIKA, 2018)

### 2.1.3 Deck jembatan

Sistem lantai (*deck*) merupakan struktur longitudinal yang menyokong dan mendistribusikan beban lalu lintas di atasnya, berperan sebagai penghubung sistem lateral, serta menjamin stabilitas aerodinamis dari struktur. Dalam perencanaan *deck* jembatan perlu mempertimbangkan faktor aliran udara vertikal dan beban mati dari *deck* itu sendiri. Dengan penggunaan sistem lantai (*deck*) dapat menambah kekakuan dari konstruksi jembatan gantung.

Material yang biasanya digunakan pada *deck* (sistem lantai) jembatan berupa beton bertulang dengan berat yang relative ringan, *deck orthotropic*, atau baja berongga yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja-beton). Pada *deck* (sistem lantai ini), pengaruh kembang-susut material baja atau beton perlu diperhatikan dengan cermat. Apabila kembang-susut tidak terkontrol akan dapat menyebabkan penambahan tegangan pada struktur *deck* itu sendiri, selain itu dapat pula menimbulkan kerusakan pada konstruksi *deck*. Untuk itu penggunaan *expansion joint* sebaiknya diberikan setiap 30-40 m untuk mencegah kerusakan *deck* dan struktur utama.

## 2.2 Fungsi Struktur Jembatan Gantung

Fungsi struktur jembatan gantung adalah sebagai berikut:

1. Fungsi struktur jembatan gantung bangunan atas adalah sebagai berikut:
  - Lantai jembatan berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar melintang,
  - Gelagar melintang berfungsi sebagai pemikul lantai dan sandaran serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang,
  - Gelagar memanjang berfungsi sebagai pemikul gelagar serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke batang penggantung,
  - Batang penggantung berfungsi sebagai pemikul gelagar utama serta melimpahkan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja ke kabel utama,

- Kabel utama berfungsi sebagai pemikul beban dan gaya-gaya yang bekerja pada batang penggantung serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke menara pemikul dan blok ankur,
  - Pagar pengaman berfungsi untuk mengamankan pejalan kaki.
  - Kabel ikatan angin berfungsi untuk memikul gaya angin yang bekerja pada bangunan atas,
  - Menara berfungsi sebagai penumpu kabel utama dan gelagar utama, serta menyalurkan beban dan gaya-gaya yang bekerja melalui struktur pilar ke fondasi.
2. Fungsi struktur jembatan bangunan bawah adalah sebagai berikut:
- Blok ankur merupakan tipe gravitasi untuk semua jenis tanah yang berfungsi sebagai penahan ujung-ujung kabel utama serta menyalurkan gaya-gaya yang dipikulnya ke fondasi,
  - Fondasi menara dan fondasi ankur berfungsi sebagai pemikul menara dan blok ankur serta melimpahkan beban dan gaya-gaya yang bekerja ke lapisan tanah pendukung (*sumber : Departemen pekerjaan umum, 2007*).

### 2.3 Pembebanan

Standar pembebanan untuk jembatan di Indonesia menggunakan peraturan SNI 1725-2016, tentang pembebanan untuk jembatan. terdiri dari :

#### 1. Pedestrian Load

Beban hidup yang paling kritis yang dipikul karena pengguna jembatan pejalan kaki dipertimbangkan bahwa beban merata 3 kPa memberikan batasan yang cukup untuk keselamatan untuk semua pengguna biasa dari jembatan pejalan kaki.

#### 2. Beban Angin

Standar untuk perencanaan jembatan pejalan kaki mempertimbangkan standar kecepatan angin 35 m/sec, dimana mengakibatkan tekanan seragam pada sisi depan yang terbuka dari batang-batang jembatan dari  $2,4 \text{ KN/m}^2$ . (Sumber : PT WIKA, 2018).

#### 3. Beban Khusus

Beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan. (sumber : SNI 1725, 2016)

#### 4. Kombinasi Beban Jembatan

| Keadaan Batas     | MS<br>MA<br>TA<br>PR<br>PL<br>SH | TT<br>TD<br>TB<br>TR<br>TP | EU   | EW <sub>s</sub> | EW <sub>l</sub> | BF   | EU <sub>s</sub> | TG            | ES            | Gunakan salah satu |      |      |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|---------------|---------------|--------------------|------|------|
|                   |                                  |                            |      |                 |                 |      |                 |               |               | EQ                 | TC   | TV   |
| Kuat I            | $\gamma_p$                       | 1,8                        | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat II           | $\gamma_p$                       | 1,4                        | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat III          | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | 1,40            | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Kuat IV           | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 0,50/1,20       | -             | -             | -                  | -    | -    |
| Kuat V            | $\gamma_p$                       | -                          | 1,00 | 0,40            | 1,00            | 1,00 | 0,50/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Ekstrem I         | $\gamma_p$                       | $\gamma_{EQ}$              | 1,00 | -               | -               | 1,00 | -               | -             | -             | 1,00               | -    | -    |
| Ekstrem II        | $\gamma_p$                       | 0,50                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | -               | -             | -             | -                  | 1,00 | 1,00 |
| Daya Javan I      | 1,00                             | 1,00                       | 1,00 | 0,30            | 1,00            | 1,00 | 1,00/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Daya Javan II     | 1,00                             | 1,30                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 1,00/1,20       | -             | -             | -                  | -    | -    |
| Daya Javan III    | 1,00                             | 0,80                       | 1,00 | -               | -               | 1,00 | 1,00/1,20       | $\gamma_{TD}$ | $\gamma_{ES}$ | -                  | -    | -    |
| Daya Javan IV     | 1,00                             | -                          | 1,00 | 0,70            | -               | 1,00 | 1,00/1,20       | -             | 1,00          | -                  | -    | -    |
| Fatik (TD dan TR) | -                                | 0,75                       | -    | -               | -               | -    | -               | -             | -             | -                  | -    | -    |

Gambar 2. 5 Kombinasi Beban Jembatan

(Sumber : Djoko, 2017)

## 2.4 Baja

Baja adalah logam paduan , logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2.1% berat sesuai kelasnya.

Persyaratan bahan untuk baja adalah sebagai berikut:

1. Penyimpanan bahan: baja, baik ketika di pabrik di bengkel maupun dilapangan, harus ditumpuk di atas balok pengganjal atau landasan sedemikian rupa sehingga tidak bersentuhan dengan tanah. Jika baja ditumpuk dalam beberapa lapis, pengganjal untuk semua lapis harus berada dalam satu garis.
2. Pengecatan permukaan sebagai lapis pelindung adalah sebagai berikut :
  - Permukaan yang akan di cat harus bersih dan bebas dari lemak, debu, produksi korosi, residu, garam dan sebagainya,
  - Perbaikan lapis pelindung struktur baja; bahan pelindung untuk struktur baja yang akan dilapisi ulang dengan lapis pelindung harus disesuaikan dengan jenis bahan dasar struktur baja yang telah diberi lapisan pelindung. Sebelum dilakukan pelapisan ulang, struktur baja harus dibersihkan terlebih dahulu sampai kondisi permukaan tertentu sesuai dengan kondisi kerusakan pada lapisan tersebut.

## 2.5 Rumus-Rumus Yang Digunakan Untuk Perhitungan Jembatan Gantung

Rumus-rumus yang dapat digunakan untuk jembatan gantung adalah sebagai berikut :

### 2.5.1 Struktur Pengaku

Struktur pengaku dapat berupa:

1. Kabel,
2. Profil I,
3. Rangka batang.

Untuk struktur pengaku berbentuk rangka batang, inersia gelagar pengaku dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = A_{bta} \cdot (d_{ta})^2 + A_{btb} \cdot (d_{tb})^2 \dots\dots\dots(1)$$

$I$  adalah inersia gelagar ( $mm^4$ ),

$A_{bta}$  adalah luas batang tepi atas ( $mm^2$ ),

$A_{btb}$  adalah luas batang tepi bawah ( $mm^2$ ),

$d_{ta}$  adalah jarak dari pusat masa gelagar ke tepi atas (mm),

$d_{tb}$  adalah jarak dari pusat masa gelagar ke tepi bawah (mm).

### 2.5.2 Gaya Tarik Kabel Utama

1. Besarnya komponen horizontal gaya Tarik H pada ujung kabel utama adalah:

- Akibat beban hidup merata penuh

$$H1 = \frac{PL^2}{8d} \dots\dots\dots(2)$$

- Akibat beban hidup tidak simetris pada setengah bentang

$$H2 = \frac{(P/2)L^2}{8d} \dots\dots\dots(3)$$

- Akibat beban mati

$$H3 = \frac{WL^2}{8d} \dots\dots\dots(4)$$

2. Besarnya cekungan kabel (d) berkisar Antara 1/8 L sampai dengan 1/11 L

3. Kabel utama dan backstay dihitung berdasarkan gaya tarik T maksimum:

$$\text{untuk backstay : } T = \frac{H}{\cos \varphi} \dots\dots\dots(5)$$

atau

$$\text{untuk kabel utama : } T = \frac{H}{\cos \theta} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

H adalah komponen horizontal gaya tarik, yang merupakan nilai maksimum dari kombinasi (H1 + H3) atau (H2 + H3) (kN)

T adalah gaya tarik kabel maksimum akibat beban merata penuh (kN)  $\theta$  adalah sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel bentang utama

$\phi$  adalah sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel angkur

### 2.5.3 Lendutan

Lendutan akibat beban hidup merata yang bekerja pada seperempat bentang utama, dihitung berdasarkan pembagian beban antara gelagar pengaku sebesar  $(1-\alpha)$  dan kabel utama sebesar  $(\alpha)$ :

$$\Delta' = \frac{5(1-\alpha)PL^4}{12288EI} \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta = \frac{\alpha(P/8)}{W+\alpha(P/2)} d \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

$\Delta'$  adalah lendutan gelagar pengaku pada seperempat bentang (m)

$\Delta$  adalah lendutan kabel pada seperempat bentang (m)

$\alpha$  adalah fraksi beban yang menunjukkan proporsi beban hidup yang ditahan oleh kabel, yang besarnya diperoleh dari  $\Delta' = \Delta$

### 2.5.4 Momen Maksimum Struktur Pengaku Dan Komponen Gaya Horizontal Kabel

Momen maksimum struktur pengaku di seperempat bentang dihitung berdasarkan pembagian beban antara struktur pengaku sebesar  $(1-\alpha)$  dan kabel utama sebesar  $(\alpha)$ :

$$M_{maks} = \frac{(1-\alpha)PL^2}{64} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

$M_{maks}$  adalah momen maksimum gelagar pengaku (kNm).

### 2.5.5 Panjang Kabel Angkur

1. Panjang teoritis kabel angkur adalah jarak geometrik antara titik pusat blok angkur di permukaan tanah dan titik pusat kabel di pelana,
2. Panjang bersih kabel angkur pada kondisi bebas beban, yaitu jarak bersih antara sumbu pelana dan titik untuk jangkar, diperoleh dengan mengadakan koreksi terhadap panjang teoritis adalah sebagai berikut :
  - koreksi pengurangan panjang sesuai dengan dimensi blok angkur,
  - koreksi penambahan panjang sesuai dengan lengkungan kabel di pelana,
  - koreksi panjang ulur, yaitu panjang teoritis dikalikan tegangan kabel akibat beban mati penuh, dan dibagi dengan nilai modulus elastis,
  - jika digunakan soket pada ujung kabel, panjang teoritis yang telah dikoreksi sesuai butir 1 sampai dengan 3, harus ditambah sepanjang keperluan soket,
  - koreksi untuk sudut penyebaran kabel ke blok angkur adalah kecil dan diabaikan.

### 2.5.6 Panjang Kabel Utama

1. Panjang teoritis kabel utama ( $L_k$ ) adalah jarak parabolik antara titik-titik pusat kabel di pelana:

$$L_k = L \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{d}{L} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

L adalah panjang bentang utama d adalah cekungan kabel di tengah bentang

2. Panjang bersih kabel utama pada kondisi bebas beban diperoleh dengan mengadakan koreksi pengurangan terhadap panjang teoritis adalah sebagai berikut:
- koreksi penambahan panjang sesuai lengkungan di pelana,
  - koreksi pengurangan panjang ulur elastis sebanding dengan tegangan rata-rata akibat beban mati penuh berdasarkan tegangan kabel maksimum di menara dan minimum di tengah bentang.

### 2.5.7 Kelandaian Memanjang Jembatan

Jembatan dapat dibangun dengan kelandaian maksimum sebesar 1/20 bentang antara menara-menara. Untuk kelandaian sampai 1/100 bentang, tidak ada perubahan dalam pengukuran dan pemasangan jembatan. Penyesuaian dimensi untuk kelandaian  $n$  diatas 1/100 adalah:

1. Bentang horizontal aktual antara menara-menara:

$$L_a = L - \frac{n^2 L}{2} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

$L_a$  adalah bentang horizontal aktual antara menara-menara

$n$  adalah kelandaian memanjang jembatan

Pada kelandaian  $n \leq 1/100$ ,  $L_a$  diambil sama dengan  $L$  dan pada kelandaian  $n > 1/100$  bentang horizontal aktual dihitung dengan persamaan (11).

2. Koreksi sudut kabel  $X_o$  terhadap horizontal:

$$\tan X_o = 0,63 n \dots\dots\dots(12)$$

Sudut kabel angkur untuk kondisi kelandaian  $n$ , adalah sudut kondisi horizontal yang dikoreksi dengan  $+ X^\circ$  untuk sisi tinggi dan  $- X^\circ$  untuk sisi rendah.