

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Jika jembatan itu berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct* (Struyk dan Veen, 1984:1).

Menurut Agus Iqbal Manu (1995:4) jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api, dan lain-lain. Rute transportasi berupa jalan kereta api, jalan trem, pejalan kaki, rentetan kendaraan, dan lain-lain. Jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan kegunaan, jenis material, letak lantai jembatan, dan bentuk strukturnya secara umum.

Berdasarkan kegunaannya, jembatan dapat diklasifikasikan menjadi :

- Jembatan jalan raya
- Jembatan kereta api
- Jembatan jalan air
- Jembatan jalan pipa
- Jembatan militer
- Jembatan penyebrangan, dan lain-lain.

Berdasarkan jenis materialnya, jembatan diklasifikasikan menjadi :

- Jembatan kayu
- Jembatan baja
- Jembatan beton bertulang
- Jembatan beton pratekan
- Jembatan komposit

Berdasarkan letak lantainya, jembatan diklasifikasikan menjadi :

- Jembatan lantai kendaraan di bawah
- Jembatan lantai kendaraan di atas
- Jembatan lantai kendaraan di tengah
- Jembatan lantai kendaraan di atas dan di bawah (*double deck bridge*)

Klasifikasi jembatan menurut bentuk struktur secara umum :

- Jembatan gelagar (*girder bridge*)
- Jembatan pelengkung/busur (*arch bridge*)
- Jembatan rangka (*truss bridge*)
- Jembatan portal (*rigid frame bridge*)
- Jembatan gantung (*suspension bridge*)
- Jembatan kabel (*cable-stayed bridge*)

Adapun beberapa pertimbangan yang menentukan diperlukannya untuk membangun jembatan diantaranya sebagai berikut :

1. Umumnya jembatan lama yang telah terlalu tua sehingga dirasakan perlu diganti dengan jembatan yang baru.
2. Diperlukan jembatan yang sama sekali baru, sebab alat penyebrangan atau perlintasan yang ada tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada.
3. Pada jalan yang sama sekali baru, diperlukan membangun jembatan yang baru.

Asiyanto (2005:2) berpendapat bahwa secara umum, fungsi jembatan jenis apa pun sama, yaitu bangunan yang menghubungkan secara fisik untuk keperluan pelayanan transportasi dari tempat ujung satu ke ujung lainnya, yang terhalang oleh kondisi alam atau bangunan lain.

Secara fisik, fungsi jembatan menghubungkan dua tempat yang terhalang oleh kedua kondisi, yaitu :

- Kondisi alam, seperti: sungai, lembah, selat (disebut *bridge*)
- Kondisi bangunan atau jalan yang telah/aka nada (disebut *fly over/viaduct*)

Permasalahan yang dihadapi dua macam jembatan tersebut berbeda, yaitu :

- Jembatan (*bridge*): arus air atau kedalaman air yang dapat menyulitkan proses pelaksanaan jembatan
- 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.

Dalam pelaksanaan jembatan, hambatan utamanya adalah kondisi fisik alam setempat yang cukup diatasi dengan teknologi. Sedangkan dalam pelaksanaan jembatan layang, hambatan utamanya adalah kondisi fungsi sosial setempat yang tidak cukup diatasi dengan teknologi saja, tetapi harus dengan manajemen yang baik, agar tidak merugikan fungsi sosial yang ada, terutama lalu lintas (*traffic*) yang ada. Karena itu sebelum proyek dimulai, harus dilakukan manajemen lalu lintas (*traffic management*), untuk menjamin lalu-lintas tetap dapat berfungsi.

Sementara itu, Ariestadi (2008:429) mengatakan jembatan dapat dikatakan mempunyai fungsi keseimbangan (*balancing*) sistem transportasi, karena jembatan akan menjadi pengontrol volume dan berat lalu lintas yang dapat dilayani oleh sistem transportasi.

Oleh karena itu, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007:26).

2.2 Bagian – Bagian Jembatan

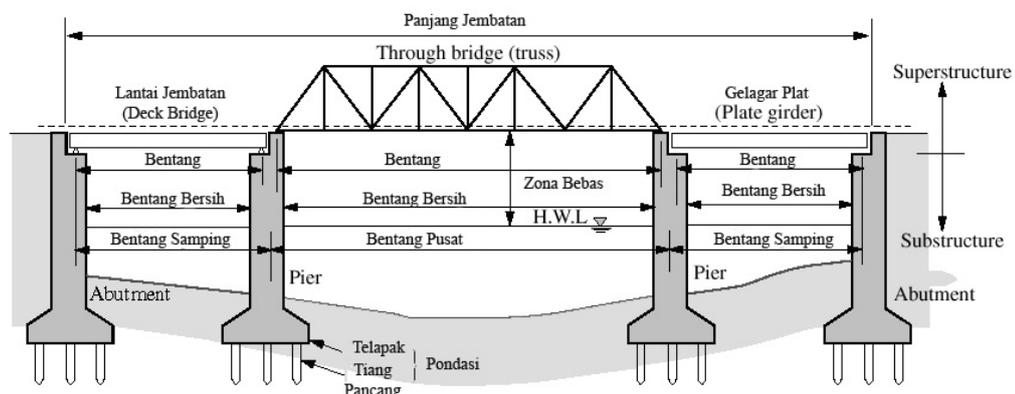
Jembatan terdiri dari beberapa bagian-bagian pokok, yaitu sebagai berikut (Agus Iqbal Manu, 1995:4):

1. Bangunan atas jembatan merupakan struktur yang terletak pada bagian atas suatu jembatan, berfungsi menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas orang, kendaraan, dan lain-lain kemudian menyalurkannya kepada bangunan bawah.
2. Landasan adalah bagian ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya reaksi dari bangunan atas kepada bangunan bawah. Menurut fungsinya, landasan dibedakan menjadi landasan sendi (*fixed bearing*) dan landasan gerak (*movable bearing*)
3. Bangunan bawah pada umumnya terletak di sebelah bawah bangunan atas. Bangunan bawah jembatan ini berfungsi menerima / memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi. Beban-beban tersebut selanjutnya oleh pondasi disalurkan ke tanah.
4. Oprit-jembatan berupa timbunan tanah di belakang *Abutment* timbunan tanah ini harus dibuat sepadat mungkin, untuk menghindari terjadinya penurunan (*settlement*) hal ini tidak mengesahkan bagi pengendara. Apabila ada penurunan, terjadi kerusakan pada *expansion joint* yaitu bidang pertemuan antara bangunan atas dengan *Abutment*. Untuk menghindari ini, pemadatan harus semaksimal mungkin dan di atasnya dipasang plat injak di belakang *Abutment*.
5. *Abutment* atau kepala jembatan adalah bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah.
6. Pilar jembatan berfungsi sebagai pendukung bangunan atas. Bila pilar ada pada suatu bangunan jembatan letaknya diantara kedua *Abutment* dan jumlahnya tergantung keperluan, seringkali pilar tidak diperlukan.

7. Pondasi merupakan struktur yang berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah dan menyalurkannya ke tanah. Secara umum, pondasi dapat dibedakan sebagai pondasi dangkal atau pondasi langsung (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundations*). Pondasi dalam terbagi menjadi dua, yaitu pondasi tiang pancang (*pile foundations*) dan pondasi sumuran (*caisson foundations*).

Empat diantara stuktur-struktur tersebut selalu ada pada suatu bangunan jembatan yaitu : bangunan atas, bangunan bawah, pondasi, dan oprit. Tidak selalu landasan dan bangunan pengaman ada pada suatu bangunan jembatan. Terdapat pula jembatan dimana bangunan atas, bangunan bawah pilar dan pondasi pilar merupakan suatu kesatuan berbentuk suatu portal.

Ariestadi (2006:429) mengatakan bahwa struktur jembatan dapat dibedakan menjadi bagian atas (*super structure*) yang terdiri dari *deck* atau geladak, sistem lantai, dan rangka utama berupa gelagar atau *girder*, serta bagian bawah (*sub structure*) yang terdiri dari *pier* atau pendukung tengah, kolom, kaki pondasi (*footing*), tiang pondasi dan *Abutment*. *Super structure* mendukung jarak horizontal di atas permukaan tanah. Tipikal jembatan dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Tipikal Jembatan

2.2.1 Bangunan Atas Jembatan

Agus Iqbal Manu (1995:4) mengatakan bahwa bangunan atas jembatan merupakan struktur yang terletak pada bagian atas suatu jembatan, berfungsi menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas orang, kendaraan, dan lain-lain kemudian menyalurkannya kepada bangunan bawah.

Adapun yang termasuk dalam bangunan atas jembatan adalah:

1. Tiang sandaran

Tiang sandaran berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya. Tiang sandaran dengan trotoar terbuat dari beton bertulang dan untuk sandarannya dari pipa galvanis.

2. Trotoar

Trotoar merupakan tempat pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi dari lantai jalan atau permukaan aspal. Lebar trotoar minimal cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 1,0-1,5 meter dan dipasang pada bagian kanan serta kiri jembatan. Pada ujung tepi trotoar (*kerb*) dipasang lis dari baja siku untuk penguat trotoar dari pengaruh gesekan dengan roda kendaraan.

3. Lantai kendaraan

Lantai kendaraan berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang melalui gelagar-gelagar melintang. Pelat lantai dari beton ini mempunyai ketebalan total 20 cm.

4. Balok diafragma

Merupakan pengaku dari gelagar-gelagar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa.

5. Balok gelagar (*girder*)

Balok girder merupakan balok utama yang memikul beban dari lantai kendaraan maupun kendaraan yang melewati jembatan tersebut, sedangkan besarnya balok memanjang tergantung dari panjang bentang dan kelas jembatan

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (Modul Inspektur Lapangan Pekerjaan Jembatan, 2006) Bangunan atas jembatan dapat terbuat dari kayu, beton bertulang, beton pratekan dan baja, bangunan atas terdiri dari :

a. Gelagar

Merupakan balok-balok dalam arah memanjang, berbentuk I, U, dan T. Gelagar berbentuk U mungkin saja tanpa diafragma karena dimensinya yang besar dan cukup kaku.

b. Diafragma

Merupakan balok-balok dalam arah melintang, umumnya berbentuk masif atau rangka batang.

c. Lantai

Merupakan pelat murni dari gelagar ataupun balok berbentuk papan. Balok-balok berbentuk papan juga tidak mempunyai diafragma.

2.2.2 Bangunan Bawah Jembatan

Agus Iqbal Manu (1995:5) mengatakan bahwa Bangunan bawah pada umumnya terletak disebelah bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi. Bangunan bawah jembatan terdiri dari :

1. Kepala jembatan (*Abutment*)

Bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum *Abutment* yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*settlement*) yang terjadi. Adapun jenis *Abutment* ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi seperti dinding atau tembok.

2. Pelat injak

Pelat injak adalah bagian dan bangunan jembatan bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima di atasnya secara merata ke tanah dibawahnya dan juga untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan.

3. Pondasi

Pondasi adalah bagian dan jembatan yang tertanam di dalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban bangunan yang berada di atasnya dan meneruskannya ke tanah dasar, baik ke arah vertikal maupun ke arah horizontal.

4. Dinding sayap (*Wing wall*)

Dinding sayap adalah bagian dan bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk menahan tegangan tanah dan memberikan kestabilan pada posisi tanah terhadap jembatan.

5. Landasan/Perletakan

Landasan jembatan adalah bagian ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya reaksi dari bangunan atas kepada bangunan bawah. Menurut fungsinya dibedakan landasan sendi (*fixed bearing*) dan landasan gerak (*movable bearing*). Menurut jenisnya dibedakan menjadi perletakan baja, bantalan karet dan strip.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (Modul Inspektur Lapangan Pekerjaan Jembatan, 2006) bangunan bawah jembatan terdiri dari :

- a. *Abutment*, adalah kepala jembatan tempat bertumpu gelagar-gelagar pada kedua ujung jembatan. Bentuk paling sederhana dari *Abutment* adalah *pile cap* (*poer*)
- b. *Pier*, adalah pilar jembatan yang terletak di antara kedua *Abutment*, berfungsi sebagai tempat bertumpu gelagar-gelagar jembatan.
- c. *Tie Beam* (*Sloof*), jarang dijumpai pada bangunan bawah, akan tetapi sering digunakan untuk menahan goyangan akibat daya dukung lateral tanah yang rendah.

2.3 Struktur Komposit

2.3.1 Konsep Dasar Struktur Komposit

Asiyanto (2012:1) mengatakan bahwa gabungan kerja sama antara struktur beton *slab* dan *steel girder* banyak digunakan pada jembatan (*bridge* atau *fly over*). Konsep ini semakin populer karena sifatnya yang *relative low cost*, mudah dan cepat pelaksanaannya, bersih tampilannya dan desain yang sederhana. Oleh karena itu konsep desain ini dapat diterapkan baik pada jembatan maupun gedung.

Struktur ini adalah campuran dari 2 (dua) prinsip dalam menahan beban, yaitu sebagai berikut :

1. Balok Baja (*Steel Beam*) mentransfer beban ke arah memanjang balok.
2. Beton *Slab* (*Concrete Slab*) mendistribusikan beban yang langsung diterima ke arah melintang.

Bila *slab* dihubungkan pada *beam* sehingga menyatu menjadi satu struktur, maka *slab* tersebut akan berperan sebagai *cover plate* dari *beam* dan membantu balok dalam membawa beban ke arah memanjang. Struktur ini dikenal sebagai *Composite Steel-Concrete*.

Konsep ini memanfaatkan kelebihan masing-masing yaitu beton menahan tekan dan baja menahan tarik. Oleh karena itu dalam menetapkan desain diusahakan agar seluruh tampang beton berada di daerah tekan dari struktur komposit. Hal ini lebih efisien dibanding beton bertulang, karena struktur beton bertulang biasa selain lebih berat juga hanya sebagian tampang beton yang dimanfaatkan untuk menahan gaya tekan. Perhitungan desain struktur komposit ini menggunakan konsep *moment inertia* atau momen inersia.

Dibanding dengan struktur *non-composite* maka struktur *composite construction* memiliki keunggulan sebagai berikut:

- Lebih kuat dan lebih kaku
- Menghemat pemakaian *steel* (baja)
- Mengurangi ketinggian balok
- Lebih ekonomis untuk bentang panjang
- Defleksi dapat dikendalikan, tidak menjadi hambatan/kelemahan

- Lebih mudah dan cepat pelaksanaannya
- Struktur lebih ringan dibanding dengan struktur beton bertulang, berarti akan menguntungkan pondasi.

2.3.2 Sejarah Struktur Komposit

Awal dari *composite construction (steel and concrete)* dapat ditelusuri pada paten “*Composite Beam Construction*” yang diberikan kepada J. Kahn pada tahun 1926, dan kemudian mulai dipelajari melalui buku yang dipublikasikan tahun 1929 oleh R.A. Caughey. Kemudian beberapa jembatan layang dibangun dengan sistem ini pada tahun tiga puluhan dan awal tahun seribu sembilan ratus empat puluhan hingga berlanjut ke tahun-tahun berikutnya.

Spesifikasi untuk desain jembatan komposit pertama kali dikeluarkan oleh *The American Association of State Highway Officials (AASHO)* pada tahun 1944. Hal ini merupakan titik awal pengembangan *composite construction*, yang kemudian terus berkembang ditandai dengan terbitnya spesifikasi baru tentang hal tersebut pada tahun 1957 oleh AASHO (Asiyanto, 2012:2).

2.3.3 Elemen *Composite Beam*

Menurut Asiyanto (2012:3) untuk menjamin interaksi antara beton *slab* dan *steel beam*, sepotong baja dilas di atas *steel beam* dan tertanam dalam beton *slab*. Fungsi dari sepotong baja *connector* tersebut adalah untuk mentransfer *horizontal shear* dari *slab* kepada *beam*. Sehingga kedua bagian tersebut (*slab* dan *beam*) menjadi satu unit struktur. Oleh karena itu *composite beam* terdiri dari 3 (tiga) elemen penting, yaitu :

1. *Reinforced Concrete Slab*

Berperan sebagai *cover plate* yang efektif karena terletak pada daerah tekan dari *steel beam*. Dimensi *slab* ditentukan dan dipengaruhi oleh jarak *beam* dan beban yang akan dipikul. *Design slab* adalah bebas dari *composite* artinya dapat di desain seperti pada non-komposit.

2. *Steel Beam*

Steel beam dapat berupa baja profil (I) dengan atau tanpa *cover plate* atau profil tersusun. *Steel beam* yang tidak simetris, seperti penambahan *cover plate* di bagian bawah *steel beam* dapat membuat *composite construction* menjadi lebih ekonomis.

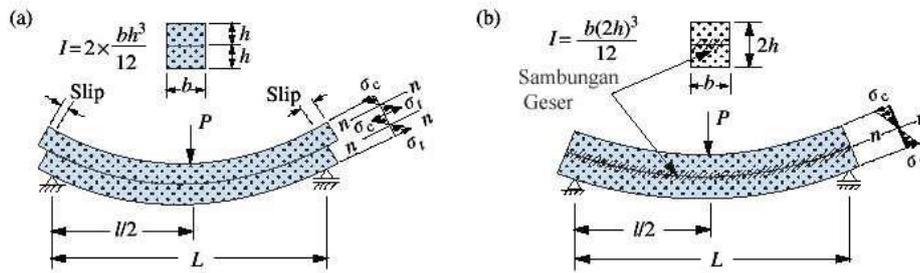
3. *Shear Connectors*

Shear connectors memberikan hubungan yang diperlukan antara *slab* dan *beam*. *Shear connector* harus mampu mentransfer *horizontal shear* dengan deformasi yang sangat kecil, sehingga seluruh struktur terbentuk menjadi satu unit kesatuan. Seluruh penampang beton berada di daerah tekan (pada beban lentur). Hal ini yang menjadikan struktur ini sangat ekonomis, karena seluruh kekuatan beton dapat dimanfaatkan.

2.3.4 Jembatan Gelagar Komposit

Ariestadi (2008:431) berpendapat bahwa jembatan gelagar komposit terdiri dari pelat lantai beton yang dihubungkan dengan *girder* atau gelagar baja yang bekerja sama mendukung beban sebagai satu kesatuan balok. Gelagar baja terutama menahan tarik sedangkan pelat beton menahan momen lendutan.

Apabila dua buah balok bersusun secara sederhana (*tiered beam*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.a, mereka bekerja secara terpisah dan beban geser tergantung pada kekuatan lenturnya. Pada kasus tersebut, gelincir terjadi di sepanjang batas balok. Tetapi jika kedua balok dihubungkan dan gelincir ditahan seperti pada Gambar 2.2.b, mereka bekerja sebagai satu kesatuan gelagar komposit. Untuk jembatan gelagar datar komposit, gelagar baja dan *slab* beton dihubungkan dengan sambungan geser.



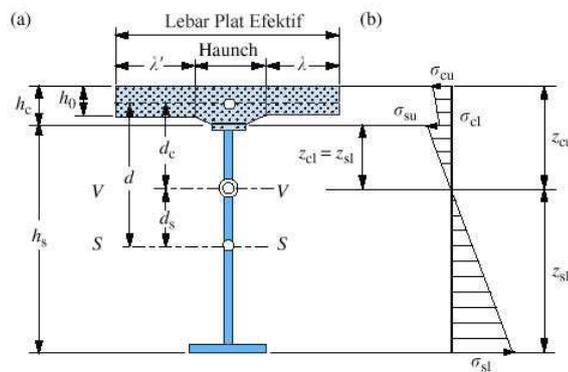
Gambar 2.2 Prinsip Balok *Tiered* dan Balok Komposit

(a) balok *tiered*, dan (b) balok komposit

Dengan cara ini, *slab* beton akan menyatu dengan gelagar dan menjadi komponen tekan dari momen lendutan pada saat gelagar datar baja mendapat gaya tarik. Gelagar komposit lebih efektif apabila dibandingkan dengan gelagar bertingkat sederhana.

Gambar 2.3. menunjukkan perbedaan antara balok *tier* dan balok komposit. Penampang keduanya sama dan mendapat pembebanan terpusat pada tengahnya. Momen inersia balok komposit 4 kali lebih besar dari pada balok *tier*, sehingga defleksi yang terjadi hanya $\frac{1}{4}$ nya. Tekanan lendut maksimum di permukaan (atas atau bawah) hanya $\frac{1}{2}$ dari konfigurasi balok tier.

Distribusi tekanan yang sesuai ditunjukkan pada gambar berikut. Poin 'S' dan 'V' merupakan pusat profil baja dan penampang komposit. Menurut teori, distribusi tegangan adalah linier tetapi distribusi tekanan berubah pada batas antara baja dan beton.

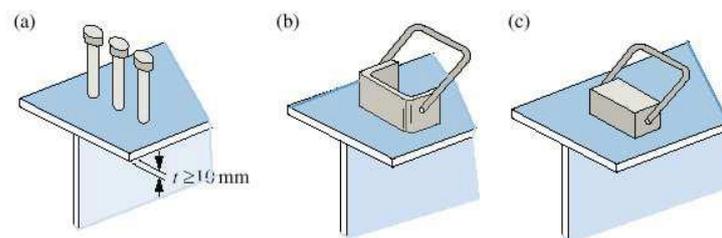


Gambar 2.3 Potongan Gelagar Komposit

(a) potongan gelagar komposit, dan (b) distribusi tekanan

Tiga tipe sambungan geser, *studs*, *horse shoes* dan balok baja ditunjukkan pada Gambar 2.4. *Studs* lebih umum digunakan karena lebih mudah dilas ke sayap tegangan dengan menggunakan pengelasan elektrik, tetapi sulit dalam pemeriksaannya. Jika pengelasan pada *stud* kurang, *stud* dapat bergeser dan menyebabkan kerusakan. Tipe yang lain menjadi pertimbangan karena lebih mudah dalam pemeliharannya.

Sambungan geser diletakkan mendekati akhir bentang dimana terjadi gaya geser terbesar seperti gambar berikut ini (Ariestadi, 2008:440-442).



Gambar 2.4 Tipe Sambungan Geser

(a) *stud*, (b) *horse shoes*, (c) blok baja

Sementara itu, menurut Departemen Pekerjaan Umum (Modul Pelatihan Ahli Perencanaan Teknis Jembatan, 2007) yang membahas tentang bangunan atas jembatan komposit mengatakan bahwa yang dimaksudkan dengan komposit disini adalah gabungan antara balok baja (gelagar utama) dengan lantai beton, yang dihubungkan dengan penghubung-penghubung geser. Lantai beton pada balok gabungan tidak hanya bertumpu pada balok-balok baja, akan tetapi dihubungkan pada sayap atas balok-balok baja dengan penghubung-penghubung geser sedemikian teguhnya sehingga lantai beton dan balok baja bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan dalam hal memikul beban.

Beberapa macam balok gabungan yang mungkin ada adalah sebagai berikut:

- Balok gabungan untuk beban hidup, yang pada garis besarnya hanya bekerja secara gabungan untuk memikul beban hidup.
- Balok gabungan untuk beban mati dan beban hidup, yang pada garis besarnya hanya bekerja secara gabungan untuk memikul beban hidup dan seluruh atau sebagian besar beban-beban mati.

Dalam persyaratan bahan, dibahas bahan-bahan untuk baja yang dipergunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah ada di Indonesia mengenai jembatan baja. Bahan untuk lantai beton harus sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan tegangan tekan yang diijinkan untuk beton umur 28 hari. Jika mengacu pada Standar Spesifikasi Untuk Jembatan Jalan Raya Tipe Balok Gabungan No. 01/1969 $\sigma_{28} \geq 200 \text{ kg/cm}^2$ (untuk lantai beton) akan tetapi apabila pratekan diberikan langsung pada lantai beton, harus memenuhi $\sigma_{28} \geq 300 \text{ kg/cm}^2$. Sesuai dengan kemampuan pelaksanaan pada saat ini besarnya nilai σ_{28} tersebut perlu dipertimbangkan ulang, tentunya akan lebih besar dibandingkan dengan standar yang ditentukan pada tahun 1969.

Maka, umumnya struktur komposit untuk jembatan terdiri dari (Departemen Pekerjaan Umum, 2006):

1. Gelagar baja

Gelagar baja umumnya berbentuk I atau H dimana bagian flens atas dengan terdapat *shear connector* berbentuk V atau paku.

2. Diafragma

Diafragma pada struktur komposit umumnya terbuat dari rangka baja.

3. Pelat beton bertulang

Pelat lantai jembatan ini sama halnya dengan pelat lantai jembatan lain pada umumnya.

2.4 *Steel Box Girder*

Gelagar kotak (*box girder* umumnya terbuat dari baja atau beton konvensional maupun prategang. *Box girder* terutama digunakan sebagai gelagar jembatan, dan dapat dikombinasikan dengan sistem jembatan gantung, *cable-stayed*, maupun bentuk pelengkung. Manfaat utama dari *box girder* adalah momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan karena adanya rongga ditengah penampang. *Box girder* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, tetapi bentuk trapesium adalah yang paling banyak digunakan dalam praktiknya di lapangan (Nasution, 2012).

Menurut Supriyadi (2000) *box girder* adalah balok-balok penopang utama yang berbentuk kotak atau trapezium berongga pada sebuah struktur atas jembatan. Bentuk penampang dari *box girder* umumnya adalah persegi atau trapesium dan dapat direncanakan terdiri atas satu sel atau banyak sel. Salah satu keuntungan dari jembatan dengan gelagar *box girder* yaitu kemampuan daya dukung dari struktur yang tinggi terhadap beban pelayangan yang terjadi. Tinggi elemen *box girder* dapat dibuat konstan maupun bervariasi yakni makin ke tengah ataupun makin kecil.

Jembatan gelagar kotak (*box girder*) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang panjang. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang ± 100 meter. Keutamaan gelagar kotak adalah pada tahanan terhadap beban torsi (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Dalam perancangan jembatan ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam penetapan bentuk maupun dimensi jembatan. Adapun aspek tersebut antara lain: aspek lokasi dan tipe jembatan, aspek lalu lintas, aspek hidrologi, aspek tanah, aspek geometri jembatan, dan aspek konstruksi jembatan.

2.5 Standar Peraturan Perancangan Jembatan

Perancangan jembatan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. Standar peraturan tersebut antara lain :

1. SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
2. RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.
3. RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
4. SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.
5. AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications* Edisi Ke-5 Tahun 2010.

2.5.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

Menurut RSNI T-12-2004, umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentang panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

a. Beton

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari, f_c' , dengan berdasarkan suatu kriteria perancangan dan keberhasilan sebagai berikut:

- Ditetapkan berdasarkan prosedur probabilitas statistic dari hasil pengujian tekan pada sekelompok benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dinyatakan dalam satuan MPa, dengan kemungkinan kegagalan sebesar 5%.
- Sama dengan mutu kekuatan tekan beton yang ditentukan dalam kriteria perencanaan, dengan syarat perawatan beton tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- Mencapai tingkat keberhasilan dalam pelaksanaan, berdasarkan hasil pengujian pada benda uji silinder, dinyatakan dalam satuan MPa yang memenuhi kriteria keberhasilan.

Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka waktu panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 35 MPa.

Kuat tarik langsung dari beton, f_{ct} , bisa diambil dari ketentuan:

- $0,33 \sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Kuat tarik lentur beton, f_{cf} , bisa diambil sebesar:

- $0,6 \sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Tegangan tekan dalam penampang beton akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan/atau aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai $0,45 f_c'$, dimana f_c' adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

Massa jenis beton, w_c , ditentukan dari nilai-nilai:

- Untuk beton dengan berat normal, maka diambil tidak kurang dari 2400 kg/m^3 , atau
- Ditentukan dari hasil pengujian

Modulus elastisitas beton, E_c , nilainya tergantung mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m^3 dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai E_c bisa diambil sebagai:

- $E_c = w_c^{1,5} (0,0043 \sqrt{f_c'})$ dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi $\pm 20\%$. w_c menyatakan berat jenis beton dalam satuan MPa, dan E_c dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m^3 , E_c boleh diambil sebesar $4700 \sqrt{f_c'}$, dinyatakan dalam MPa, atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

b. Baja tulangan non-prategang

Kuat tarik putus ditentukan dari hasil pengujian. Kuat tarik leleh, f_y , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh f_y yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan di bawah ini:

- Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- Tulangan dengan $f_y = 400$ MPa, atau lebih dan anyaman lewat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
- Untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m, tidak boleh melebihi $0,50 f_y$ namun tidak lebih dari 200 MPa.

Modulus elastisitas baja tulangan, E_s , bisa untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh f_y , bisa diambil sebesar :

- Diambil sama dengan 200.000 MPa.
- Ditentukan dari hasil pengujian.

c. Baja tulangan prategang

Kuat tarik baja prategang f_{pu} , harus ditentukan dari hasil pengujian, atau diambil sebesar mutu baja yang disebutkan oleh fabrikator berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi.

Kuat leleh baja prategang f_{py} , harus ditentukan dari hasil pengujian atau dianggap sebagai berikut:

- Untuk kawat baja prategang, sebesar $0,75 f_{pu}$
- Untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat, sebesar $0,85 f_{py}$

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah perjangkaran tendon, sebesar $0,70 f_{pu}$
- Untuk kondisi layan, sebesar $0,60 f_{pu}$

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar $0,94 f_{py}$ tetapi tidak boleh besar dari $0,85 f_{pu}$ / nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang/ jangkar.
- Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$ tetapi tidak boleh lebih besar $0,74 f_{pu}$.

Modulus elastisitas baja prategang E_p , biasa diambil sebesar:

- Untuk kawat tegang-lepas : 200×10^3 MPa
- Untuk *strand* tegang-lepas : 195×10^3 MPa
- Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi: 170×10^3 MPa
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2.5.2 Perencanaan Kekuatan Struktur Beton Bertulang

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, atau ada keterkaitan dengan aspek lain yang sesuai batasan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, bisa digunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL).

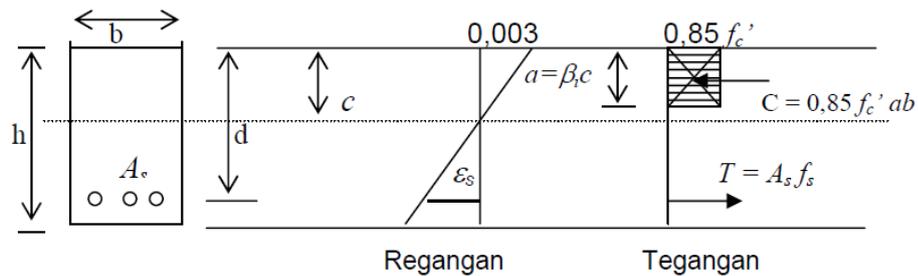
Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan:

- Bidang rata yang tegak lurus sumbu tetap rata setelah mengalami lentur
- Beton tidak diperhitungkan dalam memikul tegangan tarik.
- Distribusi tegangan tekan ditentukan dari hubungan tegangan-regangan pada beton.
- Regangan batas beton yang tertekan diambil sebesar $0,003$.

Hubungan dengan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh.

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton = $0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang batasi oleh tepi tertekan keluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut.



Gambar 2.5 Regangan dan Tegangan pada Penampang Beton Bertulang

Faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ MPa} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk persyaratan tulangan minimum pada setiap penampang dari suatu komponen struktur lentur, bila berdasarkan analisis diperlukan tulangan tarik, maka luas A_s yang ada tidak boleh kurang dari:

$$A_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} b.w. d \dots\dots\dots(2.3)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b.w. d \dots\dots\dots(2.4)$$

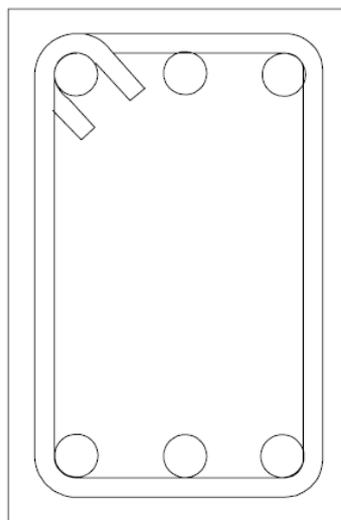
Jarak tulangan harus cukup memadai untuk penempatan penggetar dan memungkinkan ukuran terbesar dari agregat kasar dapat bergerak saat digetarkan. Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari :

- 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat, atau
- 1,5 kali diameter tulangan, atau
- 40 mm

Jarak bersih antara tulangan yang sejajar dalam lapisan tidak boleh kurang dari sumbu 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter seikat tulangan.

Tulangan geser terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaring kawat baja dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Tulangan bengkok keatas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkutan dan kemungkinan terjadi splitting beton pada bidang yang dibengkokkan. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm.

Tulangan geser harus dibengkokkan dengan cukup baik dan merupakan sengkang tertutup seperti gambar berikut.



Gambar 2.6 Pembengkokan Tulangan Geser

2.5.3 Syarat Umum Perencanaan Struktur Baja

Menurut RSNI T-03-2005, umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting, jembatan bentang panjang atau yang bersifat khusus, disyaratkan mempunyai umur rencana 100 tahun.

Perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, geser, aksial, punter serta kombinasinya, harus didasarkan pada cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PKBT). Sebagai pembanding atau alternatif lain dapat digunakan cara perencanaan yang berdasarkan batas layan untuk perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan.

Dalam perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan harus memperhatikan faktor integritas komponen-komponen struktural maupun keseluruhan struktur jembatan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor:

- a. Kontinuitas dan redundansi.
- b. Ketahanan komponen struktur jembatan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur jembatan yang direncanakan.
- c. Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebih.

Adapun prosedur dan asumsi dalam perencanaan serta besarnya beban rencana harus mengikuti ketentuan berikut:

- a. Struktur jembatan direncanakan untuk menahan semua beban yang mungkin bekerja.
- b. Beban kerja dihitung berdasarkan besarnya aksi rencana yang bekerja.
- c. Perencanaan beban angin dan gempa, di mana seluruh bagian struktur yang pembentuk kesatuan harus direncanakan untuk menahan beban lateral total.
- d. Pertimbangan lain yaitu gaya prategang, beban *crane*, vibrasi, kejutan, susut, rangkakan, perubahan suhu, perbedaan penurunan, dan beban-beban khusus lainnya yang mungkin bekerja.

Perencanaan komponen struktur jembatan harus didasarkan pada cara Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT), yang harus memenuhi kriteria keamanan untuk semua jenis gaya dalam. Kekuatan rencana tidak kurang dari pengaruh aksi rencana sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (2.5)$$

Pada sisi kiri mewakili kekuatan rencana dari penampang komponen struktur jembatan, yang bisa dihitung dari R_n (besaran ketahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur) dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ , dan sisi kanan mewakili dampak batas ultimit atau yang paling membahayakan dari beban-beban, yang dihitung berdasarkan penjumlahan terkombinasi dari jenis-jenis beban yang berbeda Q_i , yang masing-masing diberikan suatu faktor beban γ_i .

Perencanaan secara PBKT dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas ultimit, yang terjadi antara lain:

- a. Terjadi keruntuhan lokal pada satu atau sebagian komponen struktur jembatan.
- b. Kehilangan keseimbangan statis akibat keruntuhan atau kegagalan pada sebagian komponen struktur atau keseluruhan struktur jembatan.
- c. Keadaan purna-elastis atau purna-tebuk di mana satu bagian komponen jembatan atau lebih mencapai kondisi runtuh.
- d. Kerusakan akibat fatik dan/atau korosi sehingga terjadi kehancuran.
- e. Kegagalan dari pondasi yang menyebabkan pergeseran yang berlebihan atau keruntuhan bagian utama dari jembatan.

Cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL), yang pada umumnya dibatasi oleh suatu nilai tegangan ijin dari material struktur, dan/atau suatu nilai deformasi ijin, atau perilaku lainnya yang diijinkan pada komponen struktur bersangkutan dapat digunakan untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, seperti untuk perencanaan terhadap lentur dari komponen-komponen struktur baja yang dianggap sesuai kebutuhan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif.

Perencanaan berdasarkan batas layan (PBL) dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas layan, antara lain:

- a. Tegangan kerja dari suatu komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai tegangan yang diijinkan, sehingga berpotensi mengakibatkan kelelahan pada komponen baja.
- b. Deformasi permanen dari komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai deformasi ijinnya, atau hal-hal yang menyebabkan jembatan tidak layak pakai pada kondisi layan, atau hal-hal yang menyebabkan kekhawatiran umum terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan akibat beban kerja.
- c. Vibrasi yang terjadi sehingga menimbulkan instabilitas atau kekhawatiran struktural lainnya terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan.
- d. Bahaya permanen termasuk korosi dan fatik yang mengurangi kekuatan struktur dan umur layan jembatan.
- e. Bahaya banjir di daerah sekitar jembatan.

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 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 : Badan Standarisasi Nasional, 2005)

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

Modulus elastisitas	:	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Modulus geser	:	$G = 80.000 \text{ MPa}$
Angka poisson	:	$\mu = 0,3$
Koefisien pemuaian	:	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

Alat sambung yang umum digunakan untuk struktur baja adalah baut, mur, dan ring. Alat sambung mutu tinggi boleh digunakan bila memenuhi ketentuan berikut ini:

- Komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku
- 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
- Persyaratan gaya tarik minimum alat sambung ditentukan pada Tabel 2.2 dibawah ini

Tabel 2.2 Gaya Tarik Baut Minimum

Diameter Nominal Baut [mm]	Gaya Tarik Minimum [kN]
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2005)

Untuk besaran beban dan kombinasi pembebanan, diambil mengacu kepada Standar Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya. Faktor reduksi kekuatan, ϕ diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial tekan	0,85
d. Aksial tarik	
1. Terhadap kuat tarik leleh	0,90
2. Terhadap kuat tarik fraktur	0,75
e. Penghubung geser	0,75
f. Sambungan baut	0,75
g. Hubungan las	
1. Las tumpul penetrasi penuh	0,90
2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2005)

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

Dalam hal suatu struktur baja pada jembatan harus menghadapi lingkungan yang korosif, maka struktur baja tersebut harus diberi perlindungan terhadap korosi. Tingkat perlindungan yang digunakan harus ditentukan berdasarkan pertimbangan atas fungsi jembatan, pemeliharaan dan kondisi iklim/cuaca serta kondisi setempat lainnya.

2.5.4 Perencanaan Gelagar Komposit

Unsur komposit dalam lentur terdiri dari gelagar baja dan lantai beton, tahanan geser pada permukaan antara lantai dan gelagar diadakan dengan hubungan mekanikal. Kekuatan lentur gelagar komposit ditentukan dengan cara rencana keadaan batas ultimit.

Pengaruh geser dalam lantai beton harus diperhitungkan. Geser dapat diperhitungkan dengan menggunakan suatu lebar efektif lantai. Bila lantai beton meliputi kedua sisi badan gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari:

- a. $1/5$ x panjang gelagar untuk bentang sederhana atau $1/7$ panjang bentang gelagar untuk bentang menerus
- b. Jarak pusat-pusat antara badan gelagar, dan
- c. $1/12$ x tebal minimum lantai.

Bila lantai beton hanya ada pada satu sisi dari gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai setengah dari nilai yang dihitung dalam butir-butir a, b atau c di atas. Lebar efektif harus digunakan untuk menghitung besaran penampang gelagar komposit pada keadaan batas layan dan ultimit.

Lendutan pada gelagar komposit dapat dihitung dengan menggunakan teori elastis dengan menganggap interaksi penuh antara beton dan gelagar baja dan mengabaikan beton yang tertarik.

Hubungan geser dan tulangan melintang harus disediakan sepanjang gelagar untuk menyalurkan gaya geser memanjang dan gaya pemisah antara lantai beton dan gelagar baja, dengan mengabaikan pengaruh ikatan antara kedua bahan beton dan baja tersebut.

2.6 Pembebanan Jembatan

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

Dalam perencanaan, Persamaan 1 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi Persamaan 1 untuk setiap keadaan batas. Untuk keadaan batas layan dan ekstrem, faktor tahanan harus diambil sebesar 1, kecuali untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3, dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan beton. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum η lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk beban-beban dengan nilai minimum η lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

γ_i : adalah faktor beban ke-i

η_i : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi operasional

η_D : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas

η_R : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi

η_I : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional

ϕ : adalah faktor tahanan

Q_i : adalah pengaruh gaya

R_n : adalah tahanan nominal

R_r : adalah tahanan terfaktor

Terdapat empat keadaan/kondisi batas dalam perencanaan jembatan, keadaan ini disyaratkan dengan melakukan pembatasan terhadap beberapa kondisi agar jembatan dapat mencapai target pembangunannya. Keempat keadaan batas tersebut adalah:

- a. Keadaan batas daya layan;
- b. Keadaan batas fatik dan fraktur;
- c. Keadaan batas kekuatan; dan
- d. Keadaan batas ekstrem;

Empat keadaan di atas memperhitungkan kondisi jembatan sesuai batas-batas dari berbagai aspek yang disyaratkan. Perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan batas-batas di atas menghasilkan dua belas kombinasi pembebanan yang terdapat pada SNI 1725:2016. Untuk merencanakan struktur bawah jembatan, setiap faktor dan kombinasi pembebanan diperhitungkan berdasarkan kelompok beban sebagai berikut:

Beban Permanen :

- MS* = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan;
- MA* = beban mati perkerasan dan utilitas;
- TA* = gaya horizontal akibat tekanan tanah;
- PL* = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental.

Beban Transien :

- SH* = gaya akibat susut/rangkak;
- TB* = gaya akibat rem;
- TR* = gaya sentrifugal;
- TC* = gaya akibat tumbukan kendaraan;
- TV* = gaya akibat tumbukan kapal;
- EQ* = gaya gempa;
- BF* = gaya friksi;

<i>TD</i>	= beban lajur “D”;
<i>TT</i>	= beban truk “T”;
<i>TP</i>	= beban pejalan kaki;
<i>SE</i>	= beban akibat penurunan;
<i>ET</i>	= gaya akibat temperatur gradien;
<i>EU_n</i>	= gaya akibat temperatur seragam;
<i>EF</i>	= gaya apung;
<i>EW_s</i>	= beban angin pada struktur;
<i>EW_L</i>	= beban angin pada kendaraan;

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

- η_i : adalah faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2.7 dan 2.8
- γ_i : faktor beban
- Q_i : adalah gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 2.6 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

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

- **Kuat II** : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- **Kuat III** : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- **Kuat IV** : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- **Kuat V** : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- **Ekstrem I** : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- **Ekstrem II** : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir, atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- **Layan I** : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat

pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

- **Layan II** : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- **Layan III** : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- **Layan IV** : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- **Fatik** : Kombinasi pembebanan fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Untuk jembatan yang dibangun secara segmental, maka kombinasi pembebanan sebagai berikut harus diselidiki pada keadaan batas daya layan yaitu kombinasi antara beban mati (*MS*), beban mati tambahan (*MA*), tekanan tanah (*TA*), beban arus dan hanyutan (*EU*), susut (*SH*), gaya akibat pelaksanaan (*PL*), dan prategang (*PR*).

Tabel 2.4 Kombinasi dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _n	TG	ED	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

2.6.1 Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam satndari ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (KN/m ³)	Kerapatan Massa (Kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besti tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, sit or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c' < 35 \text{ MPa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022 f_c'$	$2240 + 2,29 f_c'$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu Keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. 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.

a. Beban 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 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

b. 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 2.7 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 2.7 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Keadaan Khusus	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾	Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas			

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

c. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembapan, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh daya yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pasal ini.

Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. 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 γ_s , c dan ϕ_f . Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s , dan nilai rencana dari c serta ϕ_f .

Nilai-nilai rencana dari c dan ϕ_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 2.8.

Tabel 2.8. Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{TA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{TA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan Tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral	1,00		
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00		(1)
Catatan ⁽¹⁾	Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.			

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut.

Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu dihitung.

Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan pada keadaan batas kekuatan. Apabila keadaan demikian timbul maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan diam harus sama seperti untuk tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0, tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

Tekanan tanah lateral harus diasumsikan linier sebanding dengan kedalaman tanah sebagai berikut:

$$p = k\gamma_s Z. \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

p : adalah tekanan tanah lateral (kPa)

k : adalah koefisien tekanan tanah lateral

bisa berupa k_o (koefisien tekanan tanah kondisi diam), atau

k_a (koefisien tekanan tanah kondisi aktif), atau

k_p (koefisien tekanan tanah kondisi pasif)

γ_s : adalah berat jenis tanah (kN/m³)

z : adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah.

Untuk tanah terkonsolidasi normal, dinding vertikal, dan permukaan tanah, koefisien tekanan tanah lateral dalam kondisi diam dapat diambil sebagai:

$$k_o = 1 - \sin\phi_f \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan;

ϕ_f : adalah sudut geser efektif tanah

k_o : adalah koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam

Nilai-nilai untuk koefisien tekanan tanah lateral aktif dapat diambil sebagai berikut:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma[\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)]} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan,

$$\Gamma = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_f + \delta) \sin(\phi'_f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2 \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

δ : adalah sudut geser antara ukuran dan dinding ($^\circ$), nilai δ diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengaju pada Tabel 2.6

β : adalah sudut pada urutan terhadap garis horizontal ($^\circ$)

θ : adalah sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal ($^\circ$)

ϕ'_f : adalah sudut geser efektif ($^\circ$)

Tabel 2.9 Sudut Geser Berbagai Material* (*US Department of the Navy, 1982a*)

Material	Sudut geser δ ($^\circ$)
Beton pada material pondasi sebagai berikut:	
• Batuan	35
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, pasir kasar	29-31
• Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung	24-49
• Pasir halus, pasir kelanauan atau berlempung halus hingga medium	19-24

<ul style="list-style-type: none"> • Lanau kepasiran halus, lanau non plastis 	17-19
<ul style="list-style-type: none"> • Lempung prakonsolidasi atau residual yang sangat teguh dan keras 	22-26
<ul style="list-style-type: none"> • Lempung agak teguh hingga lempung teguh, dan lempung kelanauan 	17-19
Pasangan bata pada material pondasi memiliki faktor geser yang sama	
Turap baja terhadap tanah berikut:	
<ul style="list-style-type: none"> • Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan 	22
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, campuran –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal 	17
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung 	14
<ul style="list-style-type: none"> • Lanau kepasiran halus, lanau non plastis 	11
Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut:	
<ul style="list-style-type: none"> • Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi oecahan 	22-26
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, campuran pasir –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal 	17-22
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung 	17
<ul style="list-style-type: none"> • Lanau kepasiran halus, lanau non plastis 	14
Berbagai material struktural:	
<ul style="list-style-type: none"> • Batu bata pada batu bata, batuan beku dan metaforf: <ul style="list-style-type: none"> - Batuan lunak pada batuan lunak - Batuan keras pada batuan lunak - Batuan keras pada batuan keras 	35
	33
	29
<ul style="list-style-type: none"> • Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang 	26
<ul style="list-style-type: none"> • Baja pada baja pada hubungan turap 	17
*: Sudut geser pada Tabel 2.9 hanya dapat digunakan bila tidak diperoleh data karakteristik tanah untuk mendukung analisa geoteknik	

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Untuk tanah kohesif, tekanan pasif dapat dihitung dengan:

$$p_p = k_p \gamma_s z + 2c\sqrt{k_p} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan

p : adalah tekanan tanah lateral pasif

γ_s : adalah berat jenis tanah (kN/m³)

z : adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah (m)

c : adalah kohesi tanah (kPa)

k_p : adalah koefisien tekanan tanah lateral pasif

d. Pengaruh terhadap pelaksanaan (*PL*)

Pengaruh terhadap pelaksanaan beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri, dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{PL}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PL}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

2.6.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan 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 lantai kendaraan.

a. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, 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. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan di masa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bias dilihat dalam Tabel 2.11. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.11 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	$5250 \leq w < 7500$	2

Median	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w < 8000$	2
	$8250 \leq w < 10,750$	3
	$11,000 \leq w < 13,500$	4
	$13,750 \leq w < 16,250$	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: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Berdasarkan Tabel 2.11 bila lebar bersih jembatan berkisar 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

b. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.7. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

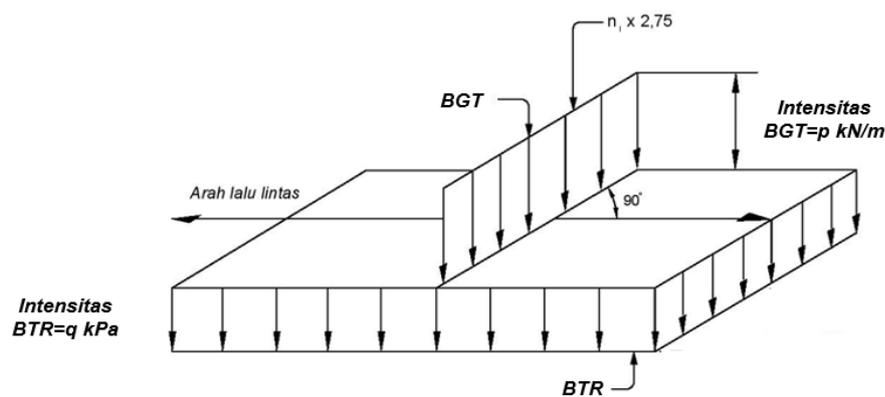
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

q : adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

**Gambar 2.7** Beban Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Beban garis terpusat (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. Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.7.

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.

c. Beban lajur “T” (TT)

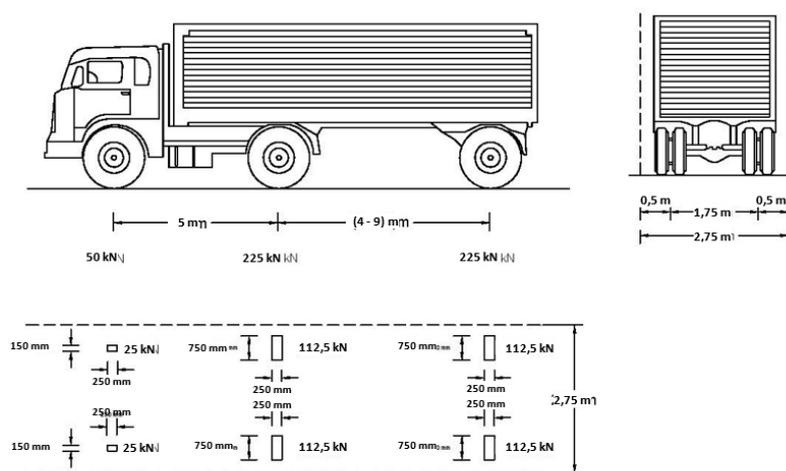
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.2. 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 2.8 Pembebanan Truk “T” (500 kN)
(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

d. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semi-permanen.

Faktor sebesar 70 % ditetapkan untuk BTR dan BGT, dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. 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 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 getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memiliki reaksi vertikal dari struktur atas jembatan dan komponen pondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

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 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 2.3. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}} \dots \dots \dots (2.17)$$

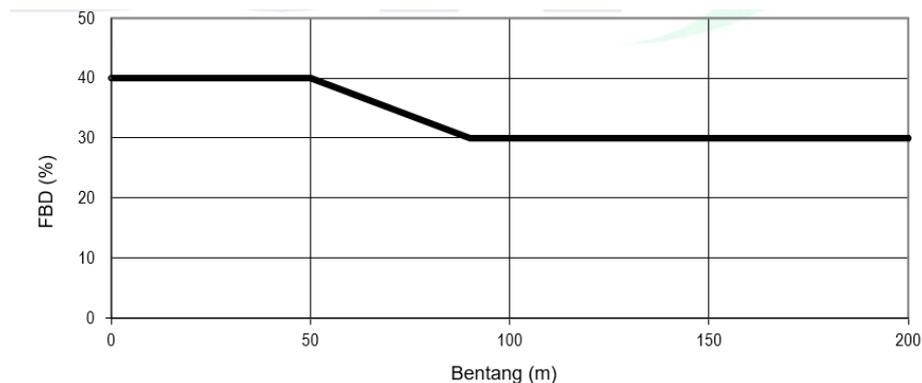
Keterangan:

L_{av} : adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{max} : adalah 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 pondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peraian 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 2.9 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

e. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25 % dari berat ganda truk desain, atau,
- 5 % dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing 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.

f. 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 berat gandar truk rencana dengan faktor *C* sebagai berikut:

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

v : adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

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

g : adalah percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik²)

R_l : adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

g. Pembebanan untuk pejalan kaki (*TP*)

Semua komponen trotoar yang lebih dari lebar 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada 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.

h. Beban akibat tumbukan kendaraan (TC)

Tumbukan kendaraan dengan jembatan tidak perlu ditinjau jika struktur sudah dilindungi dengan salah satu pelindung sebagai berikut:

- Tanggul;
- Palang independen setinggi 1370 mm yang tahan tumbukan dipasang pada permukaan tanah dalam jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi; atau
- Parapet dengan tinggi 1070 mm dipasang minimal 3000 mm dari bagian jembatan yang dilindungi.

Kecuali jembatan dilindungi dengan pelindung jembatan, semua kepala jembatan dan pilar dengan dalam jarak 9000 mm dari tepi jalan, atau dalam jarak 15000 mm dari sumbu rel harus direncanakan untuk mampu memikul beban statik ekuivalen sebesar 1800 kN yang diasumsikan mempunyai arah sembarang dalam bidang horizontal, bekerja pada ketinggian 1200 mm diatas permukaan tanah.

i. Beban fatik

Beban fatik merupakan satu beban truk dengan tiga gandar, dimana jarak gandar tengah dan gandar belakang merupakan jarak yang konstan sebesar 5000 mm. Faktor beban dinamis yang ditentukan harus digunakan dalam menghitung beban fatik.

Frekuensi beban fatik harus diambil sebesar Lalu Lintas Harian (LHR) untuk satu lajur lalu lintas rencana. Frekuensi ini harus digunakan untuk semua komponen jembatan untuk komponen jembatan yang memikul jumlah truk yang kebuh sedikit. Jika tidak ada informasi yang lebih lengkap dan akurat, maka perencana dapat menentukan jumlah truk harian rata-rata untuk satua jalur sebesar.

$$LHR_{SL} = p_t \times LHR \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

LHR : adalah jumlah truk rata-rata per hari dalam satu arah selama umur rencana.

LHR_{SL} : adalah jumlah truk rata-rata per hari dalam satu lajur selama umur rencana

p_t : adalah fraksi truk dalam satu lajur sesuai Tabel 2.14

Tabel 2.14 Fraksi Lalu Lintas Truk dalam Satu Lajur (p)

Jumlah lajur truk	p_t
1	1,00
2	0,85
3 atau lebih	0,80

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

2.6.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab lainnya alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis 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.

a. Penurunan (ES)

Jembatan yang direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.15

Tabel 2.15 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{ES}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{ES}^U)
Permanen	1,00	N/A

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

b. Temperatur (EUn)

Perbedaan antara temperatur minimum dan temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum ditentukan dalam Tabel 2.16 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}). \quad (2.20)$$

Keterangan:

L : adalah panjang komponen jembatan (mm)

α : adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 2.16 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum ⁽¹⁾	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 di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	45°C
Catatan ⁽¹⁾ : Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

c. Pengaruh susut dan rangkak (SH)

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya transfer dari beton prategang).

Tabel 2.17. Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{SH}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{SH}^U)
Tetap	1,00	0,5
Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.		

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

d. Pengaruh prategang (*PR*)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.18).

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2.18 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{PR}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PR}^U)
Tetap	1,00	1,0

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

e. Beban Angin (EW)

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

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

- V_{DZ} : adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
- V_{10} : adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B : adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan (km/jam)
- Z : adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_o : adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_o : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.19 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2.19 Nilai V_o dan Z_o untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o	13,2	17,6	19,3
Z_o	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

P_B : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.20

Tabel 2.20 Tekanan Angin Dasar

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

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 di dalam 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 2.21 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.21 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan pada Jembatan)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan batas kuat II dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

f. Pengaruh gempa (E_Q)

Beban gempa yang diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan:

E_Q : adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : adalah koefisien respons gempa elastis

R_d : adalah faktor modifikasi respons

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

Koefisien respon C_{sm} 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.

2.6.4 Aksi-Aksi Lainnya

a. Gesekan pada perletakan (BF)

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekuatan 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).

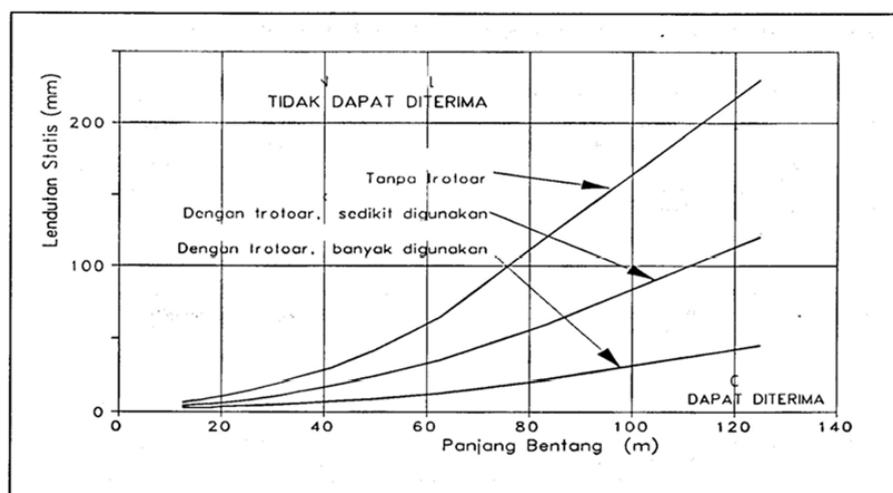
Tabel 2.22 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

Jangka waktu	Faktor Beban		
	(γ_{BF}^S)	(γ_{BF}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,00	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: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

b. Pengaruh getaran

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 pada Gambar 2.10 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada pejalan kaki.



Gambar 2.10 Lendutan Akibat Getaran Jembatan

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

c. Beban pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri, dan;
- Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

Perencana harus membuat toleransi untuk berat perancah atau yang mungkin akan dipikul oleh bangunan sebagai hasil dari metode atau urutan pelaksanaan. Perencana harus memperhitungkan adanya gaya yang timbul selama pelaksanaan dan stabilitas serta daya tahan dari bagian-bagian komponen. Apabila rencana tergantung pada metode pelaksanaan, struktur harus mampu menahan semua beban pelaksanaan secara aman.

Perencana harus menjamin bahwa tercantum cukup detail ikatan dalam gambar untuk menjamin stabilitas struktur pada semua tahap pelaksanaan. Cara dan urutan pelaksanaan, dan tiap tahanan yang terdapat dalam rencana, harus diperinci dengan jelas dalam gambar dan spesifikasi. Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan. Perencana harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan. Tidak perlu untuk mempertimbangkan pengaruh gempa selama pelaksanaan konstruksi.

2.7 Metode Perhitungan Jembatan

2.7.1 Lantai Kendaraan

a. Tebal pelat lantai

Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum T_s memenuhi kedua ketentuan:

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$T_s \geq (100+40.l) \text{ mm} \dots\dots\dots(2.25)$$

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

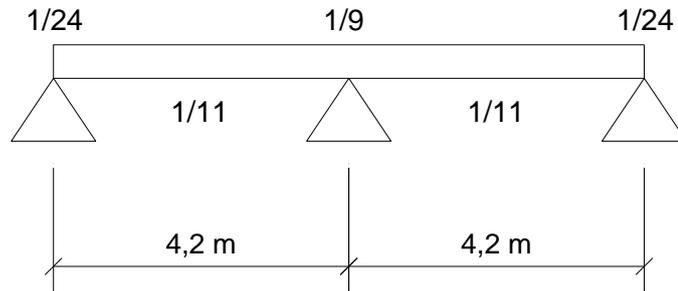
Keterangan:

T_s : tebal pelat lantai

l : bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (meter)

b. Pembebanan

1. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh q_{DLult} . Pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah. Untuk menentukan koefisien momen pada lantai kendaraan arah X dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11. Koefisien Momen pada Lantai Kendaraan Arah X

Momen lapangan adalah:

$$M_{lx} = 1/11 \times q_D \times L^2 \dots\dots\dots(2.26)$$

Momen tumpuan adalah:

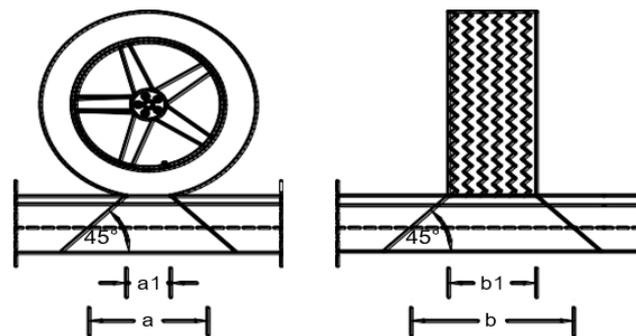
$$M_{tx} = 1/9 \times q_D \times L^2 \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Berat dari kendaraan bergerak (muatan T) beban *truck*.

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T$$

Jadi, pembebanan *truck*:

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



Gambar 2.12 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

c. Penulangan,

Berdasarkan RSNI T-12-2004, syarat As minimum untuk penulangan:

$$A_{s_{min}} = \frac{1,0}{f_y} b d \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan $\rho_{min} = \frac{1,0}{f_y}$ untuk pelat

2.7.2 Parapet

Parapet yang dipasang pada sisi kiri dan sisi kanan jembatan digunakan untuk keamanan kendaraan dan sebagai pembatas jembatan agar pengguna jalan lebih nyaman dalam berkendara. Parapet pinggir merupakan konstruksi beton bertulang.

a. Pembebanan

1. Beban mati terdiri atas berat sendiri parapet, dan berat pipa saluran.
2. Beban hidup yang digunakan pada parapet memakai beban hidup kerb, yaitu sebesar 15 kN/m dikarenakan parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan atau sama dengan fungsi kerb.

b. Penulangan

Berdasarkan RSNI T-12-2004, syarat A_s minimum untuk penulangan:

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} b d \dots\dots\dots (2.25)$$

2.7.3 Gelagar Memanjang *Steel Box Girder*

Gelagar memanjang direncanakan sebagai gelagar komposit memakai *steel box girder* dan dianggap sebagai balok dengan dua tumpuan. Momen yang diperhitungkan adalah pada saat sebelum dan sesudah komposit.

a. Pembebanan

1. Beban mati, terdiri atas beban aspal, beban pelat lantai, dan beban air hujan.
2. Beban hidup, terdiri atas beban teragi rata (BTR), beban garis terpusat (BGT).

b. Kontrol kekuatan profil sebelum komposit

Periksa kekompakan profil berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* Edisi Ke-5 Tahun 2010 Pasal 6.10.2

- *Web proportion with longitudinal stiffener*

$$\lambda = \frac{D_w}{t_w} \leq 300 \dots \dots \dots (2.26)$$

- *Flange proportion*

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \leq 12 \dots \dots \dots (2.27)$$

$$b_{tf} \geq \frac{D_w}{6} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w \dots \dots \dots (2.29)$$

$$M_{total} = M_{DL} \text{ maks} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$M_n = Z_x \times f_y \dots \dots \dots (2.31)$$

Periksa apakah $M_{total} < \phi M_n$, dengan $\phi = 0,90$. Jika iya maka dimensi gelagar aman.

c. Kontrol kekuatan setelah komposit

$$M_{total} = M_{DL} \text{ maks} + M_{LL} \text{ maks} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$M_n = (C_c \times Z_1) + (C_s \times Z_2) \dots \dots \dots (2.33)$$

Periksa apakah $M_{total} < \phi M_n$, dengan $\phi = 0,85$. Jika iya maka dimensi gelagar aman.

d. Kontrol terhadap tegangan geser

$$V_{total} = D_{total} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \dots \dots \dots (2.35)$$

Periksa apakah $V_{total} < \phi V_n$, dengan $\phi = 0,90$. Jika iya maka dimensi gelagar aman terhadap geser.

e. Perhitungan konektor geser (*shear connector*)

Periksa rasio tinggi dan diameter stud berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* Pasal 6.6.2.2.2.

$$\frac{h_{sc}}{d_{sc}} \geq 4,0 \dots \dots \dots (2.36)$$

Karena PNA berada pada profil baja, maka gaya geser total adalah:

$$FG = 0,85 \times f'c \times be \times hf \dots\dots\dots(2.37)$$

Kekuatan satu konektor geser (stud)

$$Qn = 0,5 \times Asc \times \sqrt{f'c \times Ec} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$\text{dengan } Ec = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

Jarak *Transverse Spacing* (L) dan *Pitch* (s) berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* Edisi Ke-5 Tahun 2010

$$Transverse \ Spacing \ (L) \geq 4,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$Pitch \ minimum \ (S_{min}) \geq 6,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$Pitch \ maximum \ (S_{max}) \geq 6,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots(2.41)$$

2.7.4 Sambungan Baut pada *Steel Box Girder*

Pada gelagar memanjang *steel box girder*, terdapat sambungan baut. Baut yang digunakan adalah baut bermutu tinggi dan perhitungannya berpedoman ke *Australian Standard* (AS 4100 – 1998) pada *Section 9 Connections* mengenai sambungan. Lalu dihitung nilai kekuatan geser baut, kekuatan tumpu baut, dan kekuatan friksi baut.

Kekuatan Geser Baut, terdapat pada ayat 9.3.2.1

$$Rn = 0,62 \times f_{uf} \times k_r \times n_n \times A_b \dots\dots\dots(2.42)$$

Kekuatan Tumpu Baut, terdapat pada ayat 9.3.2.4

$$Rn = 3,20 \times d_b \times f_{up} \times t_{pl} \dots\dots\dots(2.43)$$

Kekuatan Friksi Baut, terdapat pada ayat 9.3.3.1

$$Rn = \mu \times n_{ei} \times N_{ti} \times k_h \dots\dots\dots(2.44)$$

$$\text{dengan nilai } \emptyset Rn = 0,70 \times Rn \dots\dots\dots(2.45)$$

a. Menentukan Jumlah Baut pada *Web Girder*

Pada *web girder*, untuk menentukan jumlah baut digunakan perbandingan antara nilai geser ultimit (V_u) dan geser layan ($\emptyset V_n$) terhadap nilai $\emptyset R_n$ yang menentukan dari ketiga kondisi.

b. Menentukan Jumlah Baut pada *Bottom Flange*

Pada *bottom flange*, untuk menentukan jumlah baut digunakan perbandingan antara nilai *tension* (tarik) ultimit dan *tension* (tarik) layan terhadap nilai ϕR_n yang menentukan dari ketiga kondisi.

2.7.5 Diafragma

Diafragma berada melintang di antara gelagar utama. Menggunakan konstruksi baja, diafragma berfungsi sebagai pengaku gelagar utama. Pada diafragma, dihitung panjang bentang untuk pengekangan lateral atau L_p plastis (L_p) berdasarkan RSNI T-03-2005 Halaman 34.

Profil diasumsikan sebagai profil kotak pejal atau berongga, sehingga:

$$L_p = 0,13 E r_y \frac{\sqrt{J_A}}{M_p} \dots\dots\dots(2.46)$$

2.7.6 Perletakan

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

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. Spesifikasi elastomer yang digunakan berdasarkan *Bridge Design Manual Volume 1*, Bagian 7 Perencanaan Perletakan dan Hubungan Lantai.

2.7.7 Abutment

Pembebanan abutment, terdiri dari:

- a. Beban Sendiri (MS)
- b. Beban Mati Tambahan (MA)
- c. Beban Lajur "D" (TD)
- d. Gaya Rem (TB)
- e. Beban Pejalan Kaki (TP)
- f. Beban Angin Struktur (EW_S)
- g. Beban Angin Kendaraan (EW_L)
- h. Pengaruh Temperatur (ET)
- i. Beban Gempa (EQ)
- j. Gesekan pada Perletakan (BF)
- k. Beban Pelaksanaan (PL)

Pada perhitungan kombinasi pembebanan abutment, digunakan 5 kombinasi beban yaitu Kuat I, Kuat III, Kuat V, Ekstrem I, dan Layan I. Dengan rincian kombinasi pembebanan sebagai berikut:

- a. Kombinasi Kuat I
 - Beban Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)
 - Beban Pelaksanaan (PL)
 - Beban Lajur "D" (TD)
 - Gaya Rem (TB)
 - Beban Pejalan Kaki (TP)
 - Gesekan pada Perletakan (BF)
 - Pengaruh Temperatur (ET)
- b. Kombinasi Kuat III
 - Beban Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)

- Beban Pelaksanaan (PL)
 - Beban Angin Struktur (EW_s)
 - Gesekan pada Perletakan (BF)
 - Pengaruh Temperatur (ET)
- c. Kombinasi Kuat V
- Beban Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)
 - Beban Pelaksanaan (PL)
 - Beban Angin Struktur (EW_s)
 - Beban Angin Kendaraan (EW_L)
 - Gesekan pada Perletakan (BF)
 - Pengaruh Temperatur (ET)
- d. Kombinasi Ekstrem I
- Beban Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)
 - Beban Pelaksanaan (PL)
 - Beban Lajur “D” (TD)
 - Gaya Rem (TB)
 - Beban Pejalan Kaki (TP)
 - Gesekan pada Perletakan (BF)
 - Beban Gempa (EQ)
- e. Kombinasi Layan I
- Beban Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)
 - Beban Pelaksanaan (PL)
 - Beban Lajur “D” (TD)
 - Gaya Rem (TB)
 - Beban Pejalan Kaki (TP)
 - Beban Angin Struktur (EW_s)
 - Beban Angin Kendaraan (EW_L)

- Gesekan pada Perletakan (BF)
- Pengaruh Temperatur (ET)

Kontrol stabilitas pembebanan abutment:

a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{M_T}{M_{GL}} < 1,5. \dots\dots\dots(2.47)$$

b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu v}{M} < 1,5 \dots\dots\dots(2.48)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} < 2,0 \dots\dots\dots(2.49)$$

Bila abutment tidak aman terhadap stabilitas, maka abutment tersebut memerlukan pondasi atau bangunan pendukung lainnya.

2.7.8 Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang terbuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah (Joseph, 1983). Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan serta bebannya, dan letaknya sangat dalam.

Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pada umumnya, tiang pancang dipancangkan tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancangkan miring (*batter pile*), (Ir. Sardjono HS, 1988).

Pondasi tiang pancang dapat dibedakan menjadi:

1. Tiang pancang yang dipancang masuk sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan tahanan ujungnya. Tiang pancang tipe ini disebut *end bearing pile point bearing pile*. Untuk tiang pancang tipe ini ujung tiang pancang harus terletak pada lapisan tanah keras.
2. Apabila tiang pancang tidak mencapai lapisan tanah keras, maka untuk menahan beban yang diterima tiang pancang, mobilisasi tahanan sebagian besar ditimbulkan oleh gesekan antara tiang pancang dengan tanah (*skin friction*). Tiang pancang ini disebut *friction pile*.

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah.

Pengangkatan tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10% dari kekuataun tekannya. Pengangkatan dilakukan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1%.

Kekuatan/daya dukung tanah pada umumnya dapat diketahui melalui berbagai usaha berikut:

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait.
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi di sekitarnya.
3. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.

Perhitungan daya dukung izin pondasi dilakukan berdasarkan:

1. Kekuatan bahan tiang pancang

$$Q_{\text{tiang}} = 0,3 \times f'c \times A_{\text{tiang}} \dots\dots\dots (2.50)$$

2. Metode Meyerhoff (1956), menggunakan nilai N-SPT

$$Q_{\text{ult}} = 40 \times N_b \times A_p + 0,2 \times \bar{N} \times A_s \dots\dots\dots (2.51)$$

Berdasarkan Direktorat Bina Marga Pekerjaan Umum mengisyaratkan jarak antar tiang $2D \leq S \leq 6D$ atau $0,8 \text{ m} \leq S \leq 2,4 \text{ m}$.

2.8 Estimasi Biaya Proyek

2.8.1 Daftar Harga Satuan dan Upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan bahan dan upah adalah satuan harga yang termasuk pajak-pajak.

2.8.2 Analisa Satuan Harga Pekerjaan

Analisa satuan harga pekerjaan adalah perhitungan-perhitunganbiayayang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam satu proyek (Asiyanto, 2008). Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap – tiap pekerjaan yang ada. Dari harga-harga yang terdapat di dalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

1. Analisa satuan harga pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan harga satuan bahan dan upah.

2. Analisa satuan alat berat, perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu:
 - a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
 - b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

2.8.3 Perhitungan Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada di dalam suatu proyek.

2.8.4 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat, dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Dalam menyusun anggaran biaya dapat dilakukan dengan dua cara sebagai berikut ini:

1. Anggaran biaya kasar (taksiran), sebagai pedoman dalam menyusun anggaran biaya kasar digunakan harga satuan tiap meter persegi (m²) luas lantai. Anggaran biaya kasar dipakai sebagai pedoman terhadap anggaran biaya yang dihitung secara teliti.

2. Anggaran biaya teliti, ialah anggaran biaya bangunan atau proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat, sesuai dengan ketentuan dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya. Pada anggaran biaya kasar sebagaimana diuraikan terdahulu, harga satuan dihitung berdasarkan harga taksiran setiap luas lantai m². Taksiran tersebut haruslah berdasarkan harga yang wajar, dan tidak terlalu jauh berbeda dengan harga yang dihitung secara teliti.

2.8.5 Rekapitulasi Biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya.

2.9 Manajemen Proyek

2.9.1 Definisi Manajemen Proyek

Menurut Bambang Pujiyono (2004:24) manajemen proyek adalah manajemen yang diterapkan pada suatu proyek untuk mencapai suatu hasil tertentu, atau, manajemen proyek adalah suatu ilmu dan seni untuk mengadakan perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), pengarahan (*directing*), pengoordinasian (*coordinating*), dan mengadakan pengawasan (*controlling*) terhadap orang dan barang untuk mencapai tujuan tertentu dari suatu proyek. Dengan pengertian tersebut jelaslah bahwa semua fungsi manajemen harus dipakai untuk mengelola suatu proyek, agar tujuan yang diinginkan oleh proyek tersebut dapat tercapai dengan lancar. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya di dalam pengelolaan proyek terkandung pula ketiga unsur manajemen yaitu :

1. Ada suatu tujuan tertentu yang ingin dicapai (tujuan diadakannya proyek tersebut).
2. Ada proses kegiatan untuk mencapai tujuan tertentu tersebut.
3. Ada (memerlukan) bantuan orang dalam proses kegiatan tersebut.

Dengan demikian terhadap suatu proyek diperlukan pula adanya perencanaan proyek yang baik, adanya pengorganisasian proyek yang baik, adanya pengarahan yang baik, adanya pengoordinasian yang baik, serta pengawasan yang baik agar tujuan proyek bisa tercapai.

Manajemen proyek juga dapat dikatakan sebagai suatu proses dari perencanaan, pengaturan, kepemimpinan, dan pengendalian dari suatu proyek oleh para anggotanya dengan memanfaatkan sumber daya seoptimal mungkin untuk mencapai sasaran yang telah ditentukan. Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya dan mutu. Pengelolaan aspek-aspek tersebut dengan benar merupakan kunci keberhasilan dalam penyelenggaraan suatu proyek konstruksi.

Manajemen proyek merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip manajemen dalam mengelola suatu proyek. Dalam konsep manajemen, diasumsikan bahwa sumber daya manajemen sangat terbatas. Secara umum, sumber daya manajemen terdiri dari material, sumber daya manusia, modal uang, metode kerja, pasar, dan sebagainya.

Keterbatasan sumber daya tersebut meski bisa menjadi kendala, namun bukan berarti tidak bisa dihindari. Keterbatasan sumber daya itu dapat diefisienkan penggunaannya melalui prinsip-prinsip manajemen. Prinsip-prinsip manajemen inilah yang dapat digunakan untuk mencapai tujuan proyek secara efektif dan efisien.

Kerzner (1982) memberikan definisi manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisasikan, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh, manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hierarki baik vertikal maupun horizontal.

Berdasarkan definisi di atas, konsep manajemen proyek mencakup beberapa hal sebagai berikut. Pertama, menggunakan prinsip manajemen dengan dukungan sumber daya perusahaan. Kedua, untuk mencapai tujuan jangka pendek yang telah digariskan. Ketiga, menggunakan pendekatan sistem. Keempat, mempunyai arus kegiatan secara vertikal dan horizontal.

Suatu aktivitas manajemen yang memiliki konsep dari awal sampai akhir. Sebab manajemen proyek selalu dilihat sebagai akhir yang terbatas, fokusnya berupa kompletasi dari jadwal kegiatan. Tujuan manajemen proyek adalah melengkapi proyek sebelum atau pada waktu, pada atau biaya rendah, dan dalam spesifik terkecuali *performance*.

Manajemen proyek dapat disebut manajemen program, manajemen produk, dan manajemen konstruksi dalam hubungan relasi yang lebih luas. Tiap-tiap faktor secara fundamental berkait dengan kesuksesan manajemen proyek. Secara bersama mewakili karakteristik manajemen proyek.

1. Kelengkapan proyek dalam alokasi sumber daya biaya dalam manajemen proyek.
2. Kelengkapan proyek dalam jadwal. Faktor waktu dalam manajemen proyek. Kelengkapan dalam kriteria eksplisit, standarisasi dan spesifikasi. Hal ini merupakan faktor kinerja dalam manajemen proyek.

Prinsip-prinsip manajemen proyek mencakup gambaran fokus suatu proyek, penghargaan terhadap kegiatan produksi, tercakup dalam fungsi organisasi, mengikuti perubahan teknologi, pengendalian dan perencanaan terhadap semua aktivitas, mencakup otoritas, sumber daya, dan tanggungjawab, interaksi waktu, anggaran, dan kualitas kerja, proses fungsi organisasi, kerja sama dalam suatu tim kerja, dan berorientasi kepada konsumen.

2.9.2 Rencana Kerja dan Rencana Lapangan

Menurut Husein Umar (2009:65) Rencana kerja adalah suatu proses yang tidak pernah berakhir, apabila rencana telah ditetapkan, maka dokumen mengenai perencanaan yang terkait harus diimplementasikan. Karena perencanaan atau rencana kerja adalah pemilihan sekumpulan kegiatan dan pengambilan keputusan tentang apa yang harus dilakukan, kapan, bagaimana, dan oleh siapa. Rencana kerja adalah kegiatan atau pekerjaan-pekerjaan yang akan dilaksanakan pada tahap pelaksanaan proyek.

Rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) adalah dokumen yang berisikan keterangan proyek berikut penjelasannya, berupa nama, jenis, lokasi, waktu, tata cara pelaksanaan, syarat-syarat pekerjaan, syarat mutu pekerjaan dan keterangan-keterangan lain yang dapat dijelaskan dalam bentuk tulisan. RKS biasanya diberikan bersamaan dengan gambar yang kesemuanya menjelaskan mengenai proyek yang akan dilaksanakan.

Rencana lapangan merupakan suatu dokumen yang memuat mengenai rencana dari suatu kegiatan dalam proses eksekusinya di lapangan. Secara lebih rinci dibidang konstruksi, rencana lapangan juga berarti suatu rencana perletakan bangunan-bangunan pembantu yang bersifat temporal yang diperlukan sebagai sarana pendukung untuk pelaksanaan pekerjaan.

2.9.3 *Schedulling dan Network Planning*

Schedulling atau penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen hasil perencanaan, yang dapat memberikan informasi tentang jadwal rencana dan kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya berupa biaya, tenaga kerja, peralatan, dan material serta rencana durasi proyek dan progress waktu untuk penyelesaian proyek.

Pendapat lain menyatakan bahwa penjadwalan proyek dapat didefinisikan sebagai waktu yang tersedia kepada pelaksanaan masing-masing bagian dalam rangka penyelesaian suatu proyek sedemikian rupa sehingga tercapai hasil yang optimal, dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada. Karena kompleksnya permasalahan dalam suatu proyek, maka pengelola proyek selalu ingin meningkatkan kualitas perencanaan proyek. Perencanaan (*time scheduling*) proyek didasarkan pada durasi (waktu) normal setiap kegiatan atau pekerjaan.

Network Planning atau jaringan kerja adalah suatu alat yang digunakan untuk merencanakan, menjadwalkan dan mengawasi kemajuan dari suatu proyek. *Network planning* juga dapat dikatakan sebagai hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (variables) yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram network.

Dengan demikian diketahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain agar tercapai efisiensi.

Network planning dikembangkan dari informasi yang diperoleh dan gambar diagram alir dari rencana proyek. Jaringan kerja ini menggambarkan beberapa hal sebagai berikut:

- Kegiatan-kegiatan proyek yang harus dilaksanakan
- Urutan kegiatan yang logis
- Ketergantungan antar kegiatan
- Waktu kegiatan melalui kegiatan kritis

Menurut Nurhayati (2010:5) macam-macam *Network Planning* adalah sebagai berikut:

1. Metode diagram grafik (*Chart Method Diagram*), digunakan untuk perencanaan dan pengendalian proyek dalam bentuk diagram grafik.
2. Teknik manajemen jaringan (*Network Management Technique*), digunakan untuk perencanaan dan pengendalian proyek berbasis teknologi informasi.
3. Prosedur dalam penilaian program (*Program Evaluation Procedure*), digunakan untuk merencanakan, mengendalikan, dan menilai kemajuan suatu program.
4. Analisis jalur kritis (*Critical Path Analysis*), digunakan untuk penjadwalan dan mengendalikan sumber daya proyek.
5. Metode jalur kritis (*Critical Path Method*), digunakan untuk menjadwalkan dan mengendalikan proyek yang sudah pernah dikerjakan sehingga data, waktu, dan biaya setiap unsur kegiatan telah diketahui oleh evaluator.
6. Teknik menilai dan meninjau kembali (*Program Evaluation and Review Technique*), digunakan pada perencanaan dan pengendalian proyek yang belum pernah dikerjakan.

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses penyusunan jaringan kerja adalah:

1. Urutan pekerjaan yang logis
Harus disusun pekerjaan apa yang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum dimulainya pekerjaan lain dan pekerjaan apa kemudian yang mengikutinya.
2. Taksiran waktu penyelesaian setiap pekerjaan
Biasanya memakai waktu rata-rata berdasarkan pengalaman. Jika proyek tersebut merupakan proyek yang baru maka diberikan *slack* atau kelonggaran waktu.
3. Biaya untuk mempercepat pekerjaan
Hal ini berguna apabila pekerjaan-pekerjaan yang berada di jalur kritis ingin dipercepat agar seluruh proyek segera selesai, misalnya biaya-biaya lembur, biaya menambah tenaga kerja dan sebagainya.

Dalam menyusun jaringan kerja, terdapat simbol-simbol yang digunakan beserta fungsinya, yaitu:

- a. Anak panah
Simbol anak panah ini menunjukkan sebuah kegiatan atau aktivitas. Kegiatan adalah segala tindakan yang memakan waktu tertentu dalam pemakaian atau penggunaan sejumlah material, tenaga kerja, serta peralatan produksi (*resources*) yang ada. Kepala anak panah menunjukkan bahwa suatu kegiatan dimulai pada permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan arah dari kiri ke kanan.
- b. Lingkaran
Simbol lingkaran menunjukkan suatu kejadian (*event*), baik kejadian atas berakhir atau selesainya suatu kegiatan tertentu atau kejadian dimulainya kejadian yang lain jadi dalam hal ini berarti bahwa satu simbol lingkaran itu sekaligus menunjukkan dua buah kejadian yaitu, kejadian selesainya kegiatan yang satu serta dimulainya kegiatan yang

lain. Titik awal dan akhir dari sebuah kegiatan karena itu dijabarkan dengan dua kejadian yang biasanya dikenal sebagai kejadian kepala dan ekor. Kegiatan-kegiatan yang berawal dari saat kejadian tertentu tidak dapat dimulai sampai kegiatan-kegiatan yang berakhir pada kejadian yang sama diselesaikan.

c. Anak panah putus-putus

Simbol anak panah yang terputus-putus menunjukkan kegiatan semu (*dummy activity*), yang digunakan untuk memperbaiki logika ketergantungan dari gambar *diagram network*.

Kegiatan semu ini memiliki tiga sifat, yaitu:

1. Waktu yang digunakan untuk melakukan kegiatan tersebut relatif sangat pendek dibandingkan dengan kegiatan biasa. Oleh karena itu maka kegiatan semu ini dianggap tidak memerlukan waktu.
2. Menentukan boleh tidaknya kegiatan selanjutnya dilakukan. Hal ini berarti bahwa apabila kegiatan semu itu belum selesai dikerjakan maka kegiatan selanjutnya belum boleh dimulai.
3. Dapat mengubah jalur kritis dan waktu kritis.

Terdapat aturan-aturan yang digunakan dalam menggambar *network planning*, yaitu sebagai berikut:

1. Di antara dua kejadian yang sama, hanya boleh digambarkan satu anak panah saja.
2. Nama suatu aktivitas dinyatakan dengan huruf atau dengan nomor kejadian.
3. Aktivitas harus mengalir dan kejadian bernomor rendah ke kejadian bernomor tinggi.
4. Diagram hanya memiliki sebuah saat paling cepat dimulainya kejadian (*initial event*) dan sebuah saat paling cepat diselesaikannya kejadian (*terminal event*).

Network planning sangat membantu dalam perencanaan dan penjadwalan suatu proyek. Menurut Handoko (2010), manfaat *network planning* adalah:

1. Perencanaan suatu proyek yang kompleks
2. *Schedulling* pekerjaan-pekerjaan sedemikian rupa dalam urutan yang praktis dan efisien.
3. Mengadakan pembagian kerja dari tenaga kerja dan dana yang tersedia.
4. *Schedulling* ulang untuk mengatasi hambatan dan keterlambatan.
5. Menentukan *trade off* (kemungkinan pertukaran) antara waktu dan biaya.
6. Menentukan probabilitas penyelesaian suatu proyek tertentu.

2.9.4 Barchart dan Kurva S

Perencanaan kerja dalam proyek konstruksi biasanya dapat dibuat dalam bentuk *Barchart* maupun Kurva S. Keduanya memiliki hubungan yang erat dengan jaringan kerja atau *network planning*.

Barchart juga sering disebut dengan metode bagan balok yang diperkenalkan oleh H.L. Gantt pada tahun 1917. *Barchart* disusun dengan maksud mengidentifikasi unsur waktu dan urutan dalam merencanakan suatu kegiatan, yang terdiri dari waktu mulai, waktu penyelesaian dan pada saat laporan. Metode *barchart* ini masih sering digunakan secara luas, baik berdiri sendiri maupun dikombinasikan dengan metode lain yang lebih canggih. Hal ini disebabkan oleh karena bagan balok (*barchart*) mudah dibuat dan dipahami sehingga amat berguna sebagai alat komunikasi dalam penyelenggaraan proyek (Imam Soeharto:1995,178).

Dari *network planning* dapat dibuat suatu *barchart* Adapun proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram I. Evrianto, 2005):

1. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.

2. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut di atas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan 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 berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan pada setiap item pekerjaan.

Kurva S merupakan bentuk dari grafik yang menggambarkan perbandingan perencanaan terhadap hasil pelaksanaan dengan penyimpangan yang ada dan pada umumnya berbentuk huruf S. Kurva S dibuat dengan sumbu X sebagai nilai kumulatif biaya atau jam, orang yang telah digunakan atau persentase (%) penyelesaian pekerjaan, sedangkan sumbu Y menunjukkan parameter waktu. Ini berarti menggambarkan kemajuan volume pekerjaan yang diselesaikan sepanjang siklus proyek. Bila grafik tersebut dibandingkan dengan grafik serupa yang disusun berdasarkan perencanaan dasar maka akan terlihat jika terjadi penyimpangan.

Kurva S dipakai sebagai laporan bulanan dan laporan kepada pimpinan proyek maupun pimpinan perusahaan karena grafik ini dapat dengan jelas menunjukkan kemajuan proyek dalam bentuk yang mudah dipahami. Kurva S ini juga dapat dikombinasikan dengan *barchat* (bagan balok). Berdasarkan Kurva S juga dapat dilihat apakah pekerjaan yang dilaksanakan lebih cepat dengan yang direncanakan atau mengalami keterlambatan dalam waktu pelaksanaannya.