

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

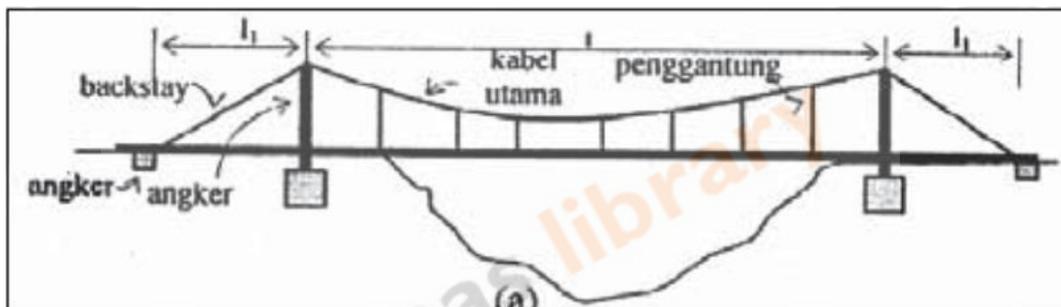
Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, rel kereta api ataupun jalan raya. Jembatan dibangun untuk penyeberangan pejalan kaki, kendaraan atau kereta api pada penghubung 2 daratan yang terputus. Jembatan juga merupakan bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat vital dalam aliran perjalanan (*traffic flows*). Jembatan sering menjadi komponen kritis dari suatu ruas jalan, karena sebagai penentu beban maksimum kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut. Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain berupa jalan air atau lalu lintas biasa. Menurut (Asiyanto 2008) jembatan adalah struktur yang terdiri dari rangkaian batang – batang yang dihubungkan satu dengan yang lain. Beban atau muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan kepada komponen-komponen struktur tersebut, sebagai gaya – gaya tekan dan tarik pada batang disalurkan melalui titik – titik pertemuan batang (titik buhul). Suatu jembatan biasanya dirancang sama untuk kereta api, untuk pemandu jalan raya atau untuk pejalan kaki. Ada juga jembatan yang dibangun untuk pipa-pipa besar dan saluran air yang bisa digunakan untuk membawa barang. Kadang-kadang, terdapat batasan dalam penggunaan jembatan; contohnya, ada jembatan yang dikhususkan untuk jalan raya dan tidak boleh digunakan oleh pejalan kaki atau penunggang sepeda. Ada juga jembatan yang dibangun untuk pejalan kaki (jembatan penyeberangan), dan boleh digunakan untuk penunggang sepeda.

#### **2.2 Jembatan gantung (*suspension bridge*)**

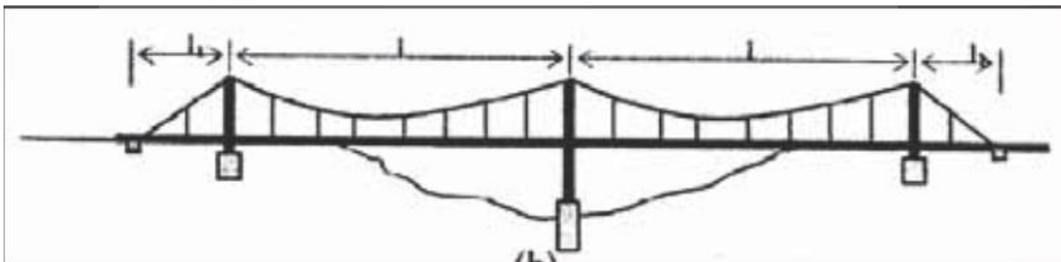
Jembatan gantung (*Suspension Bridge*) adalah jenis jembatan yang menggunakan tumpuan tegangan kabel pada tumpuan samping. Sebuah jembatan gantung biasanya memiliki kabel utama (kabel baja atau rantai) diangkerkan pada

setiap ujung jembatan. Setiap beban yang diterapkan ke jembatan berubah menjadi tegangan dalam kabel utama.

Jembatan gantung terdiri atas pelengkung penggantung dan batang penggantung (*hanger*) dari kabel baja dan bagian yang lurus berfungsi mendukung lalu lintas (dek jembatan). Selain bentang utama, biasanya jembatan gantung mempunyai bentang luar (*side span*) yang berfungsi untuk mengikat/mengangkerkan kabel utama pada blok angker. Walaupun pada kondisi tertentu terdapat keadaan dimana kabel utama dapat langsung diangkerkan pada ujung jembatan dan tidak memungkinkan adanya bentang luar, bahkan kadang kala tidak membutuhkan dibangunnya pilar (Supriyadi dan Muntohar, 2007) bentang bentang jembatan gantung dapat dilihat pada **gambar 2.1** dan **gambar 2.2**.



**Gambar 2.1** Bentang tunggal Jembatan suspensi  
Sumber: Supriyadi dan Muntohar, 2007 (Jembatan, hal.167)



**Gambar 2.2** Bentang majemuk Jembatan suspensi  
Sumber: Supriyadi dan Muntohar, 2007 (Jembatan, hal.167)

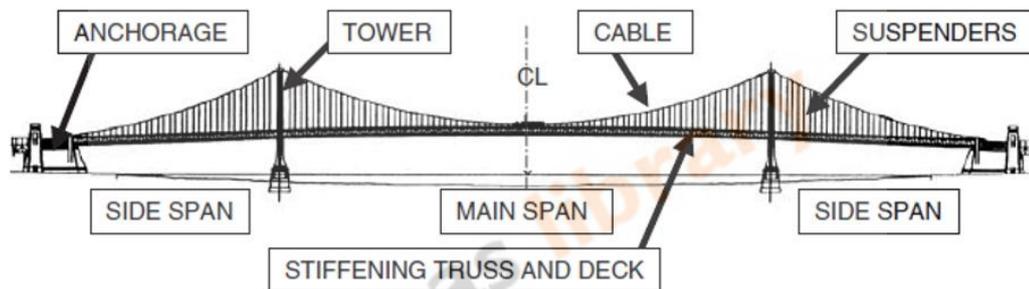
Jembatan gantung dikembangkan menjadi jembatan kabel yang bertumpu pada kabel vertikal yang terikat pada tali antara menara tumpuan. Setiap beban yang diterapkan ke jembatan berubah menjadi tegangan dalam kabel utama.

Kabel suspensi adalah bagian terpenting dari jembatan bersuspensi, karena fungsinya adalah menahan beban lantai jembatan yang nantinya diteruskan ke

tumpuan yang ada di ujung jembatan. Kabel suspensi ini juga didukung oleh suatu menara yang tugasnya membawa berat dari dek jembatan. Jenis jembatan ini pada awalnya digunakan dalam medan pegunungan. Daerah yang pertama kali membangun jembatan jenis ini adalah di sekitar Tibet dan Bhutan. Jembatan gantung terpanjang di dunia saat ini adalah Jembatan Akashi Kaikyo di Jepang. Jembatan ini memiliki panjang 12.826 kaki (3.909 m) .

### 2.3 Bagian bagian Jembatan suspensi

Komponen atau bagian-bagian struktur atas jembatan gantung meliputi: lantai (*deck*) jembatan, kabel penggantung (*suspension cables/hanger*), kabel utama (*main cable*), dan menara (*pylon/tower*).



**Gambar 2.3** Komponen struktur atas Jembatan suspensi  
 Sumber: Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000

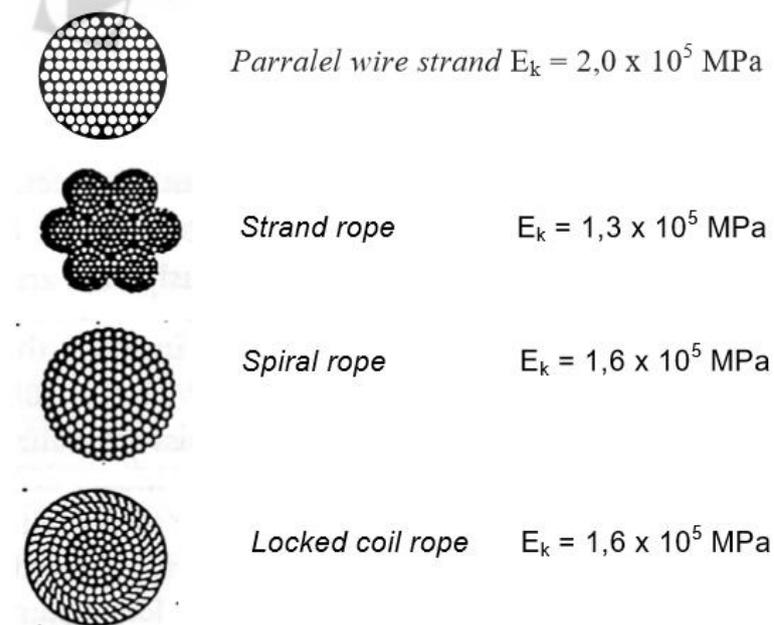
#### 2.3.1 Kabel utama (*main cable/suspension cable*)

Kabel merupakan bahan atau material utama pada perancangan struktur jembatan gantung. Pada jembatan gantung, jembatan terdiri atas kabel utama (*main Cable*) atau dikenal dengan kabel suspensi (*suspension cable*). Fungsi kabel utama (*main cable/suspension cable*) yang terdapat pada **Gambar 2.4** adalah sebagai penahan kabel penggantung dan juga berfungsi meyalurkan beban dari kabel penggantung ke menara (*tower/pylon*). Kabel suspensi harus dijangkarkan di setiap ujung jembatan, karena setiap beban yang diterapkan ke jembatan diubah menjadi tegangan pada kabel utama ini. Kabel utama menyambung hingga bagian luar pilar ke penyangga ujung dek dan selanjutnya dilanjutkan ke koneksi dengan jangkar di tanah (Pengakur).



**Gambar 2.4** kabel utama pada jembatan *golden gate*  
 Sumber: [www.goldengatebridge.com](http://www.goldengatebridge.com)

Penggunaan kabel inti lunak tidak diizinkan digunakan pada jembatan gantung, baik jembatan gantung dengan fungsi pejalan kaki maupun jembatan jalan raya, kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 MPa. Kabel pemikul yang digunakan berupa untaian (*strand*) dibuat dengan bahan material mutu tinggi dimana kuat tarik minimum kabel mencapai 1800 MPa. Jenis-jenis kabel ditunjukkan dalam **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Penampang Melintang Kabel baja  
 Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02/SE/M/2010

1. Karakteristik kabel utama kaitannya dengan struktur jembatan gantung antara lain:

- a. Mempunyai Penampang yang *homogen* (seragam) pada seluruh bentang
- b. Tidak dapat menahan momen dan gaya desak
- c. Gaya-gaya dalam yang bekerja selalu merupakan gaya tarik aksial
- d. Bentuk kabel tergantung pada beban yang bekerja padanya
- e. Bila kabel menderita beban terbagi merata, maka wujudnya akan melengkung parabola
- f. Pada jembatan gantung, kabel menderita beban titik sepanjang beban mendatar

2. Kompatibilitas lendutan Kabel dan Truss

Kabel dan dek pada jembatan gantung dengan pengaku tipe rangka batang kaku (*stiffening truss*) akan bersama-sama mendukung beban sesuai dengan prinsip kompatibilitas lendutan yaitu bahwa lendutan yang terjadi pada jembatan adalah hasil perubahan bentuk dan pertambahan panjang kabel serta lendutan dek (rangka batang). Kekakuan dek (rangka batang) harus diperhitungkan dengan tepat agar kabel benar-benar berfungsi dengan baik. Karena untuk kekakuan rangka batang yang berlebihan dapat menjadikan kabel tidak berfungsi sama sekali (struktur boros). Hubungan antara kabel dengan kekakuan rangka batang dinyatakan dalam bentuk N, yaitu:

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3EI}{Af^2Es} (1 + 8n^2) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

- E = modulus elastisitas bahan dek      A = luas Penampang kabel utama  
 I = momen inersia Penampang dek      Es = modulus elastisitas kabel utama  
 N = faktor pengurangan lendutan akibat pengaku

Tegangan kabel awal :

$$T = \frac{q_{total} \times l^2}{8f} (1 + 16n^2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Komponen horisontal atau tegangan horisontal kabel :

$$n = \frac{f}{l} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$H_{max} = \frac{1}{(5Nn)} Pl \dots\dots\dots (2.4)$$

Panjang kabel setelah pembebanan

$$\Delta L = \frac{H \cdot l^2}{E_s \cdot A} \left(1 + \frac{16}{3} n^2\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Lendutan *sag* :

$$\Delta f = \frac{\Delta L}{\frac{16}{15}(5-24n^2)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Tambahan komponen horisontal akhir :

$$\Delta H = -\frac{H}{f} x \Delta f \dots\dots\dots (2.7)$$

Komponen horisontal akhir :

$$H_{akhir} = H - \Delta H \dots\dots\dots (2.8)$$

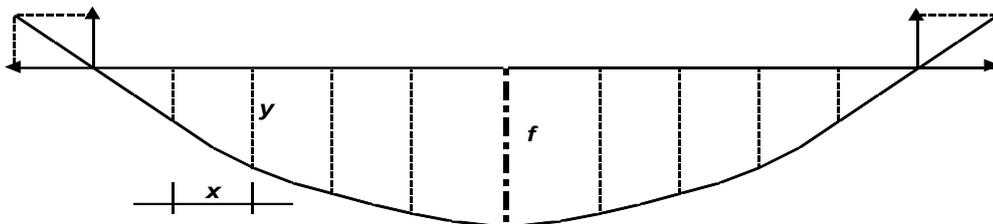
Dan lendutan maksimum pada dek adalah :

$$d = \frac{5 \cdot q_{total} \cdot x \cdot l^4}{384EI} \left(1 - \frac{8}{5N}\right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :  $q_{total}$  = beban hidup + beban mati ( kg/m )  
 $l$  = panjang kabel = bentang ( m )  
 $f$  = ordinat ( sag ) maksimum ( m )

persamaan kabel utama :

$$y = 4f \frac{x}{l^4} (l - x) \dots\dots\dots (2.10)$$

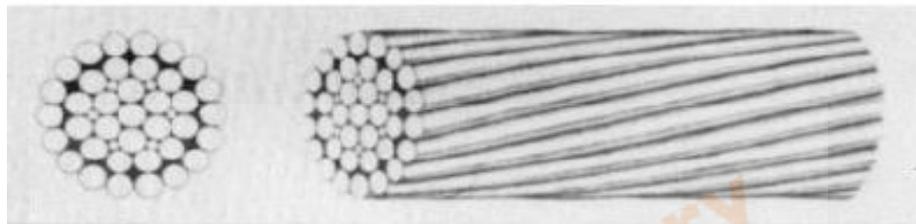


**Gambar 2.6** Diagram Lendutan Pada Kabel Baja

### 2.3.2 Kabel penggantung (*suspension cables/hanger*)

Kabel penggantung (*hanger/suspender*) adalah kabel vertikal/diagonal yang berfungsi sebagai penggantung lantai (*deck*) jembatan dan menyalurkan beban dari lantai (*deck*) jembatan ke kabel utama.

Ada dua jenis kabel dalam struktur, yakni *strand* dan *rope*. *Strand* (**Gambar 2.7**) merupakan gabungan dari beberapa kawat (*wire*) yang mengelilingi satu buah kawat pusat dan dibuat berdasarkan Spesifikasi standar ASTM A-586. *Rope* (**Gambar 2.8**) terbuat dari beberapa *strand* dengan satu buah pusat dan harus sesuai dengan Spesifikasi Standar ASTM A-603.



Gambar 2.7 *strand*

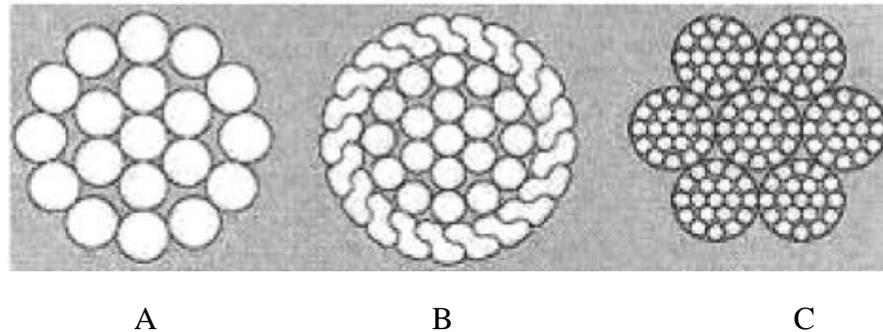


Gambar 2.8 *Rope*

Penggunaan *strand* sering digunakan dalam pembuatan jembatan Gantung karena beberapa alasan. Pada ukuran yang sama, *strand* memiliki tegangan putus yang lebih besar, modulus elastisitas yang lebih tinggi, kemampuan melendut yang lebih rendah, dan memiliki kawat yang lebih besar pada diameter yang sama.

Kabel sesuai dengan keperluannya, terdiri dari berbagai macam tipe. Menurut standard DIN-18-800 semua kabel yang digunakan untuk struktur bangunan dikategorikan sebagai *high tensile members*. Secara umum kabel-kabel tersebut mempunyai kekuatan rencana yang lebih tinggi dari pada batang tarik baja, sehingga dengan luas Penampang yang sama dapat memikul beban lebih besar. Tetapi modulus elastisitas kabel adalah antara  $E = 155.000 \text{ N/mm}^2$  sampai dengan  $E = 165.000 \text{ N/mm}^2$ , jelas lebih rendah dari pada modulus elastisitas yang dipakai

untuk batang tarik baja ( $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ). Ada pula kabel yang mempunyai lapisan krom dan nikel, agar bersifat tahan terhadap karat. Untuk keperluan konstruksi bangunan, dikenal 3 tipe Penampang kabel, yaitu *spiral strands*, *full locked coil cables* dan *structural wire ropes* seperti dalam **gambar 2.9** berikut.



**Gambar 2.9** Berbagai Tipe Kabel Konstruksi  
(A: *spiral strands*, B: *full locked coil cables* dan C: *structural ropes*)

*Spiral strands* terutama digunakan untuk bangunan di mana bebannya relatif kecil seperti untuk pendukung antena telekomunikasi, cerobong asap, ikatan angin (*bracing*) pada jaringan kabel, struktur kayu dan baja.

*Spiral strands* diproduksi dengan diameter antara 5 mm sampai 40 mm. *Spiral strands* hanya terdiri dari kawat-kawat yang berpenampang lingkaran, akibat adanya celah-celah *spiral strand* dikelompokkan pada material yang kurang tahan terhadap bahaya korosi.

*Full locked coil cables* terutama digunakan sebagai kabel utama pada berbagai konstruksi, antara lain kabel utama pada *suspension bridge* dan *stay cables bridge*, kabel tepi pada jaringan kabel.

Sifat-sifat khusus dari *full locked coil cables*, adalah:

- a. Mempunyai E – modulus yang tinggi
- b. Permukaan kabel mempunyai daya tahan tinggi
- c. Permukaan kabel tertutup, sehingga tahan terhadap bahaya korosi

Penampang kabel bagian dalam atau bagian inti terdiri dari kawat-kawat dengan penampang lingkaran, sedangkan bagian luar, penampangnya berbentuk Z

*Structural wire ropes*, terutama digunakan sebagai kabel tepi pada struktur membran (*textile structure*). Kabel ini terdiri dari beberapa *strands*, sehingga sifatnya fleksibel. Tegangan uji kabel baja dan modulus elastisitas dapat tersaji dalam **tabel 2.1** dan **tabel 2.2**

**Tabel 2.1** Tegangan ijin Kabel

Type	Nominal Tensile Strength $F_{pw}$	Allowable tensile strength $F_t$
Basr. ASTM A722 Type II	150	0,45 $F_{pw} = 67,5$
Locked-coil strand	210	0,33 $F_{pw} = 70$
Structural stand, ASTM A586	220	0,33 $F_{pw} = 73,3$
Structural rope, ASTM A603	220	0,33 $F_{pw} = 73,3$
Parallel wire	225	0,40 $F_{pw} = 90$
Parallel wire, ASTM A421	240	0,45 $F_{pw} = 108$
Parallel stand, ASTM A416	270	0,45 $F_{pw} = 121,5$

**Tabel 2.2** Modulus Elastisitas *Strand* dan *Rope*

Type	Diameter (in)	Modulus of elasticity (ksi)
Strand	$1/2$ to $2\frac{19}{6}$	24.000
	$2\frac{5}{8}$ and larger	23.000
Rope	$3/8$ to 4	20.000

### 2.3.3 Menara (*pylon/tower*)

Pada sistem jembatan gantung, menara merupakan salah satu komponen vital dimana menara akan menjadi tumpuan kabel utama. Beban yang dipikul oleh kabel utama diteruskan ke menara yang kemudian disebarkan ke tanah melalui fondasi. Dengan demikian agar dapat menyalurkan beban dengan baik perlu diperhatikan bahan dan mutu material dari menara yang akan digunakan.

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

Tinggi menara ditentukan dari beberapa hal seperti tipe sistem kabel, jumlah kabel dan perbandingan estetika dalam tinggi menara dan panjang bentang, untuk itu direkomendasikan perbandingan antara bentang terpanjang dan tinggi menara antara 0,19 – 0,25 podolny (1976)

Menurut Troitsky (1977:33), tinggi pylon adalah:

$$H \geq L/6. \dots\dots\dots (2.11)$$

atau

$$H = n \times a \times \tan 25^\circ \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

$L$  = bentang jembatan

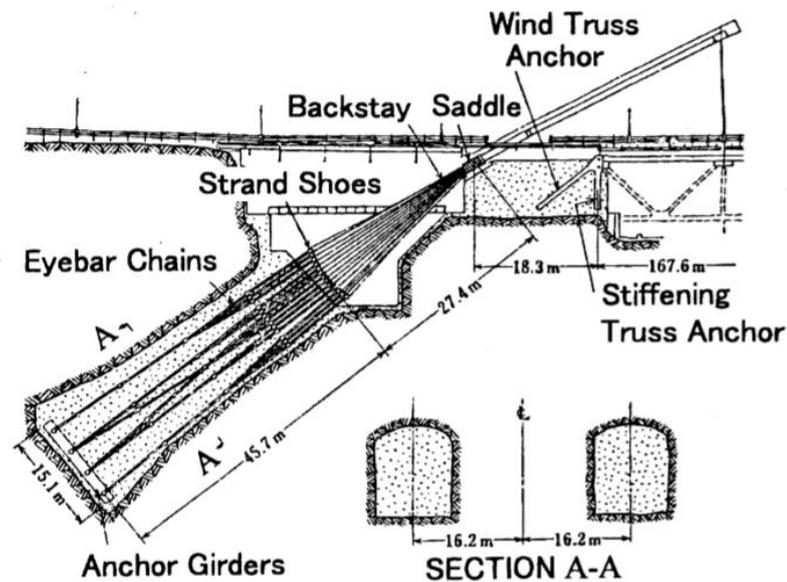
$n$  = jumlah kabel

$a$  = jarak kabel antar gelagar

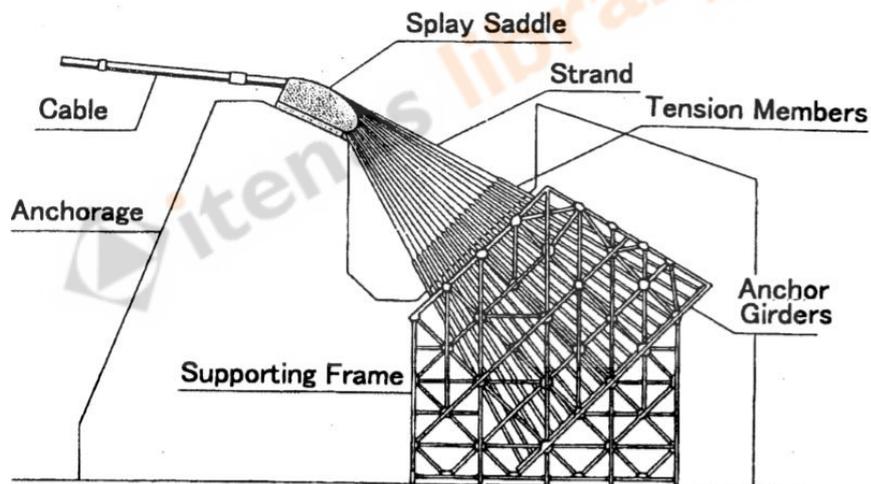
$H$  = tinggi pylon

### 2.3.4 Pengakur

Pengankuran jembatan gantung berupa balok beton yang sangat besar yang menjadi angkur kabel utama dan berperan sebagai penyokong akhir sebuah jembatan. Pengankuran jembatan dapat berupa pengankuran *gravity* atau *tunnel*. Pengankuran *gravity* bergantung pada massa angkur itu sendiri untuk menahan tegangan dari kabel utama yang dapat dilihat pada **Gambar 2.10** dan **Gambar 2.11**. Tipe ini sering digunakan pada banyak jembatan gantung



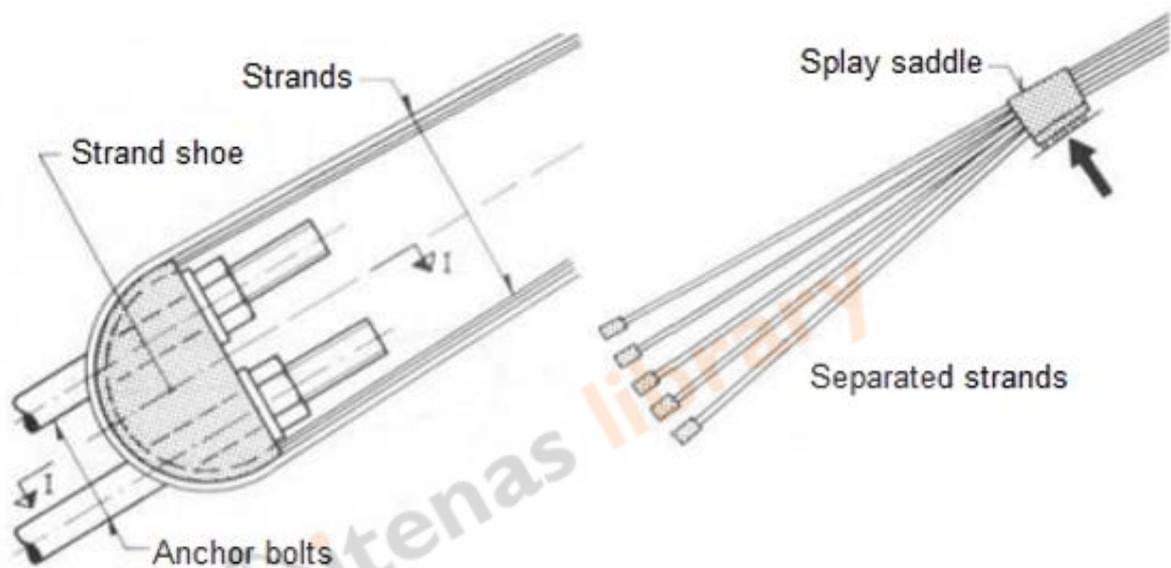
**Gambar 2.10** Pengankuran tunnel jembatan George Washington  
 Sumber: Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000



**Gambar 2.11** Pengankuran gravity jembatan Akashi Kaikyo  
 Sumber: Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000

Pengankuran *tunnel* membawa tegangan dari kabel utama langsung ke dalam tanah. Kondisi geoteknik yang memadai dibutuhkan untuk pengankuran tipe ini. Jembatan gantung dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal, yaitu banyaknya bentang, kontinuitas *stiffening girder*, tipe kabel penggantung, dan tipe pengankuran kabel. Untuk memastikan pengikatan yang memadai dari kabel utama dan keamanan struktur atas, blok jangkar dibangun untuk memindahkan gaya dari kabel utama ke tanah. Kekuatan besar didistribusikan ke blok jangkar dengan

menggunakan pelana splay untuk memisahkan masing-masing helai. Ini ditunjukkan pada **Gambar 2.12**. Pemisahan untaian sering terjadi di dalam ruang bentang di blok jangkar di mana, di ujung bilik, untaian dibenamkan ke soket yang mentransfer kekuatan ke dalam beton melalui batang baja. Juga, tiang pasak yang dikencangkan telah terbukti bermanfaat dalam mentransfer kekuatan untai ke beton. Untuk melindungi masing-masing helai dari korosi, telah menjadi kebiasaan konstruksi umum untuk memasang sistem *dehumidification* di ruang splay.



**Gambar 2.12** Pemisah untaian penghubung untaian yang terpisah ke jangkar  
 Sumber: *Structural health modeling of the Ölfusá Suspension Bridge*

Tergantung pada kekuatan kabel, konstruksi jangkar cenderung menghasilkan struktur gravitasi besar seperti yang ada pada **Gambar 2.13**. Blok jangkar perlu memastikan transmisi yang aman dari komponen horisontal dan vertikal dari gaya kabel dengan *memberikan* tekanan yang cukup pada pondasi serta *memberikan* stabilitas terhadap penggulingan. Baik berat struktur dan kondisi tanah merupakan faktor penting yang mempengaruhi desain blok jangkar



**Gambar 2.13** Blok jangkar *Verrazano Narrows Bridge* sepanjang 1298 m  
 Sumber: *Structural health modeling of the Ölfusá Suspension Bridge*

### 2.3.5 Lantai (*deck*) jembatan

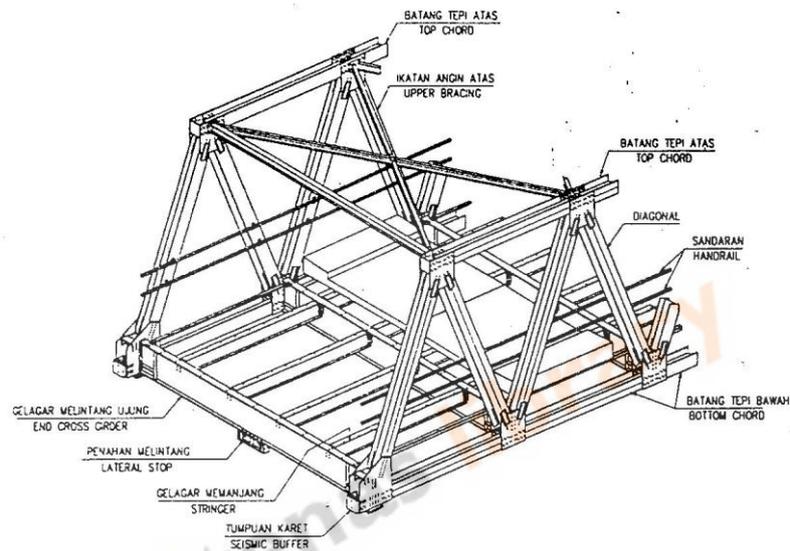
Lantai (*Deck*) jembatan merupakan struktur longitudinal yang menyokong dan berfungsi sebagai distribusi beban lalu lintas yang lewat di atasnya. Dalam perencanaan dek jembatan perlu mempertimbangkan beban mati dari dek itu sendiri serta faktor-faktor aliran udara vertikal. Dengan penggunaan sistem lantai (*deck*) dapat menambah kekakuan dari konstruksi jembatan gantung.

Sistem lantai (*deck*) mendistribusikan beban lalu lintas di atasnya, berperan sebagai penghubung sistem lateral, serta menjamin stabilitas *aerodinamis* dari struktur. Material yang biasanya digunakan pada dek (sistem lantai) jembatan berupa beton bertulang dengan berat yang relatif ringan, *deck orthotropic*, atau baja berongga yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja-beton). Pada dek (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 dek itu sendiri, selain itu dapat pula menimbulkan kerusakan pada konstruksi dek. Untuk itu penggunaan *expansion joint* sebaiknya diberikan setiap 30-40 m untuk mencegah kerusakan dek dan struktur utama (Troitsky, 1994).

Kekakuan dek (rangka batang) harus diperhitungkan dengan tepat agar kabel benar-benar berfungsi dengan baik dimana nantinya lantai jembatan dengan pengaku tipe rangka batang kaku (*stiffening truss*) yang disandarkan dengan kabel

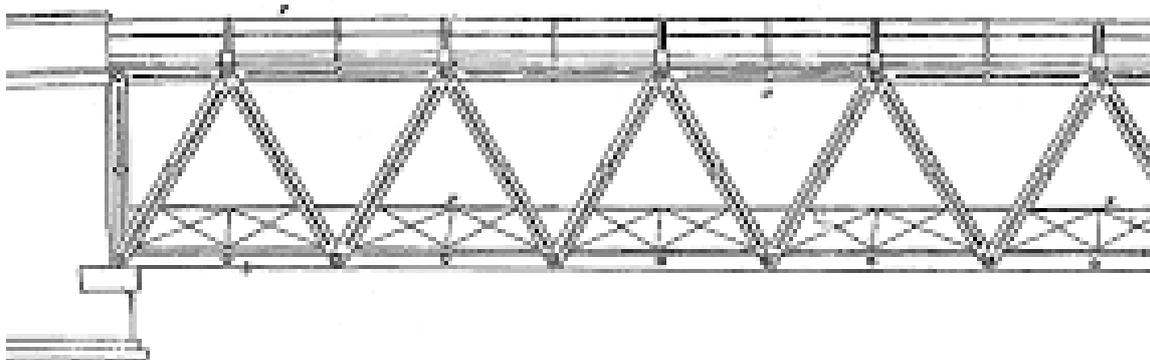
penggantung (*Hanggar*) akan bersama-sama mendukung beban sesuai dengan prinsip kompatibilitas lendutan yaitu bahwa lendutan yang terjadi pada jembatan adalah hasil perubahan bentuk dan penambahan panjang kabel serta lendutan dek (rangka batang). Hal ini perlu diperhatikan karena untuk kekakuan rangka batang yang berlebihan dapat menjadikan kabel tidak berfungsi sama sekali.

### 1. Dek tunggal



**Gambar 2.14** Rangka gelagar jembatan sistem dek tunggal  
Sumber: Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000

### 2. Dek Ganda



**Gambar 2.15** Rangka gelagar jembatan sistem dek ganda  
Sumber: Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000

## 2.4 Dasar Perencanaan

Dalam perencanaan jembatan *suspension*, terdapat beberapa literatur yang digunakan sebagai penunjang, antara lain:

1. Surat Edaran Menteri PUPR 2010 tentang Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung
2. Pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan.
3. Kabel utama dan hanggar menggunakan Surat Edaran Menteri PUPR 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel.

### 2.4.1 Pembebanan Jembatan

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Pada perancangan pembebanan pada jembatan gantung, pembebanan mengacu pada surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat no. 08/sem/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel yang terdapat pada **Tabel 2.3**, dimana aksi atau pembebanan yang terjadi pada struktur jembatan adalah aksi permanen, variabel dan tak terduga (*accidental*). Klasifikasi aksi pada struktur jembatan secara mendetail ditampilkan pada Tabel 4 di bawah. Semua aksi akan dikombinasikan untuk mendapatkan kondisi yang paling kritis selama proses perencanaan struktur jembatan

**Tabel 2.3** Tabel Klasifikasi aksi beban

Sumber: surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat no. 08/sem/2015

No.	Aksi Permanen	Aksi Variabel	Aksi Accidental
1	Berat sendiri struktur & Beban mati	Beban kendaraan	Gaya tumbukan kapal atau <i>drijter</i>
2	Gaya prategang	Gaya kejut kendaraan	Gaya tumbukan kendaraan
3	Susut dan rangkai beton	Tekanan lateral tanah akibat kendaraan	Aksi Gempa (seismik)
4	Gaya hanyutan air	Beban pejalan kaki (termasuk beban lajur sepeda motor)	Gaya dinamik <i>rupture</i> ruji kabel
5	Penurunan fondasi	Gaya pengereman kendaraan	
		Beban angin	
		Tekanan air (termasuk tekanan air mengalir dan beban ombak)	
		Efek temperatur	
		Tahanan friksi perletakan	
		Gaya <i>rupture</i> statis ruji kabel	
Efek penggantian ruji kabel			

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang *memberikan* keadaan yang paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan nonstruktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen-komponen tersebut. Beban-beban yang termasuk ke dalam beban permanen adalah beban dari berat sendiri dan beban mati tambahan dengan definisi sebagai berikut:

1. Berat sendiri (*MS*)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3. Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Dalam menentukan besarnya beban mati tersebut, harus digunakan nilai berat isi untuk bahan – bahan bangunan tersebut pada **Tabel 2.4** dan **Tabel 2.5** dibawah ini:

**Tabel 2.4** Tabel berat isi untuk beban Sendiri

Sumber: surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat no. 08/sem/2015

No.	Bahan	Berat isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan massa (kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi Tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$f'_c < 105$ MPa	+ 0,022 $f'_c$	+ 2,29 $f'_c$
8	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

**Tabel 2.5** Tabel berat isi untuk beban Sendiri

Sumber: RSNI T-02-2005

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi	Kerapatan Massa
		(kN/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
1	Campuran Aluminium	26,7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22	2240
3	Besi Tuang	71	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18,8 - 22,7	1920 – 2320
6	Aspal beton	22	2240
7	Beton ringan	12,25 - 19,6	1250 – 2000
8	Beton	22 – 25	2240 – 2560
9	Beton prategang	25 – 26	2560 – 2640
10	Beton bertulang	23,5 - 25,5	2400 – 2600
11	Timbal	111	11400
12	Lempung lepas	12,5	1280
13	Batu pasangan	23,5	2400
14	Neoprin	11,3	1150
15	Pasir kering	15,7 - 17,2	1600 – 1760
16	Pasir basah	18 - 18,8	1840 – 1920
17	Pasir Lunak	17,2	1760
18	Baja	77	7850
19	Kayu (ringan)	7,8	800
20	Kayu (keras)	11	1120
21	Air murni	9,8	1000
22	Air garam	10	1025
23	Besi tempa	75,5	7680

## 2. Beban mati tambahan/utilitas (*MA*)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan yaitu beban-beban yang mencakup semua peralatan, utilitas, dan komponen non-struktural yang terdapat pada jembatan, lapisan penutup permukaan, dan rencana pelebaran dan penambahan penutup permukaan jalan, hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

## 3. Beban Hidup

### a. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan seluruh beban hidup, arah vertikal dan horisontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T"

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban "D" didasarkan pada karakteristik jembatan yang memiliki lajur lalu lintas rencana dimana jumlah maksimum lajur lalu lintas untuk berbagai lebar lalu lintas ditentukan pada **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**.

**Tabel 2.6 .** Faktor beban akibat beban lajur "D"

Sumber: SNI 1725-2016

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TD}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TD}^U$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

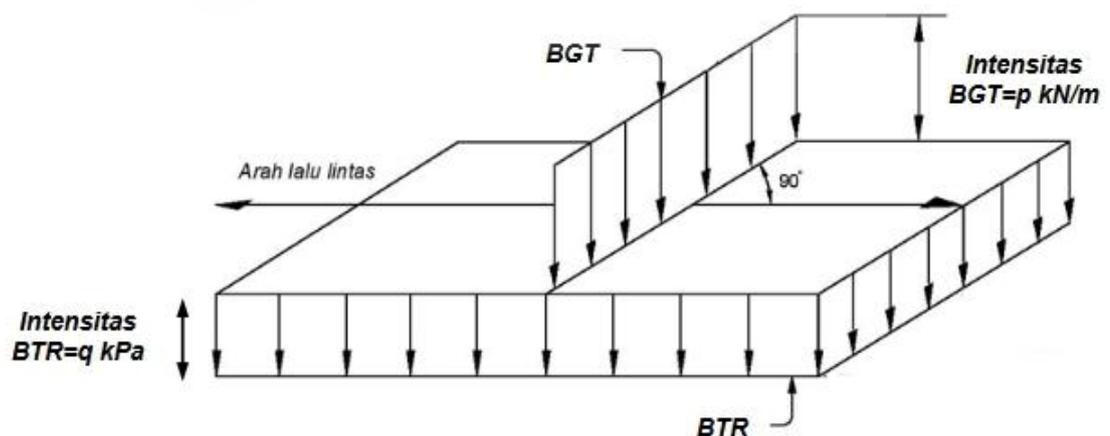
**Tabel 2.7** Jumlah jalur lalu lintas rencana

Sumber: SNI 1725-2016

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6

Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.  
 Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.

Intensitas beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti pada **Gambar 2.16**



**Gambar 2.16** Intensitas beban lajur “D”  
 Sumber: SNI 1725-2016

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  seperti berikut:

Bila  $L \leq 30$  m;  $q = 9$  kPa

Bila  $L > 30$  m;  $q = 9 (0,5 + (15/L))$  kPa

Dengan :  $q$  adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan;

$L$  adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Panjang yang dibebani  $L$  adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Beban garis (BGT) dengan intensitas  $P$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $P$  adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Penyebaran beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" pada arah melintang harus sama. Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan adalah sebagai berikut :

Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 % .

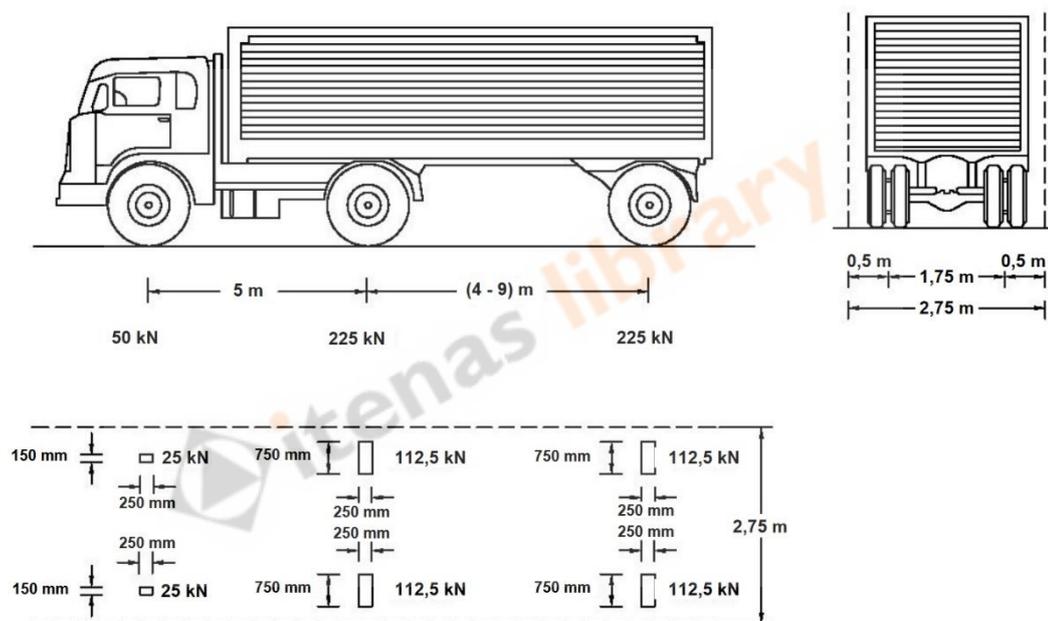
Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana ( $nl$ ) yang berdekatan, dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar  $nl \times 2,75 q$  kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar  $nl \times 2,75 p$  kN, kedua – duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar  $nl \times 2,75$  m;

Lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 %.

b. Beban truk "T"

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

Berat dari masing – masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak roda utama adalah 5,0 meter dan jarak antara 2 as lainnya bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan seperti pada **gambar 2.17**.



**Gambar 2.17** Ketentuan beban "T" pada jembatan jalan raya

Sumber: SNI 1725-2016

c. Gaya Rem

Pengaruh gaya – gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban "D" tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap berkerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter di atas permukaan lantai kendaraan (Supriyadi, dkk., 2007).

d. Beban Angin

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Apabila suatu kendaraan sedang ada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus

$$T_{ew} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \text{ (kN/m)} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

$T_{ew}$  = beban garis akibat beban angin (kN/m)

$C_w$  = koefisien seret

$V_w$  = kecepatan rencana angin (m/s)

1) Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang i diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak *memberikan* kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana ( $V_{DZ}$ ) dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

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

$V_{10}$  = Adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  = dalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan

- $Z$  = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm),
- $V_0$  = kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan [km/jam],
- $Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi

## 2) Beban angin pada struktur ( $EWS$ )

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

PB adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam **Tabel 2.8**

**Tabel 2.8** Tekanan angin dasar  
Sumber: SNI 1725-2016

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap(MPa)
Rangka, kolom dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

## 3) Beban dari struktur atas ( $EWs$ )

Beban dari struktur atas jika bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar PB untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam **Tabel 2.9** dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban

angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

**Tabel 2.9** Tekanan angin dasar ( $P_B$ ) untuk berbagai sudut serang  
Sumber: SNI 1725-2016

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral MPa	Beban longitudinal MPa	Beban lateral MPa	Beban longitudinal MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

4) Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersenut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

5) Gaya Gaya angin pada kendaraan ( $EW_i$ )

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, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak

lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam **Tabel 2.10** dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 2.10** Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan  
Sumber: SNI 1725-2016

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

6) Tekanan angin vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal

e. Beban Akibat Gempa Bumi

Pengaruh-pengaruh Gempa bumi pada jembatan dihitung senilai dengan pengaruh suatu gaya horizontal pada konstruksi yang ditinjau dan perlu ditinjau pula gaya – gaya lain yang berpengaruh seperti gaya gesek pada perletakan, tekanan hidro – dinamik akibat Gempa, tekanan tanah akibat Gempa dan gaya angkat apabila pondasi yang direncanakan merupakan pondasi terapan/pondasi langsung (Supriyadi, dkk., 2007).

Terdapat dua metode dalam menganalisis beban Gempa, yaitu metode statis ekuivalen dan metode analisa beban Gempa dinamis. Dalam analisa beban Gempa dinamis, digunakan data Respon Spektrum Gempa yang sesuai dengan lokasi jembatan yang akan direncanakan. Data respons spektrum tersebut diperoleh dari resmi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yaitu <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/> untuk wilayah Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan dengan kondisi tanah sedang (asumsi) dengan output berupa data perbandingan percepatan dan periode yang kemudian akan dianalisa oleh program SAP2000.

#### **2.4.2 Kombinasi beban**

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 1 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

1. Kuat I

Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

2. Kuat II

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

3. Kuat III

Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

4. Kuat IV

Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

5. Kuat V

Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

6. Ekstrem I

Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma_{EQ}$  yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

7. Ekstrem II

Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal

8. Layan I

Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada goronggorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada Penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

9. Layan II

Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

10. Layan III

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.

11. Layan IV

Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

Ketentuan pembebanan dapat dilihat pada **Tabel 2.11** berikut:

**Tabel 2.11** Kombinasi beban dan faktor beban

Sumber: SNI 1725-2016

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>s</sub>	EWL	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kaut I	$\gamma_D$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_D$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kaut III	$\gamma_D$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_D$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kaut V	$\gamma_D$	-	1,00	1,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstream I	$\gamma_D$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstream II	1,00	0,5	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Fatik (TD dan TT)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

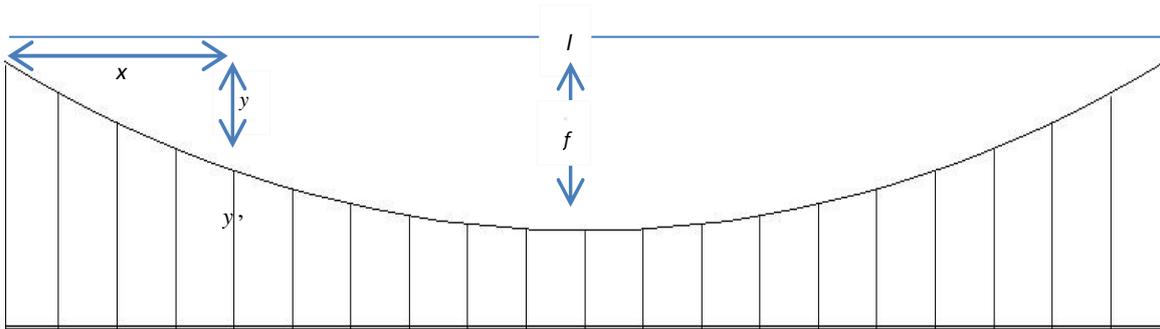
## 2.5 Tahap tahap Perencanaan

Pada penyusunan jembatan kabel suspensi bentang panjang dilakukan tahap-tahap perencanaan dengan tahap-tahap sebagai berikut yang akan diuraikan dibawah ini

### 2.5.1 Struktur kabel

Struktur kabel yang digunakan pada desain utama jembatan gantung ini terdiri dari kabel utama (*suspension cable*) dan kabel penggantung (*hanger*).

a. Kabel utama (*suspension cable*)



**Gambar 2.18** Struktur kabel pada bentang utama

Kabel utama jembatan gantung yang direncanakan berbentuk parabola dengan tipe *side span suspender*. Jembatan gantung dengan tipe ini menggunakan kabel penggantung pada bentang luarnya (*backstays*). Langkah - langkah dalam merencanakan kabel utama seperti yang tertera pada **Gambar 2.18** (*main cable*) menurut *Supriyadi dan Muntohar (2007)*:

1. Rasio fokus kabel utama:

Pada rasio fokus kabel, merujuk pada rumus 2.3 dimana rasio fokus berada diantara rentang  $\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12}\right)$  dan  $f$  (kedalaman lengkung) berada ditengah bentang

2. Panjang kabel utama

a) Panjang kabel utama di bentang utama

$$L = l \left(1 - \frac{8}{3}n^2\right) \dots\dots\dots(2.16)$$

b) Panjang kabel utama di bentang samping

$$2L_1 = 2l_1 \sec \alpha$$

$$2L_1 = 2l_1 \sec \alpha \dots\dots\dots(2.17)$$

keterangan:

$l_1$  = panjang bentang samping

$\alpha$  = sudut kemiringan kabel backstays terhadap lantai jembatan

b. Kabel penggantung (*hanger*)

Kabel penggantung (*hanger*) dalam desain jembatan gantung ini menggunakan tipe vertikal. Jarak antar kabel penggantung berkisar antara 5 - 22 meter. Langkah - langkah dalam merencanakan kabel penggantung (*hanger*) dengan Menghitung panjang kabel penggantung:

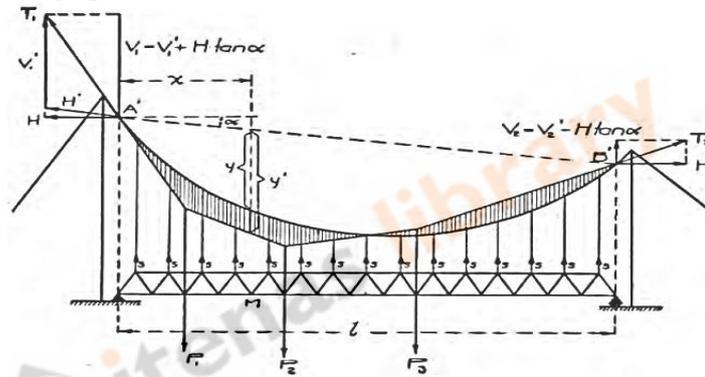
$$y = 4f \frac{x}{l^2} (l - x) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$y' = h_{pylon} - y \dots\dots\dots (2.19)$$

keterangan:

- y : jarak vertikal koordinat dari tumpuan
- x : jarak horizontal koordinat dari tumpuan
- l : panjang bentang utama
- f : sag pada tengah bentang
- y' : panjang kabel penggantung
- h<sub>pylon</sub> : tinggi menara dari lantai jembatan (1,6-2,3f)

c. Gaya yang bekerja pada kabel



Gambar 2.19 Gaya –gaya yang bekerja pada dek jembatan

1. Tegangan horizontal pada kabel:

$$H = M/y \dots\dots\dots (2.20)$$

keterangan:

- M = momen pada tiap titik kabel
- y = sag pada tiap titik kabel

2. Tegangan T pada kabel:

a. Pada kabel dibentang utama adalah:

$$T1 = H \cdot \sec \alpha \dots\dots\dots (2.21)$$

keterangan:

- α = sudut antara T<sub>1</sub> terhadap H

b. Pada kabel di bentang samping adalah:

$$T_2 = H \cdot \sec \emptyset \dots\dots\dots (2.22)$$

keterangan:

$\emptyset$  = sudut antara  $T_2$  terhadap H

3. Menghitung kebutuhan kabel:

$$\sigma' = P/A \dots\dots\dots (2.23)$$

keterangan:

$\sigma'$  = tegangan ijin tarik maksimum kabel

A = diameter penampang kabel

d. Lendutan pada dek

Lendutan pada dek dikurangi faktor N akibat kabel:

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3l}{Af^2} \cdot \frac{l'}{l}(1 + 8n^2) \dots\dots\dots (2.24)$$

keterangan:

A = luas penampang kabel utama

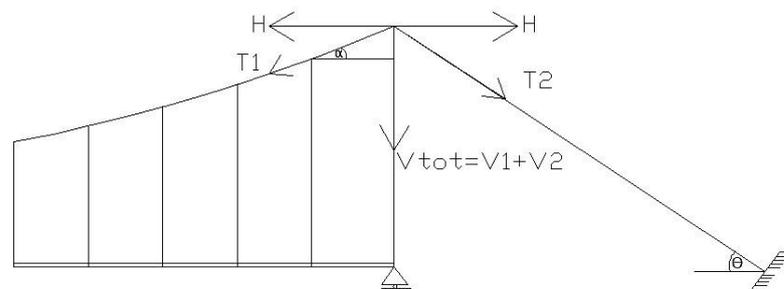
$\alpha$  = sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel :

Nilai dari lendutan yang terjadi pada dek jembatan gantung adalah:

$$d = \frac{5}{384} \left(1 - \frac{8}{5N}\right) \cdot \frac{Ql^4}{EI} \dots\dots\dots (2.25)$$

e. Gaya yang bekerja pada tower

Gaya yang bekerja pada tower dapat dilihat pada **Gambar 2.20**.



**Gambar 2.20** Gaya yang bekerja pada tower jembatan

Gaya – gaya tersebut disalurkan kabel pada tower. Pada bentang utama terjadi gaya  $T_1$  dan pada bentang samping terjadi gaya  $T_2$ . Jika

diperhitungkan terhadap sudut kabel maka gaya horizontal pada bentang utama sama dengan bentang samping agar terjadi keseimbangan, sehingga tidak terjadi gaya horizontal dan hanya terjadi gaya aksial ke tekan vertikal ke bawah pada *tower*, yaitu:

$$V = T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.26)$$

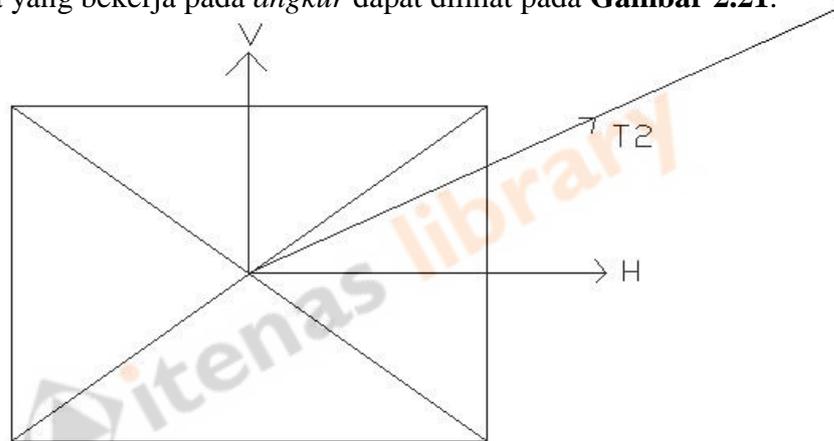
keterangan:

$\alpha$  = sudut antara  $T_1$  terhadap H

$\emptyset$  = sudut antara  $T_2$  terhadap H

f. Gaya yang bekerja pada *angkur*

Gaya yang bekerja pada *angkur* dapat dilihat pada **Gambar 2.21**.



**Gambar 2.21** Gaya yang bekerja pada *angkur* jembatan

Angkur memikul beban vertikal dan beban horizontal yang berdasar dari tegangan  $T_2$  pada kabel:

Gaya vertikal

$$V = T_2 \cdot \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.27)$$

Gaya horizontal

$$H = T_2 \cdot \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.28)$$

### 2.5.2 Perencanaan Pylon

Perhitungan dimensi pylon berdasarkan pada besarnya gaya aksial tekan total kabel utama untuk satu sisi kolom vertikal pylon. Gaya aksial tekan total kabel ini dibandingkan dengan mutu beton pylon yang digunakan sehingga didapatkan rumus sebagai berikut:

$$A_{perlu} = \frac{T}{f'c} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dari  $A_{perlu}$  yang didapatkan, dapat ditentukan dimensi pylon dengan rumus berikut ini:

$$h = 1,5 \times b \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan :

$A_{perlu}$  = luasan penampang pylon yang diperlukan

$T$  = Gaya aksial kabel pada pylon                       $b$  = lebar penampang

$f'c$  = mutu beton     $h$  = tinggi penampang

## 2.6 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs-situs di internet. Output dari studi literatur ini adalah terkoleksinya referensi yang relevan dengan perumusan masalah.

Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dan juga menjadi dasar untuk melakukan desain jembatan suspensi dengan dek tunggal atau ganda.

Berikut ini terdapat studi literatur mengenai perencanaan jembatan Suspensi dengan sistem satu gelagar berupa jurnal yang ditulis oleh Respa Rose Mangi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Lampung dengan judul “Perancangan Struktur Kabel Pada Jembatan Gantung” dengan desain jembatan merupakan jembatan suspensi Kutai Kartanegara di atas Sungai Mahakam yang berada di Kota Tenggarong, Kabupaten Kutai, Provinsi Kalimantan Timur. Tugas akhir ini berisi informasi-informasi tentang jembatan dengan data sebagai berikut:

- a. Bentang total jembatan adalah 450 meter terdiri dari panjang bentang utama adalah 300 meter dan panjang bentang tepi adalah 75 meter
- b. Lebar total jembatan adalah 14 meter 5. Lebar lantai kendaraan 12 meter 4 lajur 2 arah dan lebar trotoar 1 meter.
- c. Jembatan diklasifikasikan sebagai kelas jalan II.
- d. Gelagar memanjang jembatan berupa Baja IWF

- e. Material Rangka :
1. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 490 MPa
  2. Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) : 355 MPa
  3. Berat jenis baja : 78,5 kN/m<sup>3</sup>
  4. Modulus Elastisitas : 200.000 Mpa
  5. Profil rangka atas dan bawah : IWF 400 x 400 x 12 x 19
  6. Profil rangka diagona : IWF 400 x 300 x 9 x 12
  7. Profil melintang atas : IWF 300 x 150 x 9 x 12
  8. Profil ikatan angin I : WF 200 x 100 x 5,5 x 8
  9. Profil gelagar melintang bawah: IWF 800 x 300 x 12 x 22
- f. Sambungan yang digunakan merupakan sambungan tipe gesek dengan :
1. Mutu baut : M24 ASTM A-325 Grade 8.8
  2. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 825 MPa
  3. Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) : 525 MPa
- g. Material *Hanger* dengan :
1. Profil hanggar : Profil D63
  2. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 773 MPa
  3. Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) : 580 MPa
- h. Material *Clamp* dengan :
1. Material : FCD 60
  2. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 600 MPa
  3. Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) : 400 MPa
  4. Modulus Elastisitas : 200.000 Mpa
- i. Material *Main Cable* dengan :
1. Profil : Profil 19 D57.9 ASTM A586-3 7/8
  2. Material : *Galv. Spiral Wire Strand*
  3. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 1631 MPa
  4. Modulus Elastisitas : 167875 MPa
- j. Material *Pylon Frame Pilon Frame* Pilon Baja dengan :
1. Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) : 414 MPa
  2. Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) : 241 MPa
  3. Modulus Elastisitas : 200.000 MPa

- k. Tinggi ruang bebas jembatan adalah 15 meter.
- l. Tinggi pylon 37 meter dari lantai jembatan.

Selain literatur tentang perencanaan jembatan Suspensi dengan sistem satu gelagar terdapat juga perencanaan jembatan suspensi dengan sistem dua gelagar berupa data spesifikasi pada jembatan Tugas Akhir ini berisi tentang data-data yang dapat dijadikan referensi oleh penulis dalam mendesain jembatan yang serupa. Berikut data-data tersebut:

1. Total panjang Jembatan	: 2.727 meter
2. Panjang rentang suspensi	: 1.965,96 meter
3. Jarak antara menara	: 1.280 meter
4. Panjang bentang luar	: 342 meter
5. Lebar Jembatan:	: 27 meter
6. Lebar jalan di antara trotoar	: 18 meter
7. Lebar trotoar	: 3 meter
8. Jarak bebas di atas rata-rata air tinggi	: 67 meter
9. Tinggi ruang bebas jembatan	: 85 meter
10. Ketinggian menara dari muka air	: 228 meter
11. Ketinggian menara di atas jalan raya	: 152,5 meter
12. Dimensi dasar menara (setiap kaki)	: 10 x 16 meter
13. Diameter satu kabel utama	: 36 3/8 inci
14. Panjang satu kabel utama	: 2.331 kaki
15. Diameter satu kabel utama galvanis	: 0,192 inci
16. Jumlah kabel galvanis dalam kabel utama	: 27,572 Untai
17. Jumlah helai dalam satu kabel utama	: 61 untai
18. Muatan di setiap menara dari kabel utama	: 61.500 ton
19. Kekuatan kabel jangkar yang direncanakan	: 2 ton