

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 UMUM

Jembatan merupakan suatu prasarana transportasi yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Menurut Bindra (1992), jembatan adalah suatu fasilitas bangunan jalan yang berfungsi mendukung lalu lintas jalan raya atau beban-beban yang bergerak di atas suatu rintangan atau tempat rendah seperti danau, sungai, terusan, jalan raya, dan kombinasi semuanya.

Menurut Asiyanto (2005), secara fisik, jembatan berfungsi untuk menghubungkan dua tempat yang terhalang oleh dua kondisi, yaitu:

1. Kondisi alam, seperti: sungai, lembah, selat (disebut *bridge*).
2. Kondisi bangunan atau jalan yang telah/akan ada (disebut *fly over/viaduct*).

Kendala yang dihadapi dua macam jembatan tersebut berbeda, yaitu:

1. Jembatan (*bridge*): arus air atau kedalaman air yang dapat menyulitkan proses pelaksanaan jembatan.
2. Jembatan layang (*fly over*): fungsi bangunan/jalan yang ada di bawahnya tidak boleh terganggu selama proses pelaksanaan jembatan layang. Oleh karena itu diperlukan pengaturan lalu lintas selama proses pelaksanaan jembatan.

Supriyadi dan Muntohar (2007) menyimpulkan beberapa jenis/tipe jembatan yang telah berkembang hingga saat ini:

1. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung telah ditemukan di era Babylonia pada masa lampau. Jembatan jenis ini memiliki dua tipe yaitu pelengkung bawah dan pelengkung atas. Gambar 2.1 di bawah ini adalah contoh jembatan pelengkung.



Gambar 2.1 Jembatan pelengkung bawah

Sumber: [www-civ.eng.cam.ac.uk](http://www-civ.eng.cam.ac.uk)

## 2. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka dapat terbuat dari bahan kayu atau logam. Jembatan rangka kayu hanya terbatas untuk mendukung beban yang tidak terlalu besar. Setelah ditemukan bahan baja, jembatan tipe rangka menggunakan rangka baja dengan berbagai macam bentuk. Gambar 2.2 di bawah ini adalah contoh jembatan rangka.



Gambar 2.2 Jembatan rangka

Sumber: [www-civ.eng.cam.ac.uk](http://www-civ.eng.cam.ac.uk)

### 3. Jembatan Beton (*Concrete Bridge*)

Beton merupakan salah satu material yang sangat umum digunakan dalam dunia konstruksi. Kemajuan teknologi beton saat ini memungkinkan para *engineer* dan pemakai untuk memperoleh bentuk penampang beton yang beragam. Dewasa ini jembatan beton tidak hanya berupa beton bertulang konvensional saja, tetapi telah dikembangkan berupa jembatan beton prategang. Gambar 2.3 di bawah ini adalah contoh jembatan beton.



Gambar 2.3 Jembatan beton

Sumber: [www-civ.eng.cam.ac.uk](http://www-civ.eng.cam.ac.uk)

### 4. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan tipe ini sering dibuat untuk jembatan bentang panjang dan dimungkinkan untuk dibuat tanpa pilar ditengahnya. Jembatan gantung terdiri atas pelengkung penggantung dan batang penggantung (*hanger*) dari kabel baja, dan bagian yang lurus berfungsi mendukung lalu lintas (dek jembatan). Jembatan gantung juga mempunyai bentang luar (*side span*) yang berfungsi untuk mengikat/mengangkerkan kabel utama pada blok angker. Gambar 2.4 di bawah ini adalah contoh jembatan gantung.



Gambar 2.4 Jembatan gantung

Sumber: [www-civ.eng.cam.ac.uk](http://www-civ.eng.cam.ac.uk)

#### 5. Jembatan *Cable Stayed*

Jembatan tipe ini merupakan pilihan desain yang baik bila digunakan untuk jembatan bentang panjang selain bentuknya yang sangat artistik. Kombinasi penggunaan kabel dan dek prategang merupakan kelebihan dari jembatan tipe ini. Gambar 2.5 di bawah ini adalah contoh jembatan *cable stayed*.



Gambar 2.5 Jembatan *cable stayed*

Sumber: [www-civ.eng.cam.ac.uk](http://www-civ.eng.cam.ac.uk)

Bagian-bagian konstruksi jembatan secara umum terdiri dari konstruksi bangunan atas (*superstructure*) dan konstruksi bangunan bawah (*substructure*). Konstruksi bagian atas jembatan berfungsi menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh berat sendiri struktur tersebut, suatu lintasan orang, dan kendaraan kemudian disalurkan pada bangunan bawah. Konstruksi bagian atas jembatan ini meliputi sandaran, konstruksi trotoar, perkerasan dan lantai kendaraan, balok diafragma/ikatan melintang, balok gelagar, ikatan pengaku (ikatan angin, ikatan rem, ikatan tumbukan), dan perletakan (sendi dan rol). Konstruksi bagian bawah jembatan berfungsi untuk menerima beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian disalurkan ke tanah dasar. Konstruksi bagian bawah jembatan ini meliputi *abutment*, pilar/kolom, fondasi baik pada pilar maupun *abutment*.

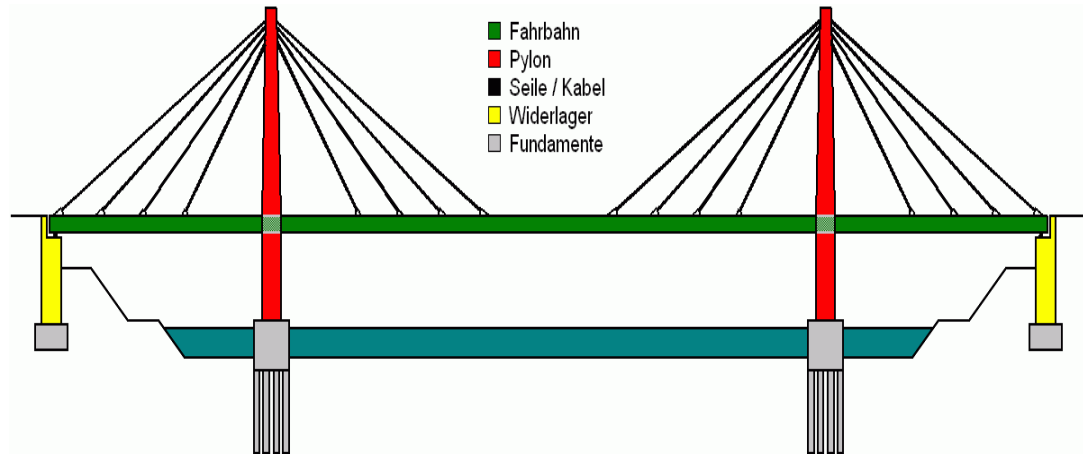
([http://azwaruddin.blogspot.com/pengertian\\_jembatan.html](http://azwaruddin.blogspot.com/pengertian_jembatan.html))

## **2.2 PENGERTIAN JEMBATAN *CABLE STAYED***

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dilakukan perencanaan jembatan dengan tipe *cable stayed*, oleh karena itu berikut ini akan dibahas dan diulas pengertian jembatan *cable stayed*. Menurut Walther (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007), jembatan *cable stayed* (kabel tetap) sudah dikenal sejak lebih dari 200 tahun yang lalu yang pada awal era tersebut umumnya dibangun dengan menggunakan kabel vertikal dan miring seperti Dryburgh Abbey Footbridge di Skotlandia yang dibangun pada tahun 1817. Seiring berjalannya waktu, jembatan *cable stayed* mengalami banyak perkembangan dan mempunyai bentuk yang bervariasi dari segi material yang digunakan maupun segi estetika. Pada abad ke-17, seorang ahli Venesia bernama Verantus mulai menggunakan konsep dan aplikasi jembatan *cable stayed* dengan membangun jembatan dengan beberapa gantungan diagonal berupa rantai. Menurut Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007), jauh berabad-abad sebelumnya, gagasan ini telah muncul di Mesir yang menggunakan kabel-kabel penggantung pada tiang kapal laut, serta di daerah tropis (termasuk Indonesia) yang mengaplikasikannya pada jembatan gantung yang memakai bambu.

## 2.3 KOMPONEN JEMBATAN *CABLE STAYED*

Supriyadi dan Muntohar (2007) mengatakan bahwa komponen utama jembatan *cable stayed* terdiri atas gelagar (*fahrbahn*), menara (*pylon*), sistem kabel (*seile*), *abutment* atau *widerlager*, dan fondasi (*fundamente*). Gambar 2.6 di bawah ini menggambarkan komponen jembatan *cable stayed*.



Gambar 2.6 Komponen utama jembatan *cable stayed*

Sumber: [www.google.com](http://www.google.com)


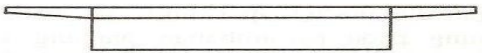
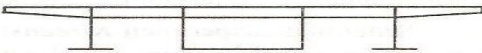
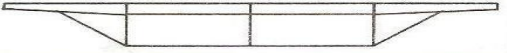
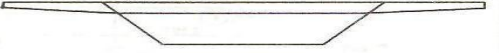
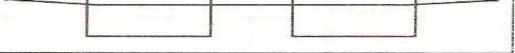
### 2.3.1 Gelagar

Podolny dan Scalzi (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa bentuk gelagar jembatan *cable stayed* sangat bervariasi namun yang paling sering digunakan ada dua yaitu *solid web* dan *stiffening truss*. *Solid web* digunakan untuk struktur baja atau beton baik beton bertulang maupun beton prategang dan *stiffening truss* digunakan untuk struktur baja.

*Stiffening truss* sudah mulai ditinggalkan dan jarang digunakan dalam desain karena mempunyai banyak kekurangan antara lain, besarnya pabrikasi yang dibutuhkan, perawatan yang relatif sulit, dan kurang menarik dari segi estetika. Gelagar yang tersusun dari *solid web* yang terbuat dari baja atau beton terbagi menjadi dua tipe, yaitu:

- a. gelagar pelat (*plate girder*), dapat terdiri atas dua atau banyak gelagar,
- b. gelagar *box* (*box girder*), dapat terdiri atas satu atau susunan *box* yang dapat berbentuk persegi panjang atau trapesium.

Susunan dek yang tersusun dari gelagar pelat memiliki kekakuan torsi yang kecil sehingga tidak dapat digunakan untuk jembatan yang bentangnya panjang dan lebar serta hanya menggunakan satu bidang kabel penggantung. Kekakuan torsi yang sangat besar akan dimiliki oleh dek jembatan yang menggunakan satu atau susunan *box* sehingga cocok untuk jembatan yang mengalami torsi yang sangat besar. Gelagar *box* tunggal biasanya digunakan pada jembatan yang menggunakan satu bidang kabel penggantung, sedangkan jembatan yang lebar menggunakan susunan gelagar *box*. Bahan dari beton biasanya digunakan pada gelagar pelat atau *box* biasanya, baik berupa beton *precast* atau cetak setempat. Gelagar pelat atau *box* yang terbuat dari baja mempunyai masalah seperti pada *truss* berupa perawatan terhadap korosi yang relatif tidak murah meskipun biaya konstruksi lebih murah. Gelagar beton biasanya berupa gelagar *box* tunggal yang diberi pengaku lateral pada jarak tertentu (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Gambar 2.7 di bawah ini adalah contoh-contoh gelagar *solid web*.

	Susunan	Tipikal potongan melintang
Tipe gelagar utama	Gelagar I Kembar	
	Gelagar box persegi	
	Kombinasi gelagar box (tengah) – gelagar I individual (tepi)	
	Kombinasi gelagar box seluler kembar individual dan <i>sloping struts</i>	
	Gelagar box <i>trapezoidal</i> individual	
	Gelagar box persegi kembar	

Gambar 2.7 Gelagar *solid web*

Sumber: Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Menurut Zarkasi dan Roliansjah (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) *solid web* yang terbuat dari beton *precast* mempunyai banyak keuntungan antara lain:

- a. kecenderungan struktur dek beton yang tidak bergetar dan dapat berbentuk aerodinamik yang menguntungkan,
- b. gaya tekan pada sistem dek akan diaktifkan oleh komponen gaya horizontal pada kabel dikarenakan beton sangat cocok untuk menahan gaya desak,
- c. perbandingan beban hidup dan beban mati menjadi kecil karena beton mempunyai berat yang sangat besar, akibatnya perbandingan lendutan akibat beban hidup dan beban mati tidak besar,
- d. kemudahan pemasangan bangunan atas dan kabel dengan teknik *prestressing* masa kini, prepabrikasi, segmental, dan mempunyai kandungan lokal yang tinggi,
- e. pemeliharaan yang lebih mudah karena beton tidak berkarat seperti baja.

Perilaku gelagar menerus di atas perletakan elastis mirip dengan perilaku gelagar sebagai bagian yang terintegrasi dari sebuah jembatan *cabl stayed*. Akan tetapi dukungan kabel dapat dianggap sebagai perletakan tetap selama tahap awal pembangunan dan prapenegangan kabel akibat beban mati. Pada tahap kedua pembebanan termasuk beban mati dan hidup total, tempat dimana terdapat dukungan kabel akan terdeformasi secara elastis tergantung pada penambahan panjang kabel dan lendutan pada ujung menara. Kekakuan dan momen lentur yang terjadi pada gelagar akan direduksi oleh defleksi akhir pertemuan kabel dengan gelagar.

Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa pengalaman dalam perancangan jembatan *cabl stayed* menunjukkan bahwa tinggi gelagar dapat digunakan antara  $\frac{1}{15} - \frac{1}{18}$  panjang panel atau  $\frac{1}{100} - \frac{1}{200}$  panjang bentang utama. Menurut Podolny (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007), berdasarkan survei yang dilakukan terhadap 20 jembatan *cabl stayed* yang ada di dunia memberikan perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan yang bervariasi mulai dari  $\frac{1}{40} - \frac{1}{100}$ . Leonhardt (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang utama jembatan tergantung pada rasio lendutan maksimum akibat beban hidup dan beban mati, serta memberikan nilai



yang ekonomis bila nilainya berkisar antara  $\frac{1}{10} - \frac{1}{90}$ . Khusus untuk jembatan *cable stayed* beton dengan sistem kabel dua bidang, pada kedua ujung tidak menunjukkan gejala aerodinamik yang mengkhawatirkan bila memenuhi persyaratan:

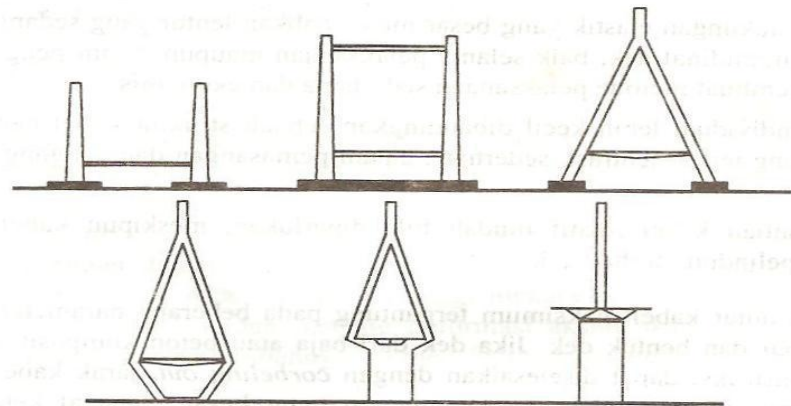
$$B \geq 10 H \text{ atau } B \geq \frac{L}{30},$$

dengan  $B$  adalah lebar jembatan,  $H$  adalah tinggi gelagar, dan  $L$  menyatakan panjang bentang utama.

Untuk jembatan baja yang relatif ringan dan bentang di atas 400 meter sehingga cenderung mudah bergetar, persyaratan di atas masih berlaku namun sebaiknya digantung ke menara bentuk A dan harus mempunyai  $B \geq \frac{L}{25}$ .

### 2.3.2 Menara/Pylon

Konfigurasi kabel, estetika, dan kebutuhan perencanaan serta pertimbangan biaya sangat mempengaruhi pemilihan bentuk menara. Bentuk-bentuk menara dapat berupa rangka portal trapezoidal, menara kembar, menara A, atau menara tunggal (Supriyadi dan Muntohar, 2007).



Gambar 2.8 Tipe menara/pylon

Sumber: Zarkasi dan Roliansjah (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Selain bentuk menara yang telah disebutkan, masih banyak bentuk menara lain namun jarang digunakan seperti menara Y, menara V, dan lain sebagainya. Bentuk-bentuk menara yang umum digunakan adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 di atas.

Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa tinggi menara merupakan fungsi dari panjang panel yang dapat ditulis:

$$H = n.a.\tan 25^\circ = 0,465.n.a \quad (2.1)$$

dengan  $n$  dan  $a$  masing-masing jumlah kabel dan panjang panel. Misalnya menggunakan tiga kabel pada tiap sisi menara maka tinggi menara yang diperlukan adalah:

$$H = 0,465.3.a = 1,4.a \quad (2.2)$$

Biasanya panel tengah lebih panjang dari panel lain dan boleh diambil sebesar  $1,3a$  sehingga perhitungannya menjadi:

$$\frac{H}{L} = \frac{1,4 a}{(n+1,3)a} \quad (2.3)$$

Menurut Podolny (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007), tinggi menara ditentukan dari beberapa hal seperti tipe sistem kabel, jumlah kabel, serta perbandingan estetika dalam tinggi menara dan panjang bentang, untuk itu direkomendasikan perbandingan antara bentang terpanjang dan tinggi menara antara  $0,19-0,25$ . Pada perencanaan kali ini akan digunakan tipe menara/*pylon* H.

### 2.3.3 Sistem Kabel

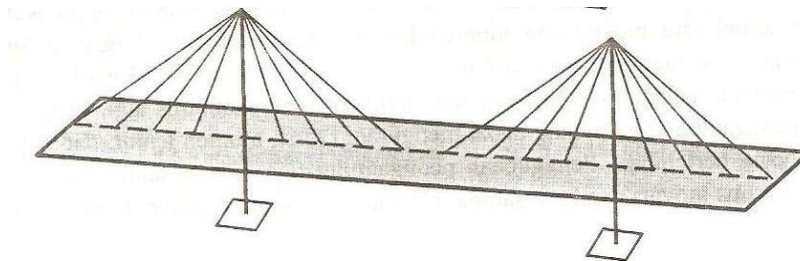
Salah satu hal mendasar dalam perencanaan jembatan *cable stayed* adalah sistem kabel. Kabel digunakan untuk menopang gelagar diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke menara/*pylon*. Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai susunan kabel transversal dan susunan kabel longitudinal. Pemilihan tatanan kabel tersebut akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara dan tampang gelagar, begitu pula pada metode pelaksanaan, biaya, dan arsitektur jembatan. Walther (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa sebagian besar struktur jembatan *cable stayed* yang sudah dibangun terdiri atas dua bidang kabel dan diangkerkan pada sisi-sisi gelagar, namun ada juga beberapa yang hanya menggunakan satu bidang.

## 1. Tatanan kabel transversal

Tatanan kabel arah transversal terhadap sumbu longitudinal jembatan dapat disusun pada bidang ganda (dua bidang) atau tunggal (satu bidang) dan secara asimetri atau simetri (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

### a. Sistem satu bidang

Sistem ini sangat menguntungkan dari segi estetika karena tidak terjadi kabel bersilangan yang terlihat oleh pandangan sehingga terlihat penampilan struktur yang indah. Kabel ditempatkan di tengah-tengah dek dan membatasi dua arah jalur lalu lintas. Penempatan kabel di tengah-tengah dek menyebabkan torsi pada dek menjadi besar akibat beban lalu lintas yang asimetri dan tiupan angin. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan dek kaku berupa gelagar kotak (*box girder*) yang mempunyai kekakuan torsi yang sangat besar. Penempatan menara yang mengikuti bidang kabel di tengah dek akan mengurangi lebar lantai kendaraan sehingga perlu dilakukan penambahan lebar sampai batas minimum yang dibutuhkan. Untuk jembatan bentang panjang biasanya memerlukan menara yang tinggi yang menyebabkan lebar menara di bawah dek sangat besar. Penyebaran kaki ke sisi-sisi dek dapat mengatasi hal tersebut dengan tidak mengurangi lebar lantai kendaraan yang dibutuhkan. Secara umum penggantung kabel satu bidang tidak cocok untuk jembatan yang sangat panjang atau sangat lebar (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Gambar 2.9 di bawah ini adalah contoh tatanan kabel transversal satu bidang.

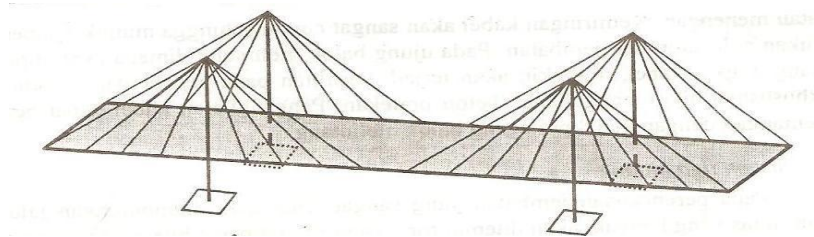


Gambar 2.9 Tatanan kabel transversal satu bidang

Sumber: Podolny dan Scalzi (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

b. Sistem dua bidang

Sistem kabel dua bidang dibedakan dalam dua jenis yaitu sistem dua bidang vertikal sejajar dan sistem dua bidang miring yang pada sisi atas lebih sempit. Masalah pada lalu lintas yang lewat diantara dua bidang kabel dapat ditimbulkan oleh penggunaan bidang miring, terlebih bila jembatan mempunyai bentang yang relatif pendek atau menengah. Kemiringan kabel akan sangat curam sehingga mungkin diperlukan pelebaran dek jembatan. Pada ujung balok melintang dimana akan dipasang angker kabel, mungkin akan terjadi kesulitan pada pendetailan struktur, khususnya bila menggunakan beton pratekan. Pengangkeran kabel dapat bertentangan dengan kabel prategang balok melintang. Pengangkeran sistem kabel dua bidang dapat ditempatkan pada sisi luar struktur gelagar atau masuk ke dalam struktur gelagar pada batas tertentu. Keuntungan pada pengangkeran sisi luar gelagar yaitu tidak mengurangi bagian dek untuk penempatan alat koneksi. Kerugiannya adalah dibutuhkan penambahan tulangan untuk menyalurkan gaya eksentris kabel yang dapat berupa momen dan geser ke dalam struktur utama gelagar (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Gambar 2.10 di bawah ini adalah contoh tatanan kabel transversal dua bidang.



Gambar 2.10 Tatanan kabel transversal dua bidang

Sumber: Podolny dan Scalzi (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

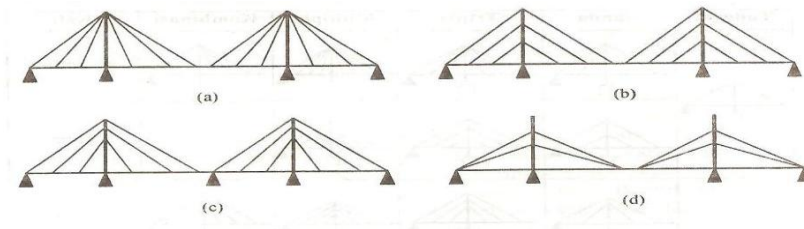
c. Sistem tiga bidang

Pada perencanaan jembatan yang sangat lebar atau membutuhkan jalur lalu lintas yang banyak, akan didapatkan torsi yang sangat besar bila menggunakan sistem kabel satu bidang dan momen lentur yang besar pada tengah balok melintang bila menggunakan sistem dua bidang. Hal tersebut menyebabkan gelagar menjadi

sangat besar dan tidak ekonomis lagi. Penggunaan penggantung tiga bidang dapat mengurangi torsi, momen lentur, dan gaya geser yang berlebihan. Sistem tiga bidang adalah sistem kabel yang bekerja pada tiga bidang kabel vertikal. Tiga bidang kabel tersebut diletakkan pada median dan pada dua sisi luar jembatan. Walther (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa penggunaan penggantung tiga bidang sampai saat ini masih berupa inovasi dan baru sampai tahap desain.

## 2. Tatanan kabel longitudinal

Pengalaman perencana menentukan perbandingan antara bentang dengan tinggi menara biasanya akan menentukan banyaknya variasi tatanan kabel longitudinal pada jembatan. Untuk bentang yang pendek, kabel tunggal sudah cukup untuk menahan beban yang direncanakan. Menurut Podolny dan Scalzi (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007), untuk bentang utama yang panjang dan bentang tidak simetris yang menggunakan angker, variasi tatanan kabel tidak cukup dengan kebutuhan secara teknis tetapi harus menghasilkan konfigurasi dasar tatanan kabel longitudinal yaitu *radiating*, *harp*, *fan*, dan *star* seperti gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Tatanan kabel longitudinal (a) *radiating*, (b) *harp*, (c) *fan*, (d) *star*

Sumber: Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007))

### a. Tipe *radiating*

Pada tipe ini kabel-kabel akan disusun secara terpusat pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang pada gelagar. Kelebihan tipe ini adalah kemiringan rata-rata kabel cukup besar sehingga komponen gaya horizontal tidak terlalu besar. Namun kekurangannya adalah kabel yang terkumpul di atas kepala menara

menyulitkan dalam perencanaan dan pendetailan sambungan (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

b. Tipe *harp*

Pada tipe ini kabel-kabel penggantung akan dipasang sejajar dan disambungkan ke menara dengan ketinggian yang berbeda-beda satu terhadap yang lainnya. Susunan kabel yang sejajar memberikan efek estetika yang sangat indah namun terjadi lentur yang besar pada menara (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

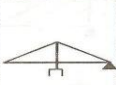
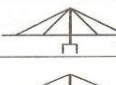

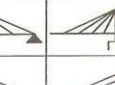
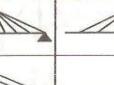
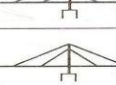
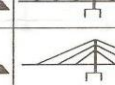
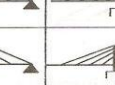
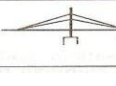

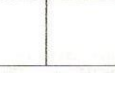
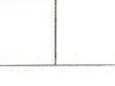
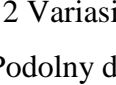
c. Tipe *fan*

Tipe ini merupakan solusi tengah antara tipe *radiating* dengan tipe *harp*. Kabel disebar pada bagian atas menara dan pada dek sepanjang bentang, menghasilkan kabel tidak sejajar. Penyebaran kabel pada menara akan memudahkan pendetailan tulangan (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

d. Tipe *star*

Tipe ini memiliki bentuk yang berlawanan dengan tipe *radiating* dimana kabel terpusat pada gelagar. Bentuk ini memberikan estetika yang baik namun menyulitkan pendetailan sambungan pada gelagar. Dukungan antara dua tumpuan tetap jembatan hanya ada pada pertemuan kabel sehingga momen lentur yang akan terjadi menjadi lebih besar (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Keempat bentuk dasar tersebut dapat digabung satu dengan yang lainnya dan akan memberikan bentuk yang bervariasi seperti yang tertera pada gambar 2.12 di bawah. Pemilihan tatanan dan jumlah kabel tergantung pada panjang bentang, jenis beban, jumlah jalur atau lebar jembatan, tinggi menara, biaya, dan dari segi estetika.

Tunggal	Ganda	Triple	Multiple	Kombinasi	Ket.
					<i>Radiating</i>
					<i>Harp</i>
					<i>Fan</i>
					<i>Star</i>

Gambar 2.12 Variasi gabungan bentuk dasar tatanan kabel longitudinal

Sumber: Podolny dan Scalzi (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa sudut kemiringan optimum kabel terluar adalah  $45^\circ$  namun masih dapat divariasikan dalam batas-batas yang dapat diterima (*reasonable limits*) yaitu antara  $25^\circ$ - $65^\circ$ . Sudut kemiringan terbesar terjadi pada kabel terdekat sedangkan sudut paling kecil terdapat pada kabel yang paling jauh dari menara. Nilai batas di atas diperoleh dari hasil analisis dengan mengadakan penyederhanaan pada pertemuan kabel dengan gelagar. Penyederhanaan tersebut menganggap *joint* berupa sendi. Akan tetapi kemiringan kabel optimum tidak selalu digunakan dalam pertimbangan perencanaan karena sudut masih ditentukan oleh bentuk arsitektur struktur, panjang kabel, kemudahan pelaksanaan, dan berbagai kondisi lokal.

Pada jembatan *cable stayed* modern/terbaru jumlah kabel yang digunakan cukup banyak dan jarak antar kabel atau panjang panel akan menjadi lebih kecil. Cara ini akan memudahkan penjangkaran dan memungkinkan untuk menggunakan gelagar yang lebih ramping. Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa tinggi gelagar yang kecil akan memberikan stabilitas aerodinamik yang baik dan pelaksanaan pembangunan lebih mudah.

Keuntungan jembatan *cable stayed* dengan jumlah kabel banyak adalah:

- a) lentur yang tidak besar pada arah longitudinal dek, dikarenakan jumlah dukungan elastik yang besar, baik selama pelaksanaan maupun dalam pengoperasian, dan membuat metode pelaksanaan menjadi sederhana dan ekonomis,
- b) pemasangan dan pengangkerannya menjadi lebih sederhana, selain itu kabel individual lebih kecil dibandingkan sebuah struktur kabel penggantung yang terkonsentrasi,
- c) penggantian kabel relatif mudah bila diperlukan, meskipun kabel telah diberi pelindung terhadap korosi.

Jarak antar kabel maksimum tergantung pada beberapa parameter, khususnya bentuk dan lebar dek. Jika dek dari baja atau beton komposit, jarak kabel yang sangat rapat tidak memberikan keuntungan yang besar. Sebagai ketentuan umum, jarak antara 15 meter dan 25 meter dapat digunakan. Penggunaan jarak yang lebih besar masih dapat dimungkinkan dengan alasan tertentu. Menurut Walther (dalam

Supriyadi dan Muntohar, 2007), jika dek dari beton, desain dengan banyak kabel penggantung terpisah 5 meter sampai 10 meter memberikan banyak keuntungan dan mungkin sangat penting untuk struktur dengan bentang panjang.

Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa perbandingan jarak antar kabel atau panjang panel yang diperoleh dari struktur yang sudah ada memberikan nilai optimum sebagai berikut ini.

- a) Untuk bentang tengah 130–150 meter, direkomendasikan panjang panel 20 meter.
- b) Untuk bentang tengah yang lebih kecil, panjang panel antara 15–17 meter.
- c) Untuk bentang tengah yang lebih dari 170 meter panjang panel seharusnya 30 meter.

Panel tengah berbeda dengan panel lainnya karena tidak tertekan oleh komponen horizontal gaya kabel dan dimungkinkan menggunakan panjang panel tengah yang lebih besar. Pengalaman menunjukkan bahwa panjang panel tengah sekitar 20-30 % lebih panjang dari panel lainnya. Pada perencanaan ini akan digunakan tatanan kabel transversal sistem dua bidang dan tatanan kabel longitudinal tipe *harp*.

#### **2.3.4 Abutment**

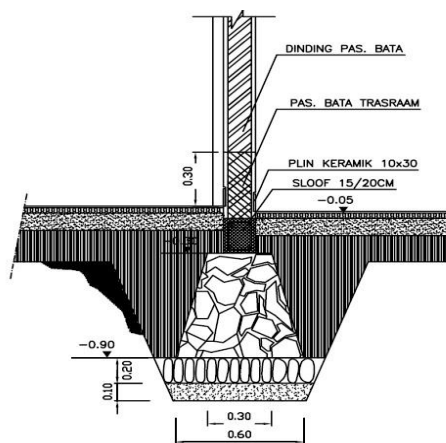
*Abutment* mempunyai dua fungsi pokok yaitu mendukung ujung-ujung jembatan dan menyediakan dukungan lateral paling tidak bagi tanah atau batu sekitar jembatan (<http://www.ilmutekniksipil.com>).

#### **2.3.5 Fondasi**

Fondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lainnya di atasnya dan menyalurkan ke tanah di bawahnya. Fondasi harus diperhitungkan untuk dapat menndukung kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban-beban bangunan (beban isi bangunan), gaya-gaya luas seperti tekanan angin, dan gempa bumi. Selain itu, tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang diijinkan. Hal-hal tersebut dapat berlaku secara baik bila kestabilan fondasi terhadap efek guling, geser, penurunan, dan daya dukung tanah terpenuhi.



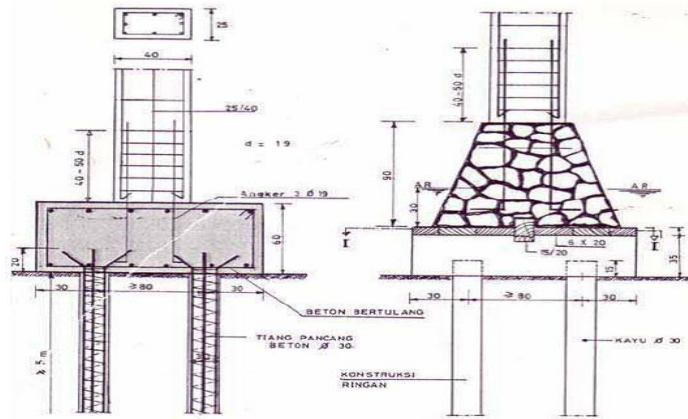
Secara umum, terdapat dua macam fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal digunakan bila bangunan yang berada di atasnya tidak terlalu besar, seperti rumah sederhana. Fondasi ini juga bisa dipakai untuk bangunan yang letak tanah kerasnya dangkal/tidak dalam. Yang termasuk dalam fondasi dangkal ialah fondasi batu kali setempat, fondasi lajur batu kali, fondasi tapak/pelat setempat (beton), dan fondasi lajur beton (<http://noverina.wordpress.com>). Gambar 2.13 di bawah ini adalah contoh fondasi dangkal.



Gambar 2.13 Fondasi batu kali

Sumber: <http://noverina.wordpress.com>

Fondasi dalam ialah fondasi yang digunakan pada bangunan yang letak tanah kerasnya cukup dalam. Fondasi ini juga dipakai pada bangunan dengan bentangan yang cukup lebar (jarak antar kolom 6 meter) dan bangunan bertingkat. Fondasi tiang pancang (beton, besi, pipa baja), fondasi sumuran, dan fondasi *bored pile* adalah jenis fondasi yang termasuk fondasi dalam (<http://noverina.wordpress.com>). Gambar 2.14 di bawah ini adalah contoh fondasi dalam.

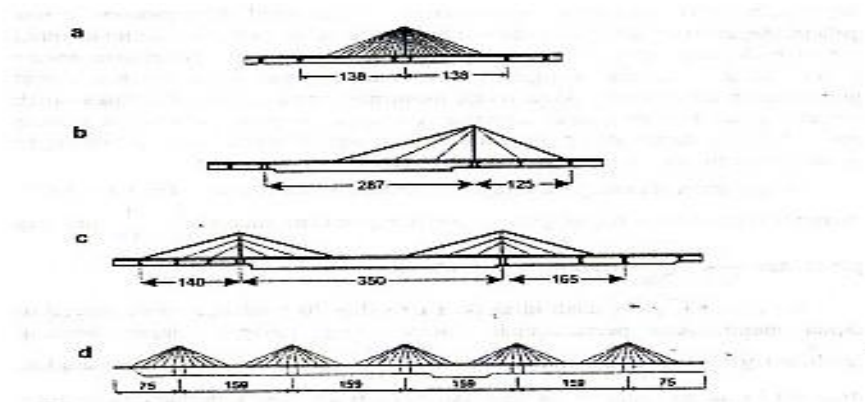


Gambar 2.14 Fondasi tiang pancang

Sumber: <http://rasta-skanda2010.blogspot.com>

### 2.3.6 Susunan Bentang

Susunan bentang sangat mempengaruhi struktur jembatan dan bentuk arsitekturnya. Susunan bentang terdiri atas empat jenis yaitu dua bentang asimetri, dua bentang simetri, tiga bentang, dan multi bentang. Untuk jenis dua bentang asimetri, bentang utama biasanya sekitar 60-70 % dari total bentang jembatan. Untuk jenis tiga bentang biasanya bentang utama  $\pm 50\%$  dari panjang total (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Gambar 2.15 di bawah ini adalah contoh susunan bentang pada jembatan *cabl stayed*.



Gambar 2.15 Susunan bentang pada jembatan *cabl stayed*, (a) dua bentang simetri, (b) dua bentang asimetri, (c) tiga bentang, (d) multi bentang

Sumber: Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Bentang asimetri dapat terjadi karena berbagai kondisi lokal yang berpengaruh seperti tidak memungkinkan menara pada tengah bentang sehingga panjang panjang salah satu bentang harus dikurangi. Pengurangan panjang bentang dapat dilakukan secara bersamaan dengan pengurangan jumlah kabel dan gelagar sehingga menjadi lebih kaku. Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007) menyatakan bahwa kekurangan bentang asimetri adalah pada ujung bentang yang lebih pendek akan terjadi reaksi negatif yang besar, karena itu dibutuhkan susunan kabel yang khusus agar kondisi tersebut dapat diminimalkan.

Multi bentang terdiri atas beberapa susunan jembatan dua bentang simetri. Bentang ini terjadi jika panjang bentang total jembatan sangat besar dan tidak memungkinkan lagi untuk membuat jembatan dengan jumlah bentang yang lebih sedikit. Selain itu bisa juga dikarenakan alasan arsitektural. Cara memperoleh stabilitas longitudinal yang memadai akibat beban asimetri yang ditimbulkan lalu lintas merupakan masalah utama dari bentuk ini. Secara umum gelagar tidak dapat memberikan stabilitas yang memadai sehingga digunakan menara yang kaku (Supriyadi dan Muntohar, 2007).