

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Jembatan merupakan suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Jembatan rangka baja adalah struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang-batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Beban dan muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan pada batangbatang baja tersebut, sebagai gaya-gaya tekan dan tarik melalaui titik-titik pertemuan batang (titik buhul). Garis netral tiap-tiap batang yang bertemu pada titik buhul harus saling berpotongan pada satu titik saja untuk menghindari timbulnya momen skunder. (Asiyanto,2008).

Adapun macam macam klarifikasi jembatan menurut Agus Iqbal Manu (1995), yaitu :

1. Klasifikasi menurut kegunaanya:
  - a. Jembatan Jalan Raya
  - b. Jembatan Kereta Api
  - c. Jembatan Jalan Air
  - d. Jembatan Jalan Pipa
  - e. Jembatan Militer
  - f. Jembatan Penyeberangan
2. Klasifikasi menurut jenis material kayu:
  - a. Jembatan Kayu
  - b. Jembatan Rangka Baja

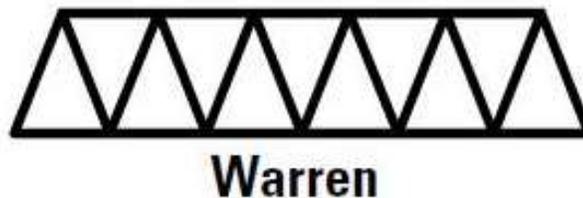
- c. Jembatan Beton Bertulang
  - d. Jembatan Beton Pratekan
3. Klasifikasi menurut letak lantai jembatan:
    - a. Jembatan Lantai Kendaraan Dibawah (LLB)
    - b. Jembatan Lantai Kendaraan Diatas (LLA)
    - c. Jembatan Lantai Kendaraan Ditengah
    - d. Jembatan Lantai Kendaraan Diatas dan Dibawah (Double Deck Bridge)
  4. Klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum:
    - a. Jembatan Gelagar (Girder Bridge)
    - b. Jembatan Pelengkung/Busur (Arch Bridge)
    - c. Jembatan Rangka (Truss Bridge)
    - d. Jembatan Portal (Rigid Frame Bridge)
    - e. Jembatan Gantung (Suspension Bridge)
    - f. Jembatan Cable-Stayed (Cable-Stayed Bridge)
  5. Klasifikasi menurut bidang yang dipotong:
    - a. Jembatan Tegak Lurus
    - b. Jembatan Lurus (Straight Bridge)
    - c. Jembatan Lengkung (Curved Bridge)
  6. Klasifikasi menurut lokasi:
    - a. Jembatan Biasa
    - b. Jembatan Viaduct
    - c. Jembatan Layang (Overbridge/Roadway Crossing)
    - d. Jembatan Kereta Api
  7. Klasifikasi menurut keawetan umur:
    - a. Jembatan Sementara
    - b. Jembatan Permanen
  8. Klasifikasi menurut tingkat kemampuan/derajat gerak:
    - a. Jembatan Atap
    - b. Jembatan dapat Digerakkan

## 2.2 Tipe – Tipe Jembatan Rangka Batang

Tipe jembatan rangka batang ini memiliki jumlah yang banyak, karena banyak para ahli yang mengembangkan ide-ide untuk jembatan rangka batang. Diantaranya sebagai berikut:

### a. Tipe Warren (*Warren Truss*)

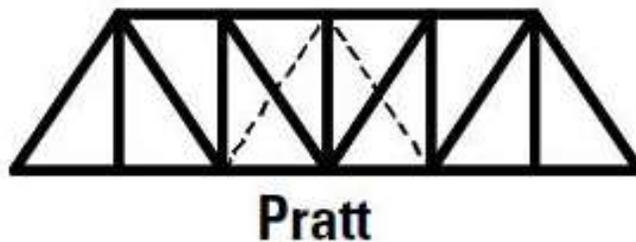
Tipe jembatan ini ditemukan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani pada tahun 1848 di Britania Raya. Jembatan rangka batang tipe warren ini tidak memiliki batang vertikal pada bentuk rangkanya yang membentuk segitiga sama kaki atau segitiga sama sisi. Sebagian batang diagonalnya mengalami gaya tekan (*compression*) dan sebagian lainnya mengalami gaya tegangan (*tension*).



Gambar 2.1 Tipe *Warren Truss*

### b. Tipe Pratt (*Pratt Truss*)

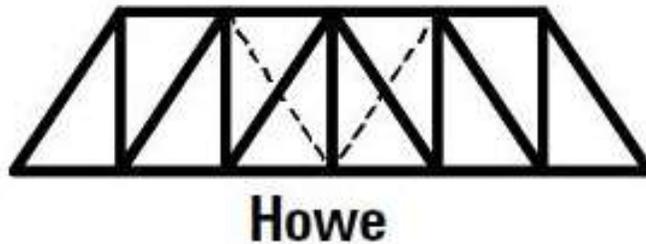
Tipe jembatan rangka batang ini ditemukan oleh Thomas dan Caleb Pratt pada tahun 1844. Jembatan ini memiliki elemen diagonal yang mengarah ke bawah dan bertemu pada titik tengah batang jembatan bagian bawah.



Gambar 2.2 Tipe *Pratt Truss*

c. Tipe Howe (*Howe Truss*)

Tipe jembatan rangka batang ini ditemukan oleh William Howe di Massachusetts pada tahun 1840 di Amerika Serikat. Jembatan ini kebalikan dari tipe Pratt dimana elemen diagonalnya mengarah ke atas dan menerima tekanan sedangkan batang vertikalnya menerima tegangan.



**Gambar 2.3** Tipe *Howe Truss*

### 2.3 Bagian – Bagian Kontruksi Jembatan Rangka Baja

Secara umum konstruksi jembatan rangka baja memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*Super structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban – beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban – beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

#### 2.3.1 Kontruksi Bangunan Atas ( *Super Structure* )

Struktur atas jembatan merupakan bagian jembatan yang menerima beban secara langsung baik dari kendaraan, beban pejalan kaki, dan bahkan beban mati untuk selanjutnya di salurkan ke struktur bawah jembatan. Bagian – bagian yang termasuk dalam struktur atas jembatan rangka baja, yaitu :

### **1. Struktur Rangka Jembatan**

Rangka utama dari jembatan rangka terbuat dari profil baja seperti type WF, sehingga lebih baik dalam menerima beban – beban yang berkerja secara lateral.

### **2. Sandaran**

Merupakan pembatas dari jembatan yang berfungsi untuk membatasi lebar jembatan agar membuat rasa aman bagi pengguna jembatan baik dari kendaraan maupun pejalan kaki yang melintasinya. Pada jembatan rangka baja umumnya sandaran terbuat dari pipa galvanis.

### **3. Trotoar**

Merupakan tempat berjalan bagi pejalan kaki yang melewati jembatan agar tidak mengganggu lalu lintas kendaraan yang melintasi jalan/jembatan. Umumnya trotoar sejajar dengan sumbu jalan dan lebih tinggi dari permukaan perkerasan jalan. Lebar trotoar biasanya berkisar 0,5 – 1,5 meter tergantung dari kelas jembatan yang dibangun dan terletak pada bagian kanan dan kiri permukaan perkerasan jalan.

### **4. Lantai Kendaraan**

Merupakan lintasan utama yang dilalui oleh kendaraan dan berfungsi sebagai penahan beban kendaraan ketika lalu lintas sedang berjalan.

### **5. Gelagar Melintang**

Berfungsi untuk menahan beban mati dan beban hidup yang melewati jembatan dan menyalurkannya ke gelagar induk. Selain itu gelagar melintang juga berfungsi sebagai pengaku konstruksi dari pelipatan pada arah sejajar dengan sumbu jembatan serta berguna untuk menghindari pelipatan yang mungkin terjadi pada gelagar utamanya apabila pada saat jembatan dilalui oleh kendaraan berat.

### **6. Ikatan Angin Atas / Bawah dan Ikatan Rem**

Ikatan angin berfungsi untuk menahan gaya – gaya lateral dan longitudinal yang di sebabkan oleh angin dan rem, baik pada bagian atas maupun bagian bawah jembatan agar jembatan tetap dalam keadaan stabil. Sedangkan ikatan rem

berfungsi untuk menahan terjadinya gaya rem akibat pengereman kendaraan yang melintasi jembatan.

### **7. Landasan / Perletakan**

Berfungsi sebagai penerus beban pada bagian atas struktur jembatan ke bagian bawah struktur Jembatan serta mengatasi perubahan panjang yang diakibatkan oleh perubahan suhu dan untuk memeriksa kemungkinan rotasi pada perletakan yang akan menyertai lendutan dari struktur yang akan dibebani, ada dua macam perletakan yaitu sendi rol dan elastomer.

### **8. Perletakan Elastomer**

Elastomer atau karet bantalan Jembatan merupakan komponen penyangga utama Girder dengan beton penyangga bagian bawah. Elastomer berfungsi untuk menahan tekanan atau load beban pada jembatan sehingga tekanan yang diterima oleh jembatan dapat diminimalisir dengan adanya Karet Bantalan Jembatan ketika ada beban melewati jembatan tersebut seperti kendaraan dan lain-lain.

## **2.3.2 Kontruksi Bangunan Bawah ( Sub Structure )**

Bangunan bawah jembatan merupakan bangunan yang berfungsi sebagai penerima / memikul beban beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian disalurkan ke pondasi untuk diteruskan ke tanah keras. Bagian – bagian struktur bangunan bawah jembatan rangka baja meliputi :

### **1. Abutment**

Abutment atau kepala jembatan merupakan salah satu bagian konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai pendukung bagi bangunan di atasnya dan sebagai penahan tanah timbunan oprit. Konstruksi abutment juga dapat diasumsikan sebagai dinding penahan tanah yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan gaya vertikal dan horizontal bangunan atas ke pondasi.

## 2. Pelat Injak

Pelat injak merupakan bagian dari bangunan bawah yang berfungsi untuk menahan hentakan pertama roda kendaraan ketika memasuki jembatan. Pelat injak juga berfungsi untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan. Dalam pelaksanaan pelat injak haruslah diperhatikan karena jika pemadatan kurang sempurna maka akan mengakibatkan penurutan pelat injak akan patah.

## 3. Pondasi

Merupakan bagian konstruksi bangunan bawah jembatan yang tertanam di bawah tanah. Pondasi berfungsi untuk memikul beban bangunan yang berada di atasnya dan meneruskannya ke lapisan tanah dasar.

Pondasi terbagi menjadi 2 golongan, yaitu :

### 1. Pondasi Dangkal (Langsung)

Digunakan bila lapisan tanah pondasi yang telah diperhitungkan mampu memikul beban-beban di atasnya, terletak pada lokasi yang dangkal dari tanah setempat.

Pondasi dalam dapat dibagi menjadi :

- a. Pondasi Menerus
- b. Pondasi Telapak
- c. Pondasi Setempat

### 2. Pondasi Dalam (Tidak Langsung)

Digunakan apabila lapisan tanah keras yang mampu memikul beban letaknya cukup dalam, sehingga beban-beban harus disalurkan melalui suatu konstruksi penerus yang juga disebut tiang pancang dan pondasi sumuran.

Pondasi dalam terdiri dari :

- a. Pondasi Tiang Pancang
- b. Pondasi Sumuran

#### **4. Oprit**

Merupakan timbunan tanah atau urugan di belakang abutment yang dibuat sepadat mungkin untuk menghindari penurunan. oprit bisa terdiri atas timbunan pilihan dan timbunan biasa dan untuk membuat oprit berdiri kokoh, maka dibuatlah tembok penahan tanah yang berfungsi menjaga kestabilan lereng oprit tersebut. Oprit juga merupakan bagian pelengkap jembatan yang berguna memberikan rasa kenyamanan saat kendaraan akan berpindah dari ruas jalan menuju jembatan.

#### **2.4 Standar Peraturan Perencanaan Jembatan yang Digunakan**

Adapun perencanaan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Departement Pekerjaan Umum antara lain :

- A. SNI 1725 : 2016, Pembebanan Untuk Jembatan.
- B. RSNI T – 02 – 2005 Perencanaan Pembebanan Untuk Jembatan
- C. RSNI T – 03 – 2005, Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan.
- D. RSNI T – 12 – 2004, Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.

#### **2.5 Dasar – Dasar Perencanaan Pembebanan Jembatan**

Seorang perancang jembatan dalam suatu jembatan harus dapat memberikan alternatif sistem struktur jembatan yang akan dipakai, disamping harus mempertimbangkan aspek teknis juga mempertimbangkan aspek biaya pembangunan dan metode pelaksanaan yang dapat dipakai tanpa peralatan khusus yang langka.

##### **2.5.1 Pembebanan Pada Jembatan**

Pembebanan pada jembatan mengacu pada SNI 1725 : 2016 tentang Standar Pembebanan Pada Jembatan yang telah distandardisasi oleh Badan Standardisasi

Nasional. Pembebanan pada jembatan dibagi menjadi aksi dan beban tetap, beban lalu lintas, aksi lingkungan dan aksi lainnya.

#### A. Beban Mati

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. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.1

**Tabel 2.1** - Berat Isi untuk Beban Mati

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	2245
2.	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71	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	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
	$35 < f'c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f'$	$2240 + 2,29 f'$
8.	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800

10.	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11	1125
-----	---------------------------------	----	------

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

### B. 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 2.2

**Tabel 2.2** Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1	1,1	0,9
	Aluminium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

### C. 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. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.3 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

**Tabel 2.3** - Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

#### D. Beban Akibat Tekanan Tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari  $\gamma_s$ ,  $c$  dan  $\phi_f$ .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari  $\gamma_s$  dan nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$ . Nilai-nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$  diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada Tabel 2.2

**Tabel 2.4 - Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah**

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{TA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	(1)	
Catatan <sup>(1)</sup> : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

### 2.5.2 Beban Lalu Lintas

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

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk lebar jembatan bias dilihat pada table 2.5.

**Tabel 2.5** Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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.	

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$ , yaitu seperti berikut :

$$\text{Jika } L < 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 [0,5 + 15 / L] \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$q$  = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan

$L$  = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

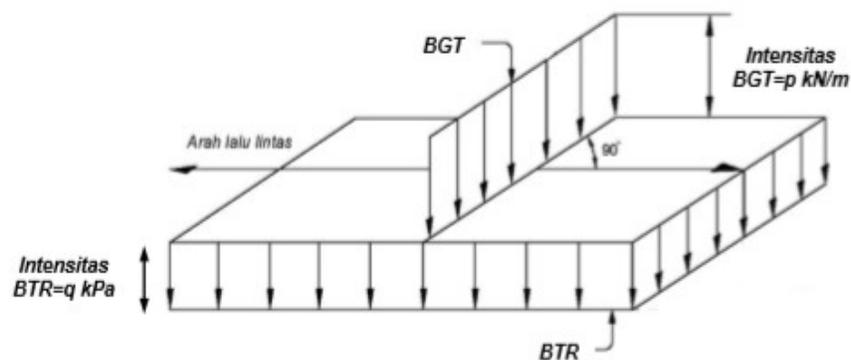
Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6** - Faktor beban untuk beban lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban ( $\gamma_D$ )	
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

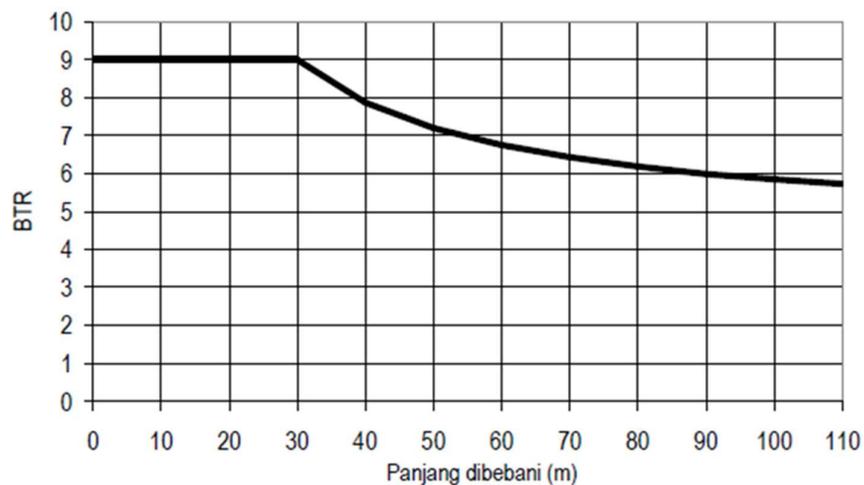
Panjang yang dibebani  $L$  adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Beban Lajur "D"

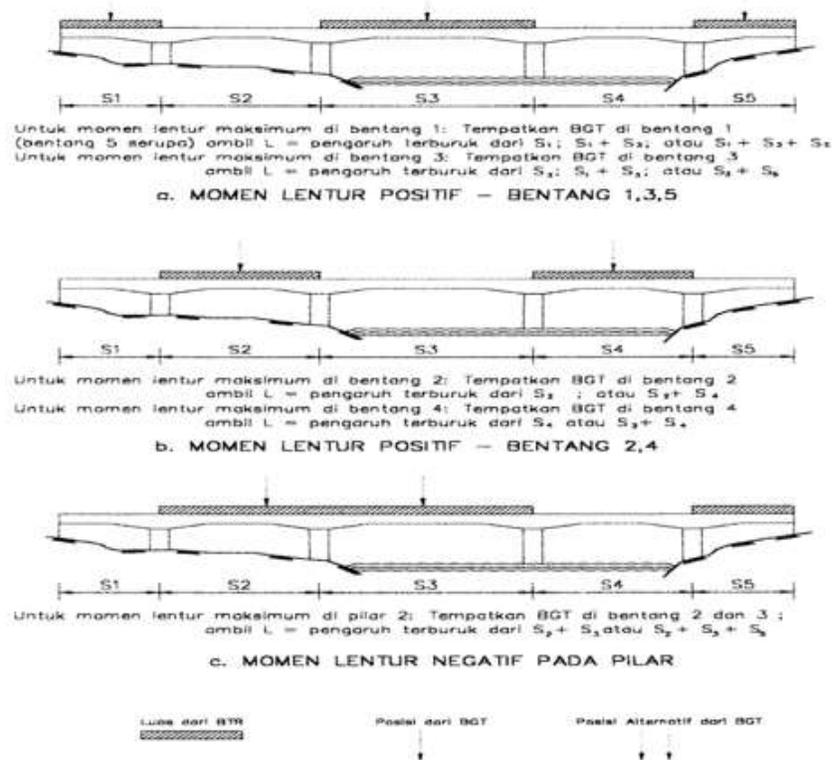
Panjang yang dibebani  $L$  adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Dalam hal ini  $L$  adalah jumlah masing-masing panjang beban yang dipecah.

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, seperti dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Beban "D" BTR Vs panjang yang dibebani

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.5 Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

#### A. Beban Truk “T”

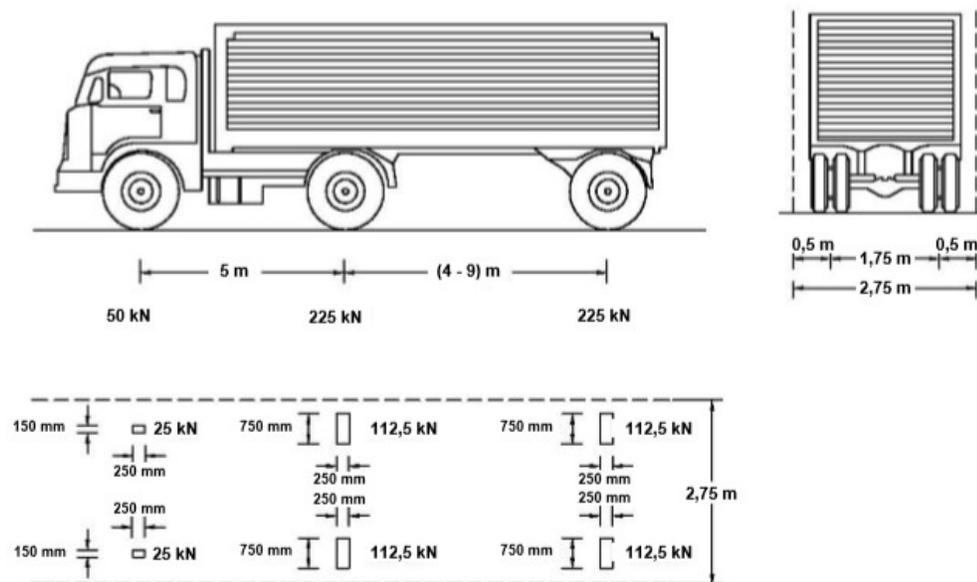
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 13.

**Tabel 2.7** - Faktor beban untuk beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^{S_{TT}}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^{U_{TT}}$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.7 Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

**Gambar 2.7** - Pembebanan truk "T" (500 kN)

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi harga berlaku untuk jembatan darurat atau semi permanen. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan "D" dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran di atas 100%. Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.5 . Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diberikan dengan rumus:

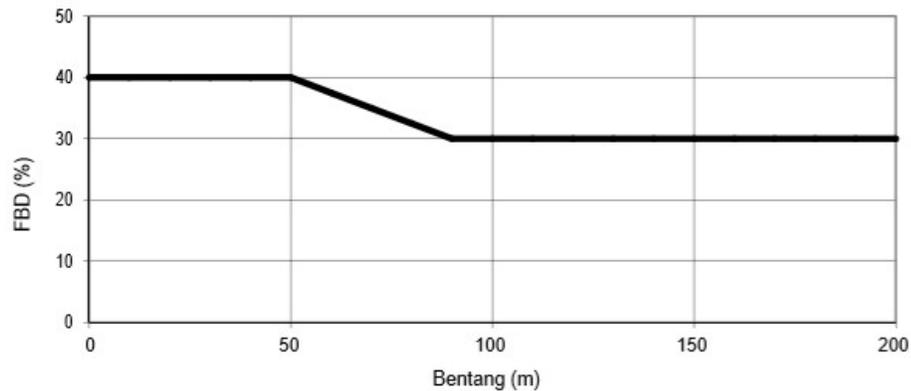
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}} \dots\dots\dots(2.3)$$

**Keterangan :**

$L_{av}$  = Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

$L_{max}$  = Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



**Gambar 2.8** Faktor beban dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur "D"

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:

$$FBD = 33 \times (300 - 0,125 DE) \geq 0\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$DE$  = kedalaman timbunan minimum di atas struktur (mm)

### B. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% berat gandar truk desain atau, 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masingmasing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

### C. Gaya Sentrifugal (TR)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut :

$$C = f \frac{V^2}{gR_l} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

V = kecepatan rencana jalan raya (m/detik).

f = faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik.

g = percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik<sup>2</sup>)

R<sub>l</sub> = jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

### D. Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraanpada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus

diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

#### **E. Aksi Lingkungan**

Pada beban ini terdapat beberapa jenis yang diperhitungkan yaitu dengan menghitung pembebanan akibat pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab – penyebab alamiah lainnya.

Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisa statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan mungkin bisa dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap bahan fondasi yang digunakan. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian akan tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini adalah besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut. Faktor beban akibat penurunan dapat dilihat pada table 2.8.

**Tabel 2.8** - Faktor beban akibat penurunan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{ES}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma^S$ ) <sub>ES</sub>	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^U$ ) <sub>ES</sub>
Permanen	1,0	N/A

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkai dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang terjadi akibat adanya pengekangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.9

**Tabel 2.9** – Temperatur jembatan rata-rata nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

**Tabel 2.10** – Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\alpha$ )	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	$12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$	200.000
Beton: Kuat tekan $<30$ MPa Kuat tekan $>30$ MPa	$10 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$ $11 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c}$ $4700\sqrt{f_c}$

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

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 2.11 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 2.11** - Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar 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

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil

sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (Csm) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

EQ adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

Csm adalah koefisien respons gempa elastis

Rd adalah faktor modifikasi respons

Wt adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respons elastik Csm diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.

**F. Aksi – Aksi Lainnya**

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung menggunakan hanya beban tetap, dan nilai rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Faktor beban akibat gesekan pada perletakan dapat dilihat pada tabel 2.12

**Tabel 2.12 - Faktor beban akibat gesekan pada perletakan**

Jangka waktu	Faktor beban		
	$\gamma_{BF}^S$	$\gamma_{BF}^U$	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0,8

CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat di atas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyeberangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan seperti halnya keamanan bangunan.

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada jembatan. Lendutan ini tidak boleh melampaui apa yang diberikan dalam Gambar 30 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada pejalan kaki.

### 2.5.3 Sifat Mekanis Dan Sambungan Baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.13

**Tabel 2.13** - Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

( Sumber: RSNI-T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan)

Tegangan leleh untuk perencanaan ( $f_y$ ) dan Tegangan putus untuk perencanaan ( $f_u$ ) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 5.3.

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

Modulus elastisitas :  $E = 200.000 \text{ Mpa}$

Modulus geser :  $G = 80.000 \text{ MPa}$

Nisbah poisson :  $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian :  $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Baja yang tidak teridentifikasi boleh digunakan selama memenuhi ketentuan seperti bebas dari cacat permukaan, sifat fisik material dan kemudahannya untuk dilas tidak mengurangi kekuatan dan kemampuan layan strukturnya dan diuji sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Tegangan leleh ( $f_y$ ) untuk perencanaan tidak boleh diambil lebih dari 170 MPa sedangkan tegangan putusnya ( $f_u$ ) tidak boleh diambil lebih dari 300 MPa.

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan.

Sambungan tipe friksi adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

a. Alat Sambung mutu tinggi

Alat sambung mutu tinggi boleh digunakan bila memenuhi ketentuan berikut:

- 1) komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- 2) diameter batang, luas tumpu kepala baut, dan mur atau penggantinya, harus lebih besar dari nilai nominal yang ditetapkan dalam ketentuan yang berlaku. Ukuran lainnya boleh berbeda.
- 3) Persyaratan gaya tarik minimum alat sambung ditentukan pada tabel 2.14 di bawah ini.

**Tabel 2.14** Gaya tarik baut minimum

Diameter nominal baut [mm]	Gaya tarik minimum [Kn]
16	90
20	145
24	210
30	335
36	490

( Sumber: *RSNI-T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan* )

b. Keadaan Kemampuan Layan Batas

Sistem struktur dan komponen struktur harus direncanakan untuk mempunyai kemampuan-layan batas dengan mengendalikan atau membatasi lendutan dan getaran. Kemampuan layan batas ini juga berlaku untuk setiap baut. Di samping itu untuk bangunan baja diperlukan perlindungan terhadap korosi secukupnya.

**Tabel 2.15** - Faktor reduksi ( $\phi$ ) untuk keadaan kekuatan batas.

<b>Kuat rencana untuk</b>	<b>Faktor reduksi</b>
Komponen struktur yang memikul lentur	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:	
• terhadap kuat tarik leleh	0,90
• terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:	
• kuat lentur atau geser	0,90
• kuat tarik	0,90
• kuat tekan	0,85
Sambungan baut	0,75
Sambungan las	
• las tumpul penetrasi penuh	0,90
• las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75
• las pengisi	0,75

(Sumber: RSNi-T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan)

Perencanaan kekuatan pada penampang terhadap semua pembebanan dan gaya dalam, yaitu momen lentur, geser, aksial, dan torsi, harus didasarkan pada kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

#### c. Perencanaan Baut

Perhitungan tahanan nominal suatu baut yang memikul gaya terfaktor,  $R_u$ , harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$R_u$  =beban terfaktor

$R_n$  = kuat nominal baut

## 2.6 Metode Perhitungan Jembatan Rangka Baja

Dalam perhitungan jembatan rangka baja, berikut ini adalah uraian perhitungan jembatan rangka baja, yaitu : Perhitungan plat lantai kendaraan, trotoar, gelagar melintang, ikatan angin, rangka utama, sambungan, perletakan, plat injak, dinding sayap, abutmen dan pondasi.

### 2.6.1 Pelat Lantai Kendaraan

#### 1) Tebal Pelat Lantai

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \dots\dots\dots(2.9)$$

#### 2) Pembebanan

##### a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan.

Dari pembebanan tersebut maka akan diperoleh  $q_{DLult}$  pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

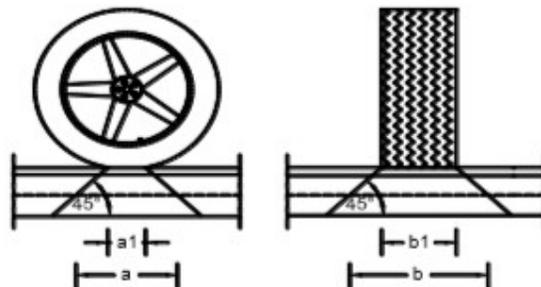
##### b. Beban hidup berasal dari kendaraan bergerak ( muatan T ) :

Beban truck

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T \dots\dots\dots(2.10)$$

Jadi pembebanan truck,

$$q = \frac{T_u}{a \times b} \rightarrow \text{momen dihitung menggunakan tabel bitner.}$$



**Gambar 2.9** Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

## 3) Penulangan

$$A_{smin} = \frac{bd}{f_y} \dots\dots\dots(2.11)$$

(RSNI T – 12 – 2004 )

**2.6.2 Trotoar**

Pada perencanaannya trotoar dianggap sebagai balok menerus.

## 1) Pembebanan

- a. Beban mati, terdiri atas berat finishing trotoar, berat trotoar dan berat air hujan.
- b. Beban hidup, terdiri atas beban pejalan kaki. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh  $W_u$ , Trotoar dianggap balok menerus.

## 2) Penulangan

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 f_y} bd \dots\dots\dots(2.12)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{f_y} bd \dots\dots\dots(2.13)$$

(RSNI T – 12 – 2004 )

**2.6.3 Gelagar Melintang**

Gelagar melintang direncanakan sebagai gelagar komposit memakai baja WF dan dianggap sebagai balok dengan dua tumpuan. Momen yang diperhitungkan adalah pada saat sebelum dan sesudah komposit.

## 1) Pembebanan

- a. Beban mati, terdiri atas sumbangan dari pelat lantai dan beban trotoar.
- b. Beban hidup, terdiri atas beban terbagi rata (BTR), beban garis terpusat (BGT) dan beban hidup trotoar.

## 2) Kontrol kekuatan sebelum komposit

$$M_{total} = M_{DL_{max}} + M_{profil_{max}} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \dots\dots\dots(2.15)$$

Cek apakah  $M_{total} < \phi M_n$ , jika ya maka dimensi gelagar aman.

3) Kontrol kekuatan setelah komposit

$$M_{total} = M_{DL_{max}} + M_{LL_{max}} + M_{profil_{max}} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$M_n = T \cdot Z = A_s \cdot f_y \cdot Z \dots\dots\dots(2.17)$$

Cek apakah  $M_{total} < \phi M_n$ , jika ya maka dimensi gelagar aman.

4) Kuat Geser

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \dots\dots\dots(2.18)$$

(RSNI T – 03 – 2005 )

Cek apakah  $V_{total} < \phi V_n$ , jika ya maka dimensi gelagar aman terhadap geser.

5) Shear Konektor

Karena PNA berada pada pelat lantai kendaraan, maka gaya geser total adalah :

$$T_{max} = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2.19)$$

Kekuatan satu konektor stud

$$Q_u = 0,0005 \times A_{st} \times \sqrt{E_c \cdot F_c'} \dots\dots\dots(2.20)$$

Jumlah konektor stud

$$n = \frac{T_{max}}{Q_u} \dots\dots\dots(2.21)$$

Jarak memanjang antara penghubung tidak boleh lebih besar dari : 600mm, 2 x hf dan 4 x hs.

#### 2.6.4 Ikatan Angin

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$T_{EW} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot [KN] \dots\dots\dots (2.22)$$

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus ditetapkan pada permukaan lantai seperti diberikan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot [KN] \dots\dots\dots (2.23)$$

#### 2.6.5 Rangka Utama

1) Gaya batang

Gaya batang rangka utama dihitung dengan menggunakan metode garis pengaruh.

2) Pembebanan ultimit

a. Beban mati

Beban mati terdiri atas berat pelat lantai, berat aspal, berat trotoar, berat gelagar melintang, berat ikatan angin dan berat rangka utama.

b. Beban hidup

Beban hidup ini terdiri atas beban terbagi rata (BTR), beban garis terpusat (BGT) beban air hujan dan beban hidup trotoar.

3) Dimensi

Pendimensian rangka utama dilakukan berdasarkan dari tabel gaya batang akibat kombinasi beban ultimate.

a. Kontrol terhadap batang Tarik

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\phi P_n = 0,75 \times A_e \times F_u \dots\dots\dots (2.25)$$

Dari persamaan (1) dan (2) diambil yang terkecil. Kemudian di cek apakah

$$Pu_{max} < \phi P_n$$

b. Kontrol terhadap batang tekan

$$\lambda = \frac{Lk}{i_{min}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\lambda c = \frac{1}{\pi} \times \frac{Lk}{i_{min}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Untuk  $\lambda c < 1,5$  maka  $\phi P_n = 0,85 \times (0,66 \cdot \lambda c^2) \times A_g \times F_y$

Kemudian cek apakah  $Pu_{max} < \phi P_n$

4) Pembebanan daya layan

Pembebanan daya layan ini digunakan untuk menghitung lendutan pada rangka batang. Komposisi beban tetap sama seperti pembebanan ultimate, hanya saja faktor bebannya yang berbeda.

5) Lendutan

Setelah didapat kombinasi beban daya layan, maka dihitung lendutan rangka batang.

$$\Delta L = \frac{F.L}{E.A'} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\Delta = u \times \frac{F.L}{E.A'} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

$\Delta L$  = ubahan panjang anggota akibat beban yang bekerja (mm)

F = Gaya yang bekerja (N)

L = panjang bentang (mm)

E = modulus elastisitas baja (200000 MPa) A = Luas profil baja (mm<sup>2</sup>)

u = gaya aksial suatu anggota akibat beban satuan

$\Delta$  = komponen lendutan dalam arah beban satuan

### 2.6.6 Sambungan

Sambungan terdiri atas 2 jenis, yaitu sambungan baut dan sambungan las.

#### 1. Sambungan baut

##### 1) Kekuatan geser baut

$$V_f = 0,62 \cdot f_u \cdot k_r \cdot (n_n \cdot A_c + n_c \cdot A_0) \dots\dots\dots(2.30)$$

Dicek apakah  $V_f^* \leq \phi V_f$

##### 2) Kekuatan tarik baut

$$N_{tf} = A_s \cdot F_u \dots\dots\dots(2.31)$$

Dicek apakah  $N_{tf}^* \leq \phi N_{tf}$

##### 3) Kekuatan geser dan Tarik

$$\left(\frac{V_f}{\phi V_f}\right)^2 \times \left(\frac{N_{tf}}{\phi N_{tf}}\right)^2 \leq 1.0 \dots\dots\dots(2.32)$$

##### 4) Kekuatan tumpu pelat lapis

$$V_b = 3,2 \cdot d_f \cdot t_p \cdot f_{up} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$V_b = a_e \cdot t_p \cdot f_{up} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dari persamaan (1) dan (2) diambil yang terkecil

Dicek apakah  $V_b^* \leq \phi V_b$

##### 5) Jumlah baut

$$n = \frac{D_u}{R_u} \dots\dots\dots(2.35)$$

##### 6) Jarak dari tepi pelat ke pusat baut (S1)

$$S1_{min} = 1,5 d_f \dots\dots\dots(2.36)$$

$$S1_{max} = 12 t_p \dots\dots\dots(2.37)$$

$$S1_{max} < 150 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.38)$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

##### 7) Jarak antar baut (S)

$$S_{min} = 2,5 d_f = 2,5 \times 20 \text{ mm} = 50 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$S_{max} = 25 t_p = 15 \times 10 \text{ mm} = 150 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$S_{max} < 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.41)$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

8) Kontrol terhadap keruntuhan blok untuk batang tarik

Retak geser leleh tarik

$$F_u \leq \phi (A_{nv} \times f_u \times 0,6 + A_{gt} \times f_y) \dots\dots\dots(2.42)$$

Retak tarik leleh geser

$$F_u \leq \phi (A_{nt} \times f_u + A_{gt} \times f_y \times 0,6) \dots\dots\dots(2.43)$$

2. Sambungan Las

Kuat las per satuan panjang

$$V_w = 0,6 \cdot f_{u_w} \cdot t_t \cdot k_r \dots\dots\dots(2.44)$$

$$V_w^* \leq \phi V_w$$

**2.6.7 Perletakan ( Elastomer )**

Landasan yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah landasan elastomer berupa landasan karet yang dilapisi pelat baja. Elastomer ini terdiri dari elastomer vertical yang berfungsi untuk menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal untuk menahan gaya vertical. Sedangkan untuk menahan gaya geser yang mungkin terjadi akibat gempa, angin dan rem dipasang lateral stop dan elastomer sebagai bantalannya.

1) Pembebanan

Pembebanan atau gaya – gaya yang bekerja pada perletakan adalah beban mati bangunan atas, beban hidup bangunan atas, beban hidup garis, gaya rem dan beban angin. Selanjutnya dicek apakah gaya yang bekerja < kapasitas beban per unit elastomer.

2) Penulangan Lateral Stop

Tulangan Avf yang dibutuhkan untuk menahan momen  $V_u = \phi V_n$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.45)$$

Beton di cor monolit  $\rightarrow \mu = 1,4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu} \dots\dots\dots(2.46)$$

Tulangan Af yang dibutuhkan untuk menahan momen Mu adalah :

$$Mu = 0,2 \times Vu + Nuc \times (h - d) \dots \dots \dots (2.47)$$

$$K = \frac{Mu}{\phi b d^2} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}}\right) \dots \dots \dots (2.49)$$

$$Af = \rho b d \dots \dots \dots (2.50)$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan gaya tarik Nuc adalah :

$$Nuc = \phi A n f_y \dots \dots \dots (2.51)$$

$$Nu = 0,2 \cdot Vu \dots \dots \dots (2.52)$$

### 2.6.8 Pelat Injak

Pelat injak berfungsi untuk mencegah deleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang berkerja pada pelat injak (dihitung per meter lebar).

#### 1) Pembebanan

Pembebanan pelat injak, pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat baja, berat lapisan perkerasan dan berat beban kendaraan dari pembebanan akan didapat  $qu_{total}$

#### 2) Penulangan pelat injak

$$Mu_{max} = \frac{1}{8} \cdot qu_{total} \cdot L_2 \dots \dots \dots (2.53)$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 f_y} b d \dots \dots \dots (2.54)$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} b d \dots \dots \dots (2.55)$$

(RSNI T – 12 – 2004)

### 2.6.9 Dinding Sayap

Dinding sayap merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan timbunan atau bahan lepas lainnya dan mencegah terjadinya kelongsoran pada permukaan tanah.

#### 1) Pembebanan dinding sayap

Pembebanan terdiri atas berat lapisan tanah, berat lapisan perkerasan, berat sendiri dinding sayap dan berat beban kendaraan.

#### 2) Penulangan dinding sayap

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.F_y} bd \dots\dots\dots(2.56)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1.4}{F_y} bd \dots\dots\dots(2.57)$$

### 2.6.10 Abutmen

#### 1) Pembebanan abutmen terdiri dari :

- a. Beban Mati (Pm)
- b. Beban Hidup (H + DLA)
- c. Tekanan Tanah (PTA)
- d. Beban Angin (Wn)
- e. Gaya Rem (Rm)
- f. Gesekan pada Perletakan (Gs)
- g. Gaya Gempa (Gm)
- h. Beban Pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut:

- a. Kombinasi I (AT) = Pm + PTA + Gs
- b. Kombinasi II (LL) = (H + DLA) + Rm
- c. Kombinasi III (AG) = Wn
- d. Kombinasi IV (GP) = Gm
- e. Kombinasi V (PL) = pel

Kemudian dikombinasikan lagi seperti berikut ini :

- a. Kombinasi I = AT + LL (100%)
  - b. Kombinasi II = AT + LL (125%)
  - c. Kombinasi III = AT + LL + AG (125%)
  - d. Kombinasi IV = AT + LL + AG (140%)
  - e. Kombinasi V = AT + GP (150%)
  - f. Kombinasi VI = AT + PL (130%)
  - g. Kombinasi VII = AT + LL (150%)
- 2) Kontrol stabilitas pembebanan

Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{MT}{M_{GL}} \dots\dots\dots(2.58)$$

Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{Gs} = \frac{\mu V}{M} \dots\dots\dots(2.59)$$

Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_k = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} > 2,0 \dots\dots\dots(2.60)$$

Bila abutmen tidak aman terhadap stabilitas, maka abutmen tersebut memerlukan pondasi atau bangunan pendukung lainnya, begitu pula sebaliknya.

### 2.6.11 Pondasi

Pondasi diperlukan jika konstruksi abutmen tidak aman terhadap stabilitas. Pemilihan jenis pondasi disesuaikan dengan kondisi dan keadaan tanah, apakah memakai pondasi sumuran atau pondasi tiang pancang.

- 1) Pembebanan

Untuk pembebanan menggunakan kombinasi pembebanan dari perhitungan analisa stabilitas abutmen. Dari persamaan Bowles didapat:

$$q_{all} = 12,5 N \left( \frac{B+0,8}{B} \right)^2 Kd \dots\dots\dots(2.61)$$

Kemudian dicek apakah  $q_{all} > q_{ada}$

## 2) Penulangan utama

Untuk penulangan diambil dari kombinasi penulangan abutmen potongan

$$A_{st} = p_g \times A_g \dots \dots \dots (2.62)$$

$$P_{nb} = (0,85 \cdot f_c' \cdot ab \cdot b + A_s \cdot f_s' - A_s \cdot F_y) \dots \dots \dots (2.63)$$

$$M_{nb} = \left( 0,85 \cdot f_c' \cdot ab \cdot b \left( \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \right) + A_s \cdot f_s' \cdot \frac{1}{2} (d - d') - A_s \cdot F_y \cdot \frac{1}{2} (d - d') \right) \dots \dots \dots (2.64)$$

Dicek apakah  $e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} > e$

Jika ya, maka kehancuran ditentukan oleh gaya tekan

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{B_e}{Dz} + 1} + \frac{A_g \cdot f_c'}{\frac{9,6 D \cdot e}{(0,8 d + 0,67 Dz)^2} + 1,18} \dots \dots \dots (2.65)$$

## 2.7 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah kegiatan merencanakan, mengorganisasikan, mengarahkan dan mengendalikan sumber daya organisasi untuk mencapai tujuan tertentu dalam waktu tertentu dengan sumber daya tertentu.

### 2.7.1 Estimasi Biaya dan Manajemen

Estimasi biaya erat kaitannya dengan analisis biaya, yaitu pekerjaan yang menyangkut pengkajian biaya kegiatan-kegiatan terdahulu yang akan dipakai sebagai bahan untuk menyusun perkiraan biaya. Dengan kata lain, menyusun estimasi biaya berarti melihat masa depan, memperhitungkan dan mengadakan perakiraan atas hal-hal yang akan mungkin terjadi. Sedangkan analisis biaya menitikberatkan pada pengkajian dan pembahasan biaya kegiatan masa lalu yang akan dipakai sebagai masukan.

Dalam usaha mencari pengertian lebih lanjut mengenai estimasi biaya, maka perlu diperhitungkan hubungannya dengan cost engineering. Cost engineering menurut AACE (The American Association of Cost Engineer) adalah area dari

kegiatan engineering dimana pengalaman dan pertimbangan engineering dipakai pada aplikasi prinsip-prinsip teknik dan ilmu pengetahuan di dalam masalah perkiraan biaya dan pengendalian biaya (Soeharto, 1995).

### 2.7.1 Rencana Kerja

Rencana kerja adalah rencana alokasi waktu untuk menyelesaikan masing – masing item pekerjaan proyek yang secara keseluruhan adalah rentang waktu yang ditetapkan untuk melaksanakan sebuah proyek.

Untuk dapat menyusun rencana kerja yang baik dibutuhkan :

- a. Gambar kerja proyek.
- b. Rencana anggaran biaya pelaksanaan proyek.
- c. *Bill of Quantity* (BQ) atau daftar volume pekerjaan.
- d. Data lokasi proyek.
- e. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub kontraktor yang tersedia disekitar lokasi pekerjaan proyek berlangsung.
- f. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub kontraktor yang tersedia didatangkan kelokasi proyek.
- g. Data kebutuhan tenaga kerja dan ketersediaan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan.
- h. Data cuaca atau musim dilokasi proyek.
- i. Data jenis transportasi yang dapat digunakan disekitar lokasi proyek.
- j. Metode kerja yang digunakan untuk melaksanakan masing – masing item pekerjaan.
- k. Data kapasitas produk meliputi peralatan, tenaga kerja, sub kontraktor, material.
- l. Data keuangan proyek harus meliputi arus kas, cara pembayaran pekerjaan, tenggang waktu pembayaran progress dll.

Rencana kerja pada proyek konstruksi dapat dibuat dalam bentuk sebagai berikut :

a. Kurva S

Kurva s adalah kurva yang menggambarkan progres pada setiap waktu dalam pelaksanaan pekerjaan.

b. Bar Chart

Bar chart adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun arah kolom vertikal. Kolom menunjukkan skala waktu. Saat mulai akhir dari kegiatan dapat terlihat secara jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- 2) Urutan pekerjaan, dari data item tersebut diatas disusun urutan pelaksanaan kegiatan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
- 3) Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan pada setiap item pekerjaan.

c. Network Planing

*Network planing* adalah hubungan ketergantungan antara bagian – bagian pekerjaan (variabels) yang digambarkan / divisualisasikan, bila perlu lembur (tambah biaya) pekerjaan mana menunggu selesainya pekerjaan yang lain,

pekerjaan mana tidak perlu tergesa – gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ketempat lain demi definisi.

Macam – macam network planing :

- 1) CPM : *Critical Path Method*
- 2) PDM : *Precedence Diagram Method*
- 3) PERT : *Program Evaluation and Review Technique*
- 4) GERT : *Graphical Evaluation and Review Technique*