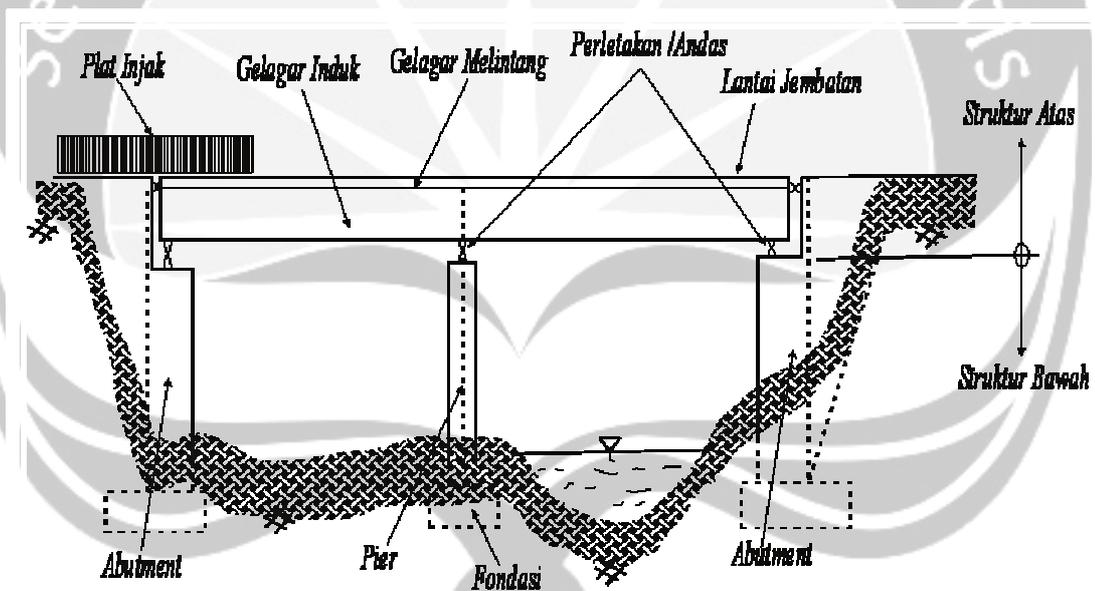


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Umum

Menurut Supriyadi (1997) jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai/saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum bentuk dan bagian-bagian suatu struktur jembatan dapat dibagi dalam 4 bagian utama, yaitu: struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap dan pengamanan jembatan, serta trotoar.



Gambar 2.1. Komponen-Komponen Jembatan

#### 2.2. Komponen Jembatan

Menurut Supriyadi (1997) bagian pokok jembatan dapat dibagi dalam 2 (dua) bagian utama yaitu bagian struktur atas dan struktur bawah. Untuk setiap bagian jembatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.

## 1. struktur atas

struktur atas jembatan adalah bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban lantai jembatan ke perletakan arah horisontal. Lantai jembatan adalah bagian dari suatu jembatan yang langsung menerima beban lalu lintas kendaraan, pejalan kaki dan beban yang membebaninya secara langsung. Secara umum bangunan atas pada jembatan terdiri dari yaitu :

### a. gelagar induk

Komponen ini terletak pada jembatan yang letaknya memanjang arah jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai. Komponen ini merupakan suatu bagian struktur yang menahan beban langsung dari pelat lantai kendaraan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Gelagar Induk

### b. gelagar melintang atau diafragma

Komponen ini terletak pada jembatan yang letaknya melintang arah jembatan yang mengikat balok-balok gelagar induk. Komponen ini juga mengikat beberapa balok gelagar induk agar menjadi suatu kesatuan

supaya tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Gelagar Melintang (*Diafragma*)

c. lantai jembatan

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan langsung beban lalu lintas yang melewati jembatan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Komponen ini menahan suatu beban yang langsung dan ditransferkan secara merata keseluruh lantai kendaraan.



Gambar 2.4. Lantai Jembatan

d. perletakan atau andas

Terletak menumpu pada *abutment* dan pilar yang berfungsi menyalurkan semua beban langsung jembatan ke *abutment* dan diteruskan ke bagian fondasi.



Gambar 2.5. Perletakan (*andas*)

e. plat injak

Plat injak berfungsi menghubungkan jalan dan jembatan sehingga tidak terjadi perbedaan tinggi keduanya, juga menutup bagian sambungan agar tidak terjadi keausan antara jalan dan jembatan pada pelat lantai jembatan.

2. struktur bawah

Struktur bawah suatu jembatan adalah merupakan suatu pengelompokan bagian-bagian jembatan yang menyangga jenis-jenis beban yang sama dan memberikan jenis reaksi yang sama, atau juga dapat disebut struktur yang langsung berdiri di atas dasar tanah.

a. fondasi

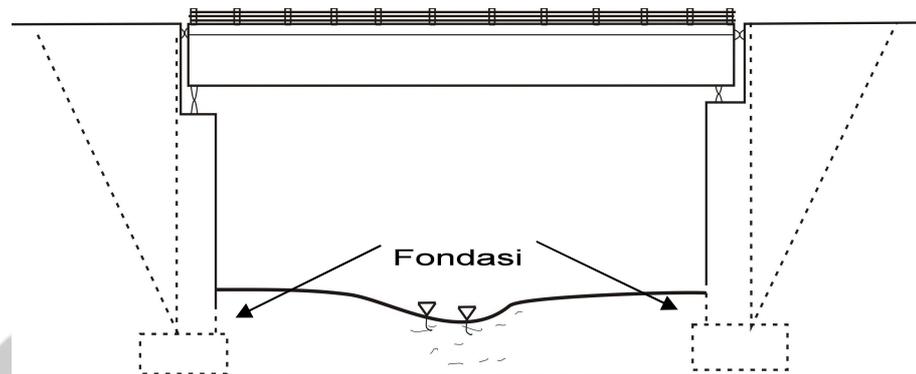
Fondasi merupakan perantara dalam penerimaan beban yang bekerja pada bangunan ke tanah dasar dibawahnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Maka bentuk bangunan fondasi sangat tergantung dari tanah dasar dibawahnya atau tergantung dari jenis tanah bawah dasar fondasi, yang menentukan besarnya kuat dukung tanah dan penurunan yang terjadi. Berikut beberapa jenis fondasi yang sering digunakan yaitu :

1) fondasi dangkal

Fondasi dangkal digunakan bila lapisan tanah dibawah fondasi yang telah diperhitungkan dan diperkirakan mampu memikul beban bangunan diatasnya. Fondasi dangkal mempunyai kedalaman berkisar 0-12 m, tetapi dalam pemilihan jenis fondasi pun berbeda-beda, tergantung dari struktur tanah yang cocok untuk fondasi yang telah direncanakan, dan biasanya menggunakan jenis fondasi telapak atau sumuran (*caisson*) serta

2) fondasi dalam

Fondasi yang mempunyai kedalaman berkisar  $>12$  m dan biasanya berupa tiang pracetak, tiang kayu, tiang beton yang dicor ditempat dengan pipa *cassing* baja yang ditekan dan dipuntir kedalam tanah atau dengan pengeboran tanah. Pada umumnya digunakan jenis fondasi tiang pancang.



Gambar 2.6. Fondasi

b. *abutment*

*Abutment* terletak pada ujung jembatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Maka *abutment* ini juga berfungsi sebagai penahan tanah dan menahan bagian ujung dari balok gelagar induk. Umumnya *abutment* dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berfungsi untuk menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan dari tekanan lateral (menahan tanah ke samping).

Gambar 2.7. *Abutment*

c. pilar

Berbeda dengan *abutment* yang jumlahnya ada 2 (dua) dalam satu jembatan. Bentuk pilar suatu jembatan harus mempertimbangkan pola pergerakan aliran sungai, sehingga dalam perencanaanya selain pertimbangan dari segi kekuatan juga memperhitungkan masalah keamanannya. Dalam segi jumlah pun bermacam-macam tergantung dari jarak bentangan yang tersedia, keadaan sungai dan keadaan tanah.



Gambar 2.8. Pilar

3. bangunan pelengkap dan pengamanan jembatan

Bangunan pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang merupakan pelengkap dari konstruksi jembatan yang fungsinya untuk pengamanan terhadap struktur jembatan secara keseluruhan dan keamanan terhadap pemakai jalan. Macam-macam bangunan pelengkap :

a. saluran drainase

Terletak di kanan-kiri *abutment* dan di sisi kanan-kiri perkerasan jembatan. Saluran drainase berfungsi untuk saluran pembuangan air hujan pada jembatan.



Gambar 2.9. Saluran Drainase

b. jalan pendekat

Jalan pendekat/oprit jembatan adalah jalan yang berfungsi sebagai jalan masuk bagi kendaraan yang akan lewat jembatan agar terasa nyaman. terletak di kedua ujung jembatan,

c. talud

Talud mempunyai fungsi utama sebagai pelindung *abutment* dari aliran air sehingga sering disebut talud pelindung terletak sejajar dengan arah arus sungai,

d. *guide post*/patok penuntun

Berfungsi sebagai penunjuk jalan bagi kendaraan yang akan melewati jembatan, biasanya diletakkan sepanjang panjang oprit jembatan, dan

e. lampu penerangan

Selain berfungsi untuk penerangan di daerah jembatan pada malam hari juga berfungsi untuk estetika.

#### 4. trotoar

Trotoar berfungsi untuk melayani pejalan kaki sehingga memberi rasa aman baik bagi pejalan kaki maupun pengguna jalan yang lain.



Gambar 2.10. Trotoar

### 2.3. Klasifikasi Jembatan

Menurut Siswanto (1999), jembatan dapat diklasifikasikan menjadi bermacam-macam jenis/tipe menurut fungsi, keberadaan, material yang dipakai, jenis lantai kendaraan dan lain-lain seperti berikut :

1. Klasifikasi jembatan menurut keberadaannya (tetap/dapat digerakkan)
  - 1) jembatan tetap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut, dapat terbuat dari :
    - a jembatan kayu,
    - b jembatan baja,
    - c jembatan beton bertulang balok T,
    - d jembatan pelat beton,
    - e jembatan beton prategang,
    - f jembatan batu,
    - g jembatan komposit



a. Jembatan Kayu



b. Jembatan Baja



c. Jembatan Beton Bertulang Balok T



d. Jembatan Pelat Beton



e. Jembatan Beton Prategang



f. Jembatan Batu



g. Jembatan Komposit

Gambar 2.11. Jembatan Tetap

2) jembatan yang dapat digerakkan (umumnya dari baja) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut, dibagi menjadi :

- a jembatan yang dapat berputar diatas poros mendatar, seperti :
  - 1 jembatan angkat
  - 2 jembatan baskul
  - 3 jembatan lipat *strauss*.
- b jembatan yang dapat berputar diatas poros mendatar dan yang dapat berpindah sejajar mendatar,
- c jembatan yang dapat berputar diatas poros tegak atau jembatan putar,
- d jembatan yang dapat bergeser kearah tegak lurus atau mendatar :
  - 1 jembatan angkat,
  - 2 jembatan beroda,
  - 3 jembatan goyah.



1. Jembatan Angkat



2. Jembatan Beroda



3. Jembatan Goyah

Gambar 2.12. Jembatan Yang Dapat Digerakkan

## 2. Klasifikasi jembatan menurut fungsinya

Klasifikasi jembatan menurut fungsinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut :

1. jembatan jalan raya,
2. jembatan jalan rel,
3. jembatan untuk talang air/aquaduk, dan
4. jembatan untuk menyebrangkan pipa-pipa (air, minyak, gas).



1. Jembatan Jalan Raya



2. Jembatan Jalan Rel



3. Jembatan Untuk Talang Air  
(Aquaduk)



4. Jembatan Untuk Menyebrangkan  
Pipa-Pipa (Air, Minyak, Gas)

Gambar 2.13. Jembatan Menurut Fungsinya

3. Klasifikasi jembatan menurut material yang dipakai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 berikut :

1. jembatan kayu,
2. jembatan baja,
3. jembatan beton bertulang (konvensional, prategang),
4. jembatan bambu,
5. jembatan pasangan batu kali/bata,
6. jembatan komposit.



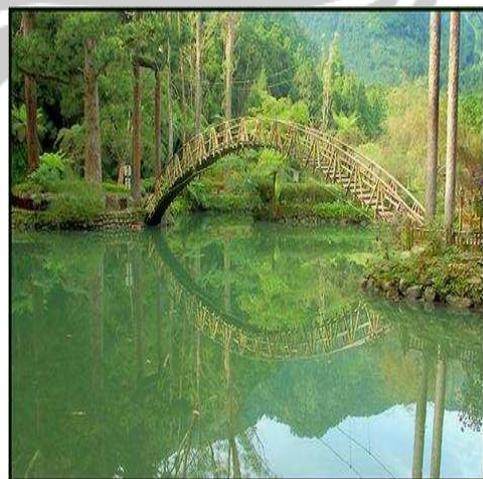
1. Jembatan Kayu



2. Jembatan Baja



3. Jembatan Beton Bertulang  
(Konvensional, Prategang)



4. Jembatan Bambu



5. Jembatan Pasangan Batu Kali/Bata

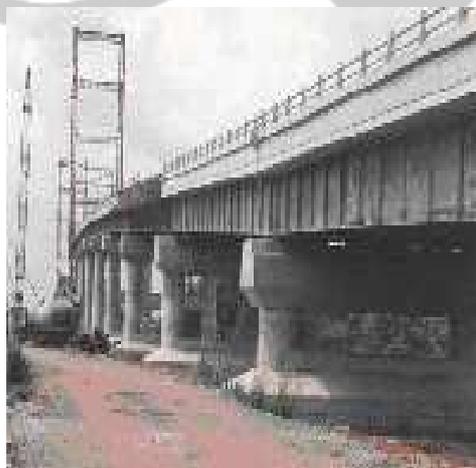


6. Jembatan Komposit

Gambar 2.14. Jembatan menurut material yang dipakai

4. Klasifikasi jembatan berdasarkan bentuk struktur atasnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15 berikut :

- 1) jembatan balok/gelagar,
- 2) jembatan pelat,
- 3) jembatan pelengkung/busur (*arch bridge*),
- 4) jembatan rangka,
- 5) jembatan gantung (*suspension bridge*),
- 6) jembatan *cable stayed*.



1. jembatan Balok/Gelagar



2. Jembatan Pelat



3. Jembatan Pelengkung/Busur  
(*Arch Bridge*)



4. Jembatan Rangka



5. Jembatan Gantung  
(*Suspension Bridge*)



6. Jembatan *Cable Stayed*

Gambar 2.15. Jembatan Berdasarkan Bentuk Struktur Atasnya

5. Klasifikasi jembatan berdasarkan lamanya waktu penggunaan
  1. jembatan sementara/darurat, merupakan jembatan yang penggunaannya hanya bersifat sementara, sampai terselesaikannya pembangunan jembatan permanen,
  2. jembatan semi permanen yaitu jembatan sementara yang dapat ditingkatkan menjadi jembatan permanen, misalnya dengan cara

mengganti lantai jembatan dengan bahan/material yang lebih baik/awet, sehingga kapasitas serta umur jembatan menjadi bertambah baik,

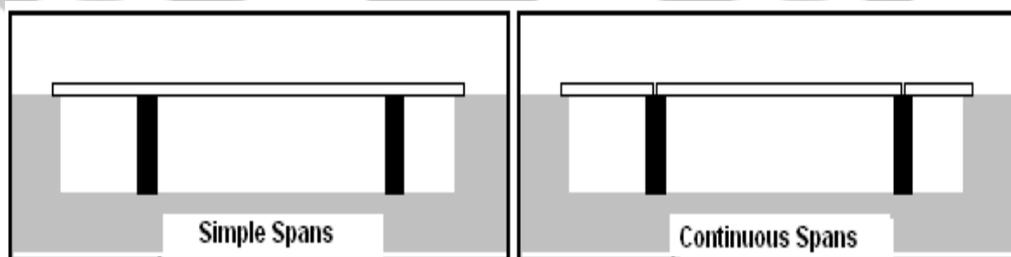
3. jembatan permanen, merupakan jembatan yang penggunaannya bersifat permanen serta direncanakan mempunyai umur pelayanan tertentu (misal dengan umur rencana 50 tahun)

### 2.3.1. Bentuk-bentuk struktur jembatan

Struktur jembatan mempunyai berbagai macam tipe, baik dilihat dari bahan strukturnya maupun dari bentuk strukturnya. Masing-masing tipe struktur jembatan cocok digunakan untuk kondisi yang berbeda. Menurut Satyarno (2003), sesuai dengan perkembangan, bentuk jembatan berubah dari yang sederhana menjadi yang sangat kompleks. Secara garis besar terdapat sembilan macam perencanaan jenis jembatan yang dapat digunakan, yaitu:

#### 1. Jembatan balok (*beam bridges*)

Jembatan balok adalah jenis jembatan yang paling sederhana yang dapat berupa balok dengan perletakan sederhana (*simple spans*) maupun dengan perletakan menerus (*continous spans*).



Gambar 2.16. Jembatan Balok Tipe Sederhana Dan Menerus

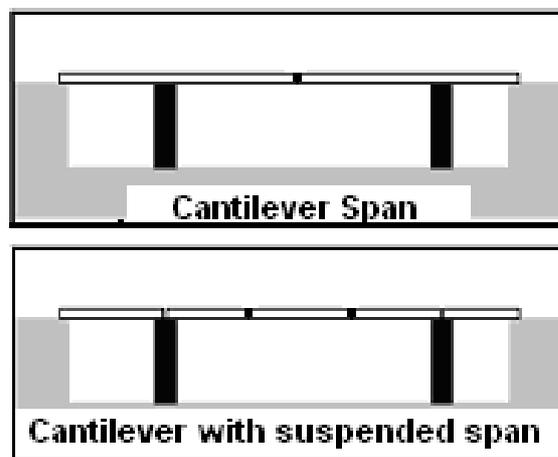
Jembatan balok terdiri dari struktur berupa balok yang didukung pada kedua ujungnya, baik langsung pada tanah/batuan atau pada struktur vertikal yang disebut pilar atau *pier*. Jembatan balok tipe *simple spans* biasa digunakan

untuk jembatan dengan bentang antara 15 meter sampai 30 meter dimana untuk bentang yang kecil sekitar 15 meter menggunakan baja (*rolled-steel*) atau beton bertulang dan bentang yang berkisar sekitar 30 meter menggunakan beton prategang.

## 2. Jembatan kantilever (*cantilever bridges*)

Jembatan kantilever adalah merupakan pengembangan jembatan balok. Tipe jembatan kantilever ini ada dua macam yaitu tipe *cantilever* dan tipe *cantilever with suspended span* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.17.

Pada jembatan kantilever, sebuah pilar atau tower dibuat dimasing-masing sisi bagian yang akan disebrangi dan jembatan dibangun menyamping berupa kantilever dari masing-masing pilar atau tower. Pilar atau tower ini mendukung seluruh beban pada lengan kantilever.



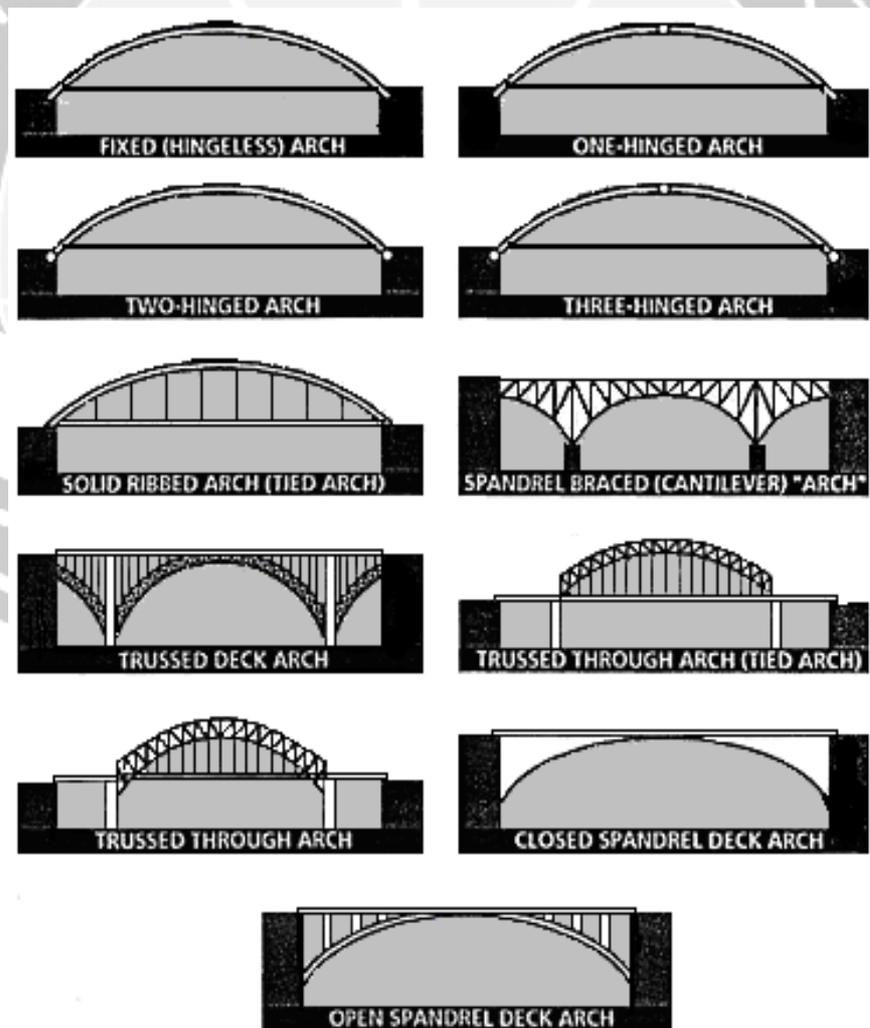
Gambar 2.17. Jembatan Kantilever Tipe *Cantilever* Dan *Cantilever With Span*

Selama pembuatan jembatan kantilever sudah mendukung sendiri beban-beban yang bekerja. Jembatan kantilever biasanya dipilih apabila situasi atau keadaan tidak memungkinkan penggunaan *scaffolding* atau pendukung-pendukung sementara yang lain karena sulitnya kondisi di lapangan. Jembatan

kantilever dapat digunakan untuk jembatan dengan bentang antara 400 m sampai 500 m. Umumnya konstruksi jembatan kantilever berupa *box girder* dengan bahan beton presstress pracetak.

### 3. Jembatan lengkung (*arch bridges*)

Jembatan lengkung adalah suatu tipe jembatan yang menggunakan prinsip kestabilan dimana gaya-gaya yang bekerja di atas jembatan di transformasikan ke bagian akhir lengkung atau *abutment*. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.18, jembatan lengkung dapat dibagi menjadi 11 macam yaitu :



Gambar 2.18. Tipe-Tipe Jembatan Lengkung

- 1) *fixed arch*,
- 2) *one-hinged arch*,
- 3) *two-hinged arch*,
- 4) *three-hinged arch*,
- 5) *solid ribbed arch (tied arch)*,
- 6) *spandrel braced (cantilever) arch*,
- 7) *trussed deck arch*,
- 8) *trussed through arch (tied arc)*,
- 9) *trussed through arch*,
- 10) *closed spandrel deck arch*,
- 11) *open spandrel deck arch*.

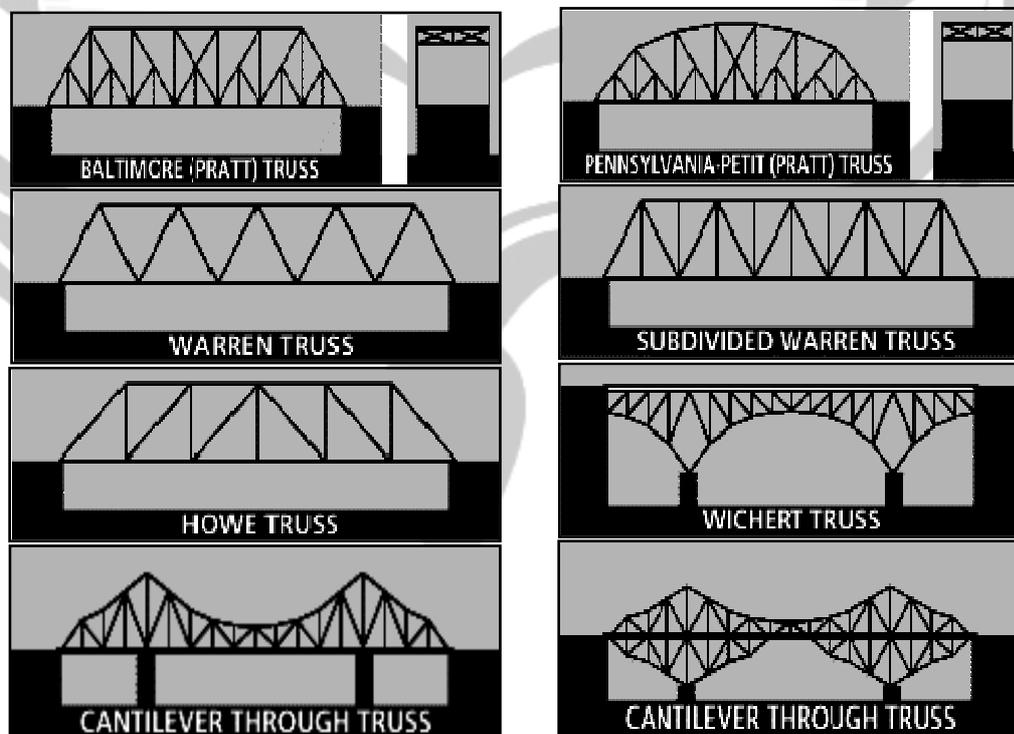
Jembatan lengkung dapat dibuat dari bahan batu, bata, kayu, besi cor, baja maupun beton bertulang dan dapat digunakan untuk bentang yang kecil maupun bentang yang besar. Jembatan lengkung tipe *closed spandrel deck arch* biasa digunakan untuk bentang hanya sekitar 0.5 m sampai 2 m dan biasa disebut dengan gorong-gorong. Untuk bentang besar jembatan lengkung dapat digunakan untuk bentang sampai 500 m.

#### 4. Jembatan rangka (*truss bridges*)

Jembatan rangka dibuat dari struktur rangka yang biasanya terbuat dari bahan baja dan dibuat dengan menyambung beberapa batang dengan las atau baut yang membentuk pola-pola segitiga. Jembatan rangka biasanya digunakan untuk bentang 20 m sampai 375 m. Ada banyak tipe jembatan rangka yang

dapat digunakan diantaranya sebagai berikut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19 berikut :

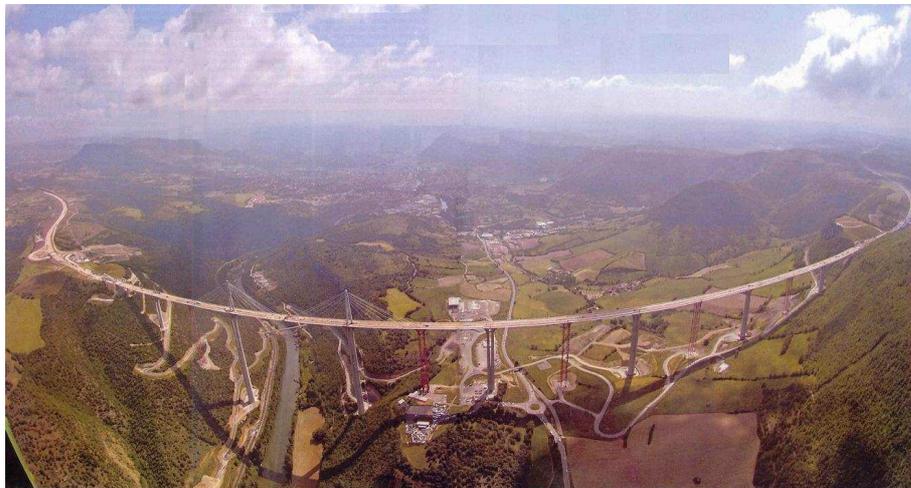
- 1) *pratt truss*,
- 2) *parker pratt truss*,
- 3) *baltimore pratt truss*,
- 4) *pennsylvania-petit pratt truss*,
- 5) *warren truss*,
- 6) *subdivided warren truss*,
- 7) *howe truss*,
- 8) *whicert truss*,
- 9) *cantilever through top truss*,
- 10) *cantilever through top and bottom truss*.



Gambar 2.19. Tipe-Tipe Jembatan Rangka

#### 5. Jembatan gantung (*suspension bridges*)

Jembatan gantung terdiri dari dua kabel besar atau kabel utama yang menggantung dari dua pilar atau tiang utama dimana ujung-ujung kabel tersebut diangkurkan pada fondasi yang biasanya terbuat dari beton. Dek jembatan digantungkan pada kabel utama dengan menggunakan kabel-kabel yang lebih kecil ukurannya sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pilar atau tiang dapat terbuat dari beton atau rangka baja. Struktur dek dapat terbuat dari beton atau rangka baja. Kabel utama mendukung beban struktur jembatan dan mentransfer beban tersebut ke pilar utama dan ke angkur. Jembatan gantung merupakan jenis jembatan yang digunakan untuk betang-bentang besar yaitu antara 500 m sampai 2000 m atau 2 km.



Gambar 2.20. Jembatan Gantung

#### 6. Jembatan kabel (*cable stayed bridges*)

Jembatan kabel merupakan suatu pengembangan dari jembatan gantung dimana terdapat juga dua pilar atau tower. Akan tetapi pada jembatan kabel dek jembatan langsung di hubungkan ke tower dengan menggunakan kabel-kabel yang membentuk formasi diagonal sebagaimana dapat dilihat pada

Gambar 2.21. Kalau pada jembatan gantung struktur dek dapat terbuat dari rangka baja maupun beton, pada jembatan kabel umumnya deknya terbuat dari beton.



Gambar 2.21. Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridges*)

Jembatan kabel ini juga digunakan untuk bentang-bentang besar tetapi tidak sebesar bentang pada jembatan gantung. Besar bentang maksimum untuk jembatan kabel sekitar 500 m sampai 900 m.

#### 7. Jembatan bergerak (*movable bridges*)

Jembatan bergerak biasanya dibuat pada sungai dimana kapal besar yang lewat memerlukan ketinggian yang cukup tetapi pembuatan jembatan dengan pilar sangat tinggi dianggap tidak ekonomis. Ada tiga macam tipe jembatan bergerak yaitu:

- 1) jembatan terbuka (*bascule bridges*),
- 2) jembatan terangkat vertikal (*vertical lift bridges*),
- 3) jembatan berputar (*swing bridges*).

Jembatan terbuka atau *bascule bridges* biasanya digunakan untuk bentang yang tidak terlalu panjang dengan bentang maksimum 100 m. Jembatan

terangkat vertikal atau *vertical lift bridges* biasanya digunakan untuk bentang yang lebih panjang yaitu sekitar 175 m, tetapi jarak bersih yang didapat tergantung dari seberapa tinggi jembatan dapat dinaikan. Pada umumnya ketinggian maksimum untuk mendapatkan jarak bersih adalah sekitar 40 m. Jembatan berputar mempunyai keuntungan karena kapal yang akan lewat tidak dibatasi ketinggiannya. Jembatan berputar dapat digunakan dengan bentang sampai dengan 160 m. Contoh jembatan bergerak dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Jembatan Bergerak

#### 8. Jembatan terapung (*floating bridges*)

Jembatan terapung dibuat dengan mengikatkan dek jembatan pada ponton-ponton sebagaimana dilihat pada Gambar 2.23. Ponton-ponton ini biasanya jumlahnya banyak sehingga jika salah satu ponton terjadi kebocoran maka tidak begitu mempengaruhi atau membahayakan kestabilan jembatan apung secara keseluruhan. Kemudian ponton yang terjadi kebocoran ini dapat diperbaiki.



Gambar 2.23. Jembatan Terapung

Jembatan terapung pada mulanya banyak digunakan sebagai jembatan sementara oleh militer. Namun kini jembatan terapung banyak digunakan apabila kedalaman air yang akan dibuat jembatan cukup dalam dan kondisi tanah dasar sangat jelek sehingga sangat sulit untuk membuat fondasi jembatan . Saat ini ponton-ponton yang digunakan pada jembatan terapung dapat dibuat dari beton dimana bentang total dapat mencapai sebesar 2 km.

#### 9. Jembatan kombinasi (*combination bridges*)

Jembatan kombinasi adalah jembatan yang menggunakan lebih dari satu jenis jembatan. Hal ini terutama untuk jembatan dengan bentang sangat besar dimana penggunaan s satu jenis jembatan tidak ekonomis.

#### 2.3.2. Pembebanan jembatan

Perencanaan pembebanan jembatan jalan raya didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJR, 1987). Beban-beban yang ada pada struktur jembatan adalah sebagai berikut :

### 1. Beban primer

Beban primer merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban primer meliputi beban mati (berat sendiri jembatan), beban hidup (beban bergerak seperti kendaraan, pejalan kaki), beban kejut dan gaya akibat tekanan tanah.

### 2. Beban sekunder

Beban sekunder merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban sekunder meliputi beban angin, gaya akibat perbedaan suhu, gaya akibat rangkai susut, gaya rem, gaya akibat gempa bumi, gaya gesekan pada tumpuan yang bergerak.

### 3. Beban khusus

Beban khusus merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan. Beban khusus meliputi gaya sentrifugal, gaya tumbuk pada jembatan layang, gaya dan beban selama pelaksanaan, gaya aliran air.

## **2.4. Beton**

Menurut SK SNI T-15-1990-03, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk masa padat.

Berdasarkan berat isinya beton dapat dibedakan menjadi beton normal dan beton ringan.

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2500 \text{ kg/m}^3$  dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. Sedangkan beton ringan merupakan beton yang menggunakan agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah pasta semen. Pasta semen merupakan campuran semen dengan air yang reaksinya merupakan bahan ikat agregat halus dan agregat kasar sehingga setelah mengeras terjadi masa yang kompak atau padat. Dalam keadaan padat beton memiliki kuat tekan yang tinggi, tapi kuat tariknya kecil. Nilai kuat tariknya hanya berkisar  $1/8$  kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar  $1/20$  sesudahnya (Murdock dan Book, 1991). Untuk menghindari keruntuhan pada penggunaannya sebagai struktur, maka untuk meningkatkan kuat tariknya dipasang tulangan baja.

### **2.5. Beton Prategang (*Prestressed Concrete*)**

Beton prategang adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (SNI 03-2847-2002). Pemberian tegangan tekan dalam beton dilakukan dengan cara menarik/menegangkan tulangan bajanya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar.

Cara yang biasa dilakukan untuk penerapan gaya prategang pada komponen struktur beton adalah dengan menggunakan tendon baja. Terdapat 2 macam cara pelaksanaan pemberian prategangan (Imran, 2002).

#### 1. Paska tarik (*Post tensioning*)

Pada prosedur ini baja ditarik setelah beton dicor dan mencapai sebagian besar kekuatannya. Untuk jenis ini tendon dapat bersifat terlekat (*bonded*) dan tidak terlekat (*unbonded*).

#### 2. Pra tarik (*Pre tensioning*)

Pada prosedur ini baja ditarik terlebih dahulu sebelum beton dicor. Pemotongan baja dilakukan setelah beton mengeras.

##### 2.5.1. Baja prategang

Baja yang dipakai untuk prategangan biasanya merupakan baja mutu tinggi dan disebut tendon prategang. Tendon prategang umumnya berupa *strand* (untaian kawat), kawat (*wire*) dan batang baja (*bar*). Jenis-jenis tendon yang ada misalnya *7-wire monostrand tendon*, *multi strand tendon*, *single bar tendon* dan *multi wire tendon*.

Jenis tendon yang sering digunakan adalah jenis *seven wire strand*. Jenis ini dapat digunakan baik pada sistem *pre tension* maupun *post tension*. Nilai kuat tarik ultimitnya ( $f_{pu}$ ) berkisar antara 1720 MPa hingga 1860 MPa. Jenis tendon *seven wire strand* dapat berupa *strand* tegang lepas (*stress relieved strand*) atau *strand* relaksasi rendah (*low relaxation strand*). Berikut ini disajikan jenis-jenis

tendon prategang beserta nilai tipikal untuk  $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$  berdasarkan ASTM A-416.

Tabel 2.1. Jenis-jenis Tendon Prategang dan Karakteristiknya

Tipe Tendon	Derajat $f_{pu}$ (MPa)	Ukuran Batang	Dimensi nominal		Berat (kg/m)
			Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	
<i>Seven wire strand</i>	1860	9	9,53	54,84	0,432
	1860	11	11,13	74,19	0,582
	1860	13	12,70	98,71	0,775
	1860	15	15,24	140	1,109
	1760	16	15,47	148	1,173
<i>Prestressing wire</i>	1720	5	5,00	19,6	0,154
	1620	7	7,00	38,5	0,302
	1760	7	7,00	38,5	0,302
<i>Deformed prestressing bars</i>	1080	15	15,0	177	1,44
	1030	26	26,5	551	4,48
	1030	32	32,0	804	6,53
	1030	36	36,0	1018	8,27

Tabel 2.2. Nilai Tipikal untuk  $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ 

Jenis Tendon	$\frac{f_{py}}{f_{pu}}$
<i>Strand</i> Relaksasi Rendah	0,90
<i>Strand</i> Tegang Lepas	0,85
Batang Prategang Polos	0,85
Batang Prategang Ulir	0,80

### 2.5.2. Sejarah perkembangan beton prategang

Beton adalah suatu bahan yang mempunyai kekuatan yang tinggi terhadap tekan, tetapi sebaliknya mempunyai kekuatan sangat rendah terhadap tarik.

Beton tidak selamanya bekerja secara efektif didalam penampang-penampang struktur beton bertulang, hanya bagian tertekan saja yang efektif bekerja, sedangkan bagian beton yang retak dibagian yang tertarik tidak bekerja efektif dan hanya merupakan beban mati yang tidak bermanfaat. Hal inilah yang menyebabkan tidak dapatnya diciptakan srtuktur-struktur beton bertulang dengan bentang yang panjang secara ekonomis, karena terlalu banyak beban mati yang

tidak efektif. Disamping itu, retak-retak disekitar baja tulangan bisa berbahaya bagi struktur karena merupakan tempat meresapnya air dan udara luar kedalam baja tulangan sehingga terjadi karatan. Putusnya baja tulangan akibat karatan (korosi) sangat fatal akibatnya bagi struktur.

Dengan kekurangan-kekurangan yang dirasakan pada struktur beton bertulang seperti diuraikan diatas, timbullah gagasan untuk menggunakan kombinasi-kombinasi bahan beton secara lain, yaitu dengan memberikan pratekanan pada beton melalui kabel baja (tendon) yang ditarik/ditegangkan atau biasa disebut beton prategang.

Beton prategang pertama kali ditemukan oleh Eugene Freyssinet seorang insinyur Perancis. Ia mengemukakan bahwa untuk mengatasi rangkakan, relaksasi dan slip pada jangkar kawat atau pada kabel maka digunakan beton dan baja yang bermutu tinggi. Disamping itu ia juga telah menciptakan suatu system panjang kawat dan system penarikan yang baik, yang hingga kini masih dipakai dan terkenal dengan system *Freyssinet*.

### **2.5.3. Tujuan pemberian gaya prategang**

Tujuan pemberian gaya prategang adalah timbul tegangan-tegangan awal yang berlawanan dengan tegangan- tegangan yang oleh beban-beban kerja. Dengan demikian konstruksi dapat memikul beban yang lebih besar tanpa merubah mutu betonnya (Sutami, 1971).

### **2.5.4. Keuntungan beton prategang**

Menurut Winarni (1988), struktur beton prategang mempunyai beberapa keuntungan, yaitu :

1. terhindarnya retak terbuka di daerah tarik, jadi lebih tahan terhadap keadaan korosif,
2. kedap air, cocok untuk pipa dan tangki,
3. karena terbentuknya lawan lendut sebelum beban rencana bekerja, maka lendutan akhirnya akan lebih kecil dibandingkan dengan pada beton bertulang,
4. penampang struktur lebih kecil/langsing, sebab seluruh luas penampang dipakai secara efektif,
5. jumlah berat baja prategang jauh lebih kecil dari pada jumlah berat besi beton biasa,
6. ketahanan geser balok dan ketahanan puntirnya bertambah. Maka struktur dengan bentang besar dapat langsing. Tetapi ini menyebabkan *Natural Frequency* dari struktur berkurang, sehingga menjadi dinamis instabil akibat getaran gempa/angin, kecuali bila struktur itu memiliki redaman yang cukup atau kekakuannya ditambah.

Bila ditinjau dari segi ekonomis, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk beton prategang, yaitu :

- a. jumlah aduk beton yang diperlukan lebih sedikit,
- b. jumlah baja yang diperlukan hanya  $\frac{1}{5}$  atau  $\frac{1}{3}$  nya,
- c. tetapi biaya awalnya tidak sebanding dengan pengurangan beratnya. Harga baja dan beton mutu tinggi lebih mahal. Juga bekisting dan penegangan baja perlu tambahan biaya. Perbedaan harga awal ini menjadi kecil apabila

beton prategang yang dibuat adalah beton pracetak dalam jumlah yang besar,

- d. sebaliknya beton prategang hampir-hampir tidak memerlukan pemeliharaan, lebih tahan lama karena tidak adanya retak-retak, berkurangnya beban mati yang diterima Fondasi, dapat mempunyai bentang yang lebih besar, dan tinggi penampang konstruksi berkurang.

Beton Prategang dan beton bertulang tidak dapat dianggap saling bersaing karena keduanya saling melengkapi dalam fungsi dan penerapannya. Sejak beton prategang dibuat di pabrik dan dapat dipakai untuk bentang yang lebih besar, maka beton prategang lebih bersaing terhadap baja dari pada terhadap beton bertulang. Ingat bahwa beton lebih mempunyai keuntungan, seperti tahan kebakaran, sifat isolator yang tinggi, pemeliharaan rendah dan sebagainya.

Ada beberapa keuntungan beton prategang dibandingkan beton bertulang :

- a. karena pada beton prategang dipakai bahan baja dan beton dengan mutu tinggi maka jumlah bahan yang dipakai lebih sedikit. Peningkatan mutu beton dua kali (2x) lipat hanya akan menghemat biaya 30%,
- b. pada beton prategang, seluruh penampang aktif menerima beban, sedangkan pada beton tulang hanya penampang yang tidak retak,
- c. karena kedua hal di atas maka beton prategang lebih ringan, lebih langsing dan secara estetis lebih menarik. Berat yang lebih ringan ini penting pada balok bentang besar dan jembatan dimana beban mati sangat besar pengaruhnya,

- d. karena tidak terjadi retak pada beton prategang, maka baja lebih terlindung terhadap korosi, dan sangat cocok untuk struktur yang berisi zat cair dan reaktor atom,
- e. lendutan efektif akibat beban jangka panjang dapat terkontrol baik pada prategang penuh maupun sebagian,
- f. akibat kemiringan tendon di dekat perletakan, ketahanan terhadap beban lebih baik dan prategangan akan mengurangi tarikan diagonal. Jadi sengkang yang dipakai akan berkurang,
- g. bila pada percobaan awal pada masa initial, struktur dapat bertahan terhadap beban yang paling bahaya, maka struktur juga akan cukup aman pada beban kerja.

#### **2.5.5. Tipe-tipe beton prategang**

Dalam C.E.B (Comite Europeen du Beton) ditentukan 3 kelas beton prategang :

Kelas 1 : seluruh bagian konstruksi dalam tegangan tekan pada beban kerja.

Kelas 2 : konstruksi monolit yang memperkenankan adanya tegangan tarik yang terbatas, tapi tidak boleh terlihat retak pada beban kerja.

Kelas 3 : boleh terjadi retak pada beban kerja, tapi besarnya lendutan dibatasi.

Kelas 2A : adalah subkelas yang merupakan kombinasi dari dua kelas, yaitu kelas 1 pada beban kerja yang terdiri dari beban tetap dan beban hidup, tetapi juga seperti kelas 3 pada beban ekstrim. Karena sifat dari beton prategang, retak rambut akan menutup kembali pada beban kerja yang biasa.