

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Jembatan

Menurut Struyk dan Veen (1984) jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain berupa jalan air atau jalan lalu lintas biasa.

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

2.2. Jenis – Jenis Jembatan

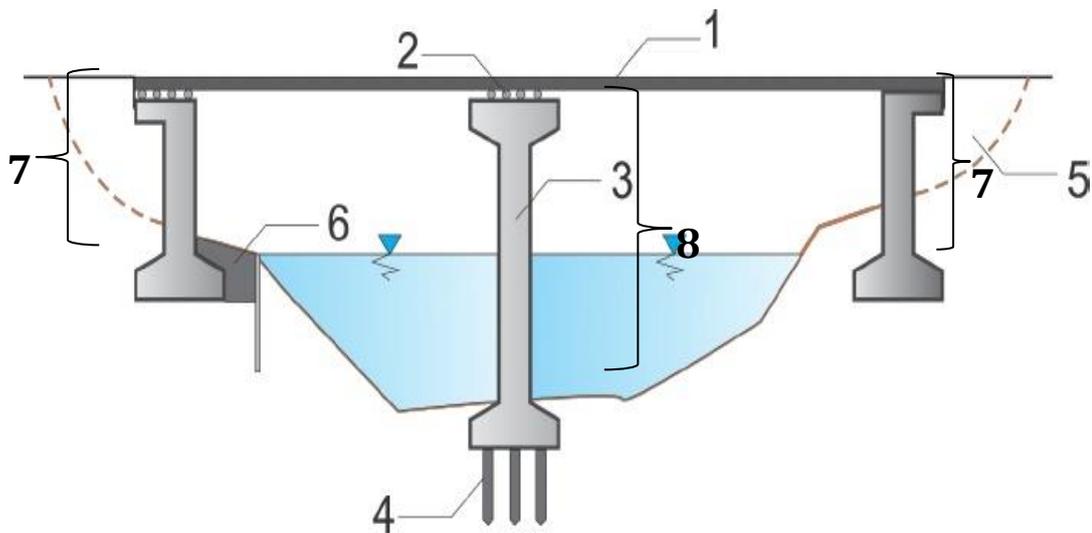
Jenis – jenis jembatan dapat dibedakan dalam beberapa klasifikasi diantaranya yaitu berdasarkan fungsi, bahan konstruksi, tipe struktur, lokasi, letak lantai jembatan, panjang bentang dan sebagainya. Menurut (Agus Iqbal Manu, 1995: 9) Jembatan dapat diklasifikasikan sebagai berikut ;

1. Berdasarkan fungsinya, jembatan dapat dibedakan sebagai berikut :
 - a) Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
 - b) Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
 - c) Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*)
2. Berdasarkan bahan konstruksi, jembatan dapat dibedakan sebagai berikut :
 - a) Jembatan kayu (*log bridge*)
 - b) Jembatan beton (*concrete bridge*)
 - c) Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)
 - d) Jembatan baja (*steel bridge*)
 - e) Jembatan komposit (*compossite bridge*)
3. Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan sebagai berikut :
 - a) Jembatan plat (*slab bridge*)
 - b) Jembatan plat berongga (*voided slab bridge*)

- c) Jembatan gelagar (*girder bridge*)
 - d) Jembatan rangka (*truss bridge*)
 - e) Jembatan pelengkung (*arch bridge*)
 - f) Jembatan gantung (*suspension bridge*)
 - g) Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
 - h) Jembatan kantilever (*cantilever bridge*)
4. Berdasarkan lokasi, jembatan dapat dibedakan sebagai berikut :
- a) Jembatan di atas sungai atau danau
 - b) Jembatan di atas lembah
 - c) Jembatan di atas jalan yang ada (*flyover*)
 - d) Jembatan di atas saluran irigasi atau drainase (*culvert*)
 - e) Jembatan di dermaga (*jetty*)
5. Berdasarkan panjang bentang jembatan, dibedakan sebagai berikut :
- a) Jembatan dengan bentang pendek (kurang dari 40 m)
 - b) Jembatan dengan bentang menengah (antara 40 m sampai 125 m)
 - c) Jembatan dengan bentang panjang (lebih dari 125 m)
6. Berdasarkan letak lantai jembatan, dapat dibedakan sebagai berikut :
- a) Jembatan lantai kendaraan di bawah (LLB)
 - b) Jembatan lantai kendaraan di atas (LLA)
 - c) Jembatan lantai kendaraan di tengah
 - d) Jembatan lantai kendaraan di atas dan di bawah (*double deck bridge*)
7. Berdasarkan bidang yang dipotong, jembatan dibedakan sebagai berikut :
- a) Jembatan tegak lurus
 - b) Jembatan lurus (*straight bridge*)
 - c) Jembatan lengkung (*curved bridge*)
8. Berdasarkan keawetan umur, jembatan dibedakan sebagai berikut :
- a) Jembatan sementara
 - b) Jembatan permanen
9. Berdasarkan tingkat kemampuan atau derajat gerak, sebagai berikut :
- a) Jembatan atap
 - b) Jembatan dapat digerakkan

2.3 Bagian Konstruksi Jembatan

Secara umum bagian konstruksi jembatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur atas (*upper structure*) dan struktur bawah (*sub Structure*). Sedangkan menurut Agus Iqbal Manu, (1995:4) jembatan terdiri dari beberapa bagian-bagian pokok seperti pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Bagian-bagian Konstruksi Jembatan

Keterangan gambar :

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. Bangunan atas | 5. Oprit |
| 2. Landasan | 6. Bangunan Pengaman |
| 3. Bangunan Bawah | 7. Pilar Jembatan |
| 4. Pondasi | 8. Abutment |

Berikut ini struktur-struktur yang ada pada bangunan jembatan adalah sebagai berikut;

1. Bangunan atas jembatan merupakan struktur yang terletak pada bagian-bagian atas suatu jembatan, berfungsi menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas orang, kendaraan, dan lain-lain kemudian menyalurkan kepada bangunan bawah jembatan.

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 bergerak (*movable bearing*).
3. Bangunan bawah adalah bangunan yang menerima beban dari bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi. Beban-beban tersebut selanjutnya oleh pondasi diteruskan ke tanah.
4. Pondasi yaitu 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*).
5. Oprit jembatan yaitu berupa timbunan tanah di belakang *Abutment* timbunan tanah ini harus dibuat sepadat mungkin, untuk menghindari terjadinya penurunan (*settlement*) karena jika terjadi penurunan kondisi jalan tidak akan nyaman bagi pengendara. Apabila ada penurunan maka akan 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*.
6. Bangunan pengaman jembatan, pada beberapa kondisi sungai yang cukup terjal diperlukannya bangunan pengaman agar *abutment* jembatan tetap aman.
7. Pilar jembatan berfungsi sebagai pendukung bangunan atas. Pilar biasanya ada pada suatu bangunan jembatan letaknya diantara kedua *abutment* dan jumlahnya tergantung keperluan, seringkali pilar tidak diperlukan.
8. *Abutment* adalah bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah.

Diantara struktur-struktur tersebut ada empat struktur yang selalu ada pada suatu bangunan jembatan, yaitu: bangunan atas, bangunan bawah, pondasi, dan oprit.

2.3.1 Struktur atas (*upper structure*)

Struktur atas jembatan adalah bagian jembatan yang menerima beban langsung baik dari berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, beban pejalan kaki yang selanjutnya disalurkan ke struktur bawah jembatan. Berikut ini merupakan bagian-bagian dari struktur atas rangka baja diantaranya :

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 berfungsi sebagai tempat pejalan kaki yang melewati jembatan. Konstruksi trotoar direncanakan sebagai pelat beton yang diletakkan pada lantai jembatan. Trotoar terdiri atas : sandaran (*hand rail*), Tiang sandaran (*rail post*), peninggian trotoar (*kerb*), dan slab lantai trotoar. Lebar trotoar minimum cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 0,5 – 1,5 meter dan dipasang dibagian kanan serta kiri jembatan.

3. Lantai jembatan

Lantai jembatan berfungsi sebagai lewatan dan penahan beban kendaraan lalu lintas. Lantai kendaraan merupakan lintasan utama yang dilalui kendaraan. Lantai jembatan berupa lantai beton (*concrete slab*) dan lantai aspal.

4. Rangka jembatan

Rangka jembatan yang super strukturnya terdiri dari elemen truss, struktur elemen yang terhubung biasanya berbentuk segitiga.

5. Penghubung geser (*shear connector*)

Penghubung geser (*shear connector*) memiliki fungsi dasar yaitu mentransfer gaya geser horizontal dan mencegah pemisahan secara vertikal yang terjadi antara pelat beton dan balok baja atau menjadikan antara baja dan lantai beton komposit, satu kesatuan.

6. *Expansion joint*

Expansion joint adalah untuk mengakomodasi gerakan yang terjadi pada bagian superstruktur jembatan. Salah satunya supaya *back wall* dengan lantai jembatan tidak terjadi keretakan maka tidak boleh satu kesatuan. Oleh karena itu dipasang *Expansion joint*. *Expansion joint* terbuat dari logam, karet, aspal karet (rubbertic asphalt), bahan pengisi (filler) atau bahan penutup (*sealant*) yang digunakan untuk sambungan antar struktur dan sesuai dengan gambar rencana. Menurut Modul / Materi Pelatihan BDE – 03 / Perencanaan Bangunan Atas Jembatan (2007) dalam memilih *Expansion joint* harus memperhatikan hal berikut :

- Tidak ada benda keras yang masuk ke dalam sambungan.
- Dibuat dari material yang awet/tahan lama.
- Mudah diperiksa dan dipelihara, bagian-bagian yang dapat aus harus mudah diganti.
- Tidak menimbulkan bunyi yang keras atau getaran pada saat dilewati kendaraan.
- Harus diberi sarana anti gelincir/slip pada permukaannya, jika lebar sambungan dalam arah memanjang cukup besar.
- Harus kedap air, untuk menghindarkan tertampungnya air, tanah, pasir dan kotoran (hanya untuk *expansion joint* tertutup).

7. *Concrete Barrier*

Concrete Barrier merupakan bagian atas jembatan yang dipasang di bagian tepi samping sepanjang bentang jembatan, yang berupa beton berfungsi sebagai pengaman untuk pejalan kaki yang lewat diatas trotoar dan juga pengaman.

8. Bondek

Bondek adalah material pelapis bawah cor lantai beton sebagai pengganti bekisting kayu (triplek).

9. Ikatan- ikatan (*bracings*)

Ikatan diperlukan untuk memberi kekakuan dalam arah melintang dan menjaga timbulnya torsi. Terdapat ikatan atas dan ikatan bawah. Ikatan angin

atas pada jembatan berfungsi untuk memberi kekuatan pada jembatan serta stabilisasi terhadap batang tepi atas yang tertekan dan meneruskan beban akibat angin kepada portal akhir atau landasan.

10. Balok Gelagar (*girder*)

Balok *girder* (balok memanjang) 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.

11. Balok diafragma

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

12. Plat buhul (*cord assembly*)

Plat buhul merupakan pengikat atau penyatu antara elemen-elemen dari struktur rangka batang (*truss*).

13. Perletakan jembatan (*bearing*)

Tumpuan (*bearing*) merupakan media yang berfungsi menyalurkan beban dari bangunan atas menuju bangunan bawah. *Bearing* ini dapat berupa bantalan jembatan terbuat dari bahan karet yang berfungsi juga untuk alat peredam benturan jembatan dengan pondasi.

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

1. Gelagar

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

2. Diafragma

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

3. Lantai

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

2.3.2 Struktur bawah (*sub structure*)

Struktur bawah jembatan adalah bagian jembatan yang menerima beban pada struktur atas dan juga beban pada struktur itu sendiri untuk disalurkan ke pondasi. Yang selanjutnya beban-beban tersebut oleh pondasi disalurkan ke tanah. Dalam perencanaan jembatan masalah bangunan bawah harus mendapat perhatian lebih, karena bangunan bawah merupakan salah satu penyanggah dan penyalur semua beban yang bekerja pada jembatan termasuk juga gaya akibat gempa, selain gaya-gaya tersebut pada bangunan bawah juga bekerja gaya-gaya akibat tekanan tanah dari oprit serta barang-barang hanyutan dan gaya-gaya sewaktu pelaksanaan (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Bagian-bagian struktur bawah jembatan meliputi :

1. Abutment atau kepala jembatan

Bangunan yang berfungsi untuk mendukung bangunan atas dan juga sebagai dinding penahan tanah. Bagian-bagian abutment terdiri dari : dinding belakang (*back wall*), dinding penahan (*breast wall*), dinding sayap (*wing wall*).

2. Pilar jembatan (Pier)

Letak pilar berada diantara kedua abutment dan jumlahnya tergantung keperluan, sering juga tidak diperlukan. Namun, apabila bentang sungai melebihi panjang maksimum jembatan tersebut maka dibutuhkan pilar. Fungsinya sebagai pendukung bangunan atas. Pilar terdiri dari bagian-bagian antara lain : kepala pilar, kolom pilar, dan pilcap.

3. Oprit jembatan

Berupa timbunan tanah dibelakang abutment. Timbunan ini harus dibuat sepadat mungkin untuk menghindari terjadinya penurunan (*settlement*).

4. Pelat injak (*approach slab*)

Dipasang di atas timbunan tanah (oprit) dan dibelakang abutment. Fungsinya untuk memberikan keamanan saat peralihan dari ruas jalan menuju jembatan dan sebaliknya.

5. Pondasi

Pondasi jembatan berfungsi meneruskan seluruh beban jembatan ke tanah dasar. Pembebanan pondasi terdiri atas pembebanan vertikal maupun lateral, dimana pondasi harus mampu menahan beban luar di atasnya maupun yang bekerja pada arah lateralnya. Maka pemilihan jenis pondasi sangat tergantung dari karakteristik tanah dasar di bawahnya, yang menentukan besarnya gaya dukung tanah dan penurunan yang terjadi.

a) Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal digunakan bila lapisan tanah pendukung yang keras terletak pada kedalaman maksimum 12 m dibawah pondasi. Beberapa jenis pondasi dangkal adalah sebagai berikut:

- 1) Pondasi langsung bila kedalaman tanah keras < 5 m
- 2) Pondasi sumuran, bila kedalaman tanah keras 5 – 12 m

b) Pondasi Dalam

Pondasi dalam digunakan bila kedalaman lapisan tanah pendukung yang keras > 12 m dibawah fondasi. Beberapa jenis fondasi dalam adalah sebagai berikut :

- 1) Pondasi tiang pancang : kayu, tiang baja, beton bertulang pracetak dan beton prategang.
- 2) Pondasi tiang bor (*bored pile*)

6. Dinding sayap (*Wing wall*)

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

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

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

2.4 Struktur Komposit

2.4.1 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).

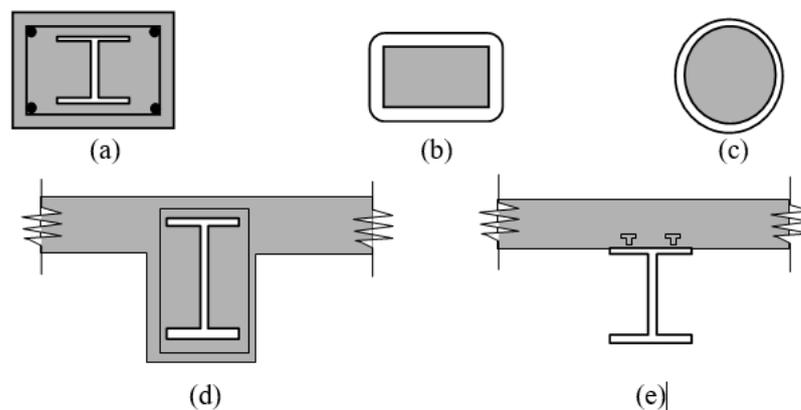
2.4.2 Konstruksi komposit

Konstruksi komposit adalah sebuah konstruksi yang bahan-bahannya merupakan perpaduan dari dua jenis material yang berbeda sifat, yang disatukan sedemikian rupa, sehingga bekerja sama dalam memikul beban. Konstruksi komposit bisa merupakan perpaduan antara baja dengan beton, kayu dengan beton, dan lain-lain. Konstruksi komposit dibuat sedemikian rupa dengan memanfaatkan keunggulan dari masing-masing bahan.

Dari kedua jenis bahan yang berbeda tadi, terutama dalam kemampuannya memikul gaya tarik dan gaya tekan. Hal ini pada umumnya dijumpai pada baja dan beton. Umumnya struktur komposit berupa :

1. Kolom baja terbungkus beton / balok baja terbungkus beton (Gambar 1.a/d)
2. Kolom baja berisi beton / tiang pancang (Gambar 1.b/c)
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar 1.e)

Macam – macam struktur komposit dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Macam-macam struktur Komposit.

Struktur ini adalah campuran dari 2 (dua) prinsip dalam menahan beban, yaitu balok baja (*steel beam*) mentransfer beban ke arah memanjang balok dan 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.

2.4.3 Proses kerja konstruksi komposit (*composite action*)

Aksi komposit terjadi apabila dua batang/bagian struktur pemikul beban, misalnya konstruksi lantai beton dan balok profil baja, dihubungkan secara komposit menjadi satu, sehingga dapat melentur secara bersamaan dan menyatu, dengan kata lain tidak terjadi gelincir diantara permukaan beton dan baja. Aksi komposit hanya dapat terjadi apabila anggapan-anggapan berikut ini dapat dipenuhi atau mendekati keadaan sebenarnya antara lain :

1. Lantai beton dengan balok profil baja dihubungkan dengan penghubung geser secara tepat pada seluruh bentangnya.
2. Gaya geser pada penghubung geser adalah sebanding secara proportional dengan beban pada penghubung geser.
3. Distribusi tegangan adalah linier disetiap penampang.
4. Lantai beton dan balok baja tidak akan terpisah secara vertikal dibagian manapun sepanjang bentangan.

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.

2.4.4 Kelebihan dan kekurangan struktur komposit

Bila dibandingkan dengan konstruksi non komposit, konstruksi komposit memberikan beberapa keuntungan, antara lain :

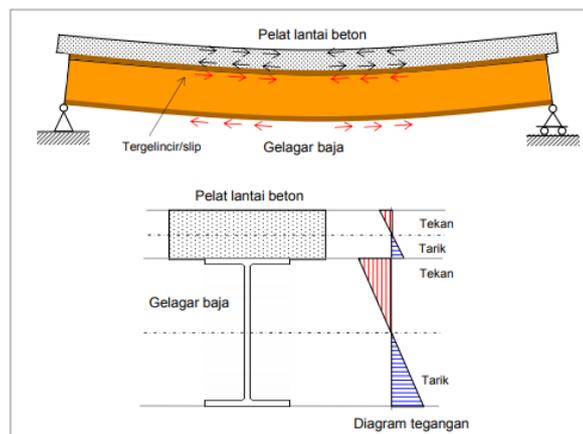
1. Profil baja dapat dihemat dibandingkan dengan balok non komposit.
2. Penampang atau tinggi profil baja lebih rendah, sehingga dapat mengurangi atau menghemat tinggi lantai (*storey height*) pada bangunan gedung dan tinggi ruang bebas pada bangunan jembatan.
3. Kekakuan lantai pelat beton bertulang semakin tinggi karena pengaruh komposit (menyatu dengan gelagar baja), sehingga pelendutan pelat lantai (komposit) semakin kecil / (Lebih kuat dan kaku).
4. Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar, artinya dengan sistem komposit baja dan beton, untuk penampang yang sama, mempunyai momen pikul yang lebih besar (Lebih ekonomis untuk bentang panjang).
5. Lebih mudah dan cepat pelaksanaannya.
6. Struktur lebih ringan dibanding dengan struktur beton bertulang, berarti akan menguntungkan pondasi.

Kekurangan dari struktur komposit adalah terjadi defleksi yang cukup besar dalam jangka panjang yang disebabkan karena rangkai susut pada beton. Ketika beton mengalami rangkai maka kekuatan dari beton akan berkurang sehingga timbul defleksi yang cukup besar dalam struktur.

2.4.5 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. Gabungan kedua elemen struktur ini dapat memikul beban lentur (momen) secara bersama-sama. Dalam bentuk lain adalah struktur tiang/kolom dimana lapis luar tiang/kolom digunakan besi hollow dari baja, dan didalamnya diisi dengan material beton.

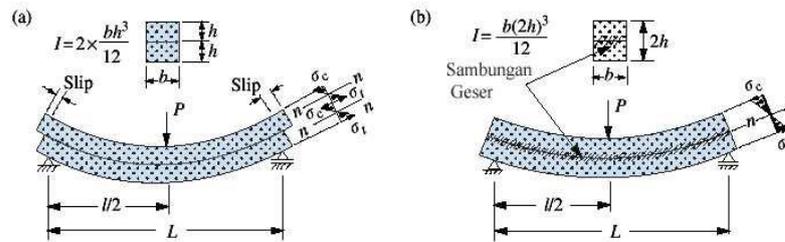
Pada mulanya balok baja hanya dipakai sebagai penopang pelat lantai, sehingga pada balok baja terjadi lendutan yang besar yang diakibatkan oleh beban yang besar yang harus dipikul balok baja tersebut. Pelat beton dan gelagar baja mengalami deformasi sendiri-sendiri, dengan besar deformasi tergantung dari kekuatan masing-masing bahan (baja dan beton). Pada pertemuan kedua bahan akan terjadi gelincir karena tidak ada penahan. Penampang yang seperti ini termasuk kategori non komposit, lihat Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.3 Penampang Baja – Beton Tidak Komposit

Apabila dua buah balok bersusun secara sederhana (*tiered beam*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.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 2.4.b, mereka bekerja sebagai satu kesatuan gelagar komposit. Untuk jembatan gelagar datar komposit, gelagar baja dan *slab* beton dihubungkan dengan sambungan geser.



Gambar 2.4 Prinsip Balok *Tiered* dan Balok Komposit

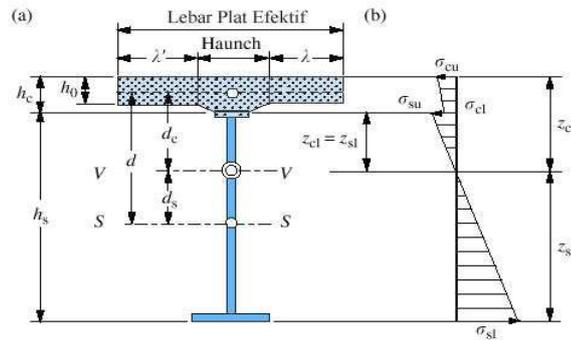
(a) balok *tiered*, dan (b) balok komposit

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 2.5. 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.

Potongan gelagar beton dapat lihat pada Gambar 2.5.

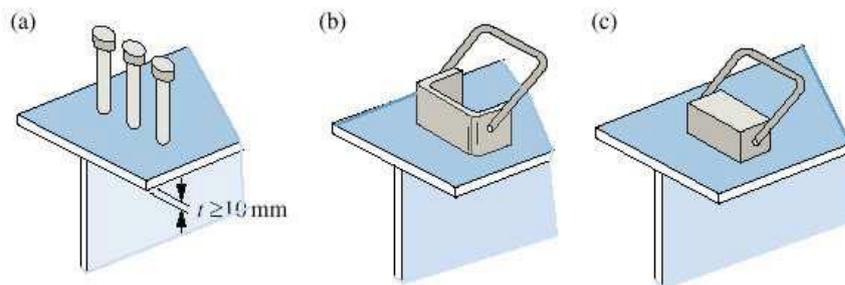


Gambar 2.5 Potongan Gelagar Komposit

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

Tiga tipe sambungan geser, *studs*, *horse shoes* dan balok baja ditunjukkan pada Gambar 2.5. *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 2.6 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:

- 1) Balok gabungan untuk beban hidup, yang pada garis besarnya hanya bekerja secara gabungan untuk memikul beban hidup.
- 2) 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.

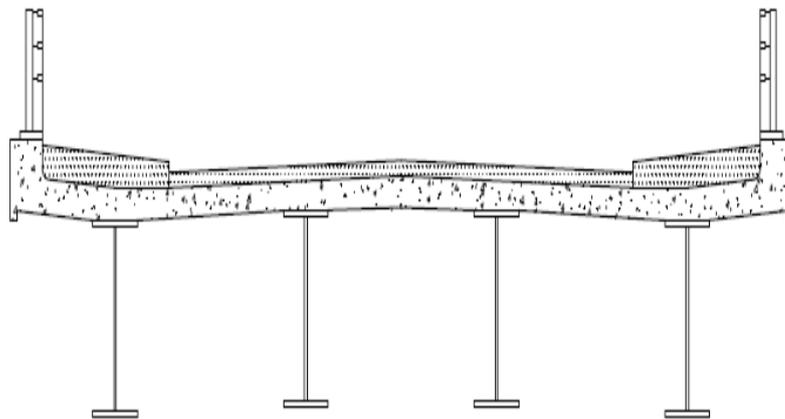
3. Pelat beton bertulang

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

Ada dua jenis tipe jembatan komposit yang umum digunakan sebagai desain, yaitu tipe multi girder bridge dan ladder deck bridge.

1. *Multi girder bridge*

Jembatan dengan multi-girder deck menggunakan beberapa baja girder memanjang (*longitudinal girder*) yang ukuran dan jenisnya sama disusun dengan jarak yang sama sepanjang lebar jembatan. Potongan melintang jembatan M-G-B dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Potongan Melintang *Multi-Girder Bridge*

Komponen (bagian) dari jembatan *multi-girder* adalah sebagai berikut:

a) Girder Utama (*Longitudinal Girder*)

Girder utama pada umumnya menggunakan plate girder profil I, namun untuk jembatan dengan bentang yang kecil memungkinkan juga untuk menggunakan *Univesal Beam* yaitu baja dengan profil yang memiliki dimensi yang universal dan biasa dipabrikasi oleh berbagai perusahaan baja.

b) Perkuatan (*Bracing*)

Ada tiga jenis perkuatan yang dimiliki oleh *multi-girder bridge*, antara lain :

(1) *Support Bracing*

Support bracing adalah perkuatan yang berada di kedua ujung jembatan yaitu didaerah perletakan, teknis perkuatan dengan biasa menggunakan profil baja yang disusun melintang menghubungkan antara satu girder dengan girder yang lainnya. Fungsi dari perkuatan ini adalah untuk stabilitas jembatan dan alat transfer beban horizontal (beban angin dan gaya selip) ke bantalan yang menyediakan tahanan transversal yang terletak pada daerah perletakan jembatan.

(2) *Intermediate Bracing*

Intermediate Bracing biasa disebut juga dengan diafragma jembatan yaitu berupa pelat yang menghubungkan antar girder pada arah memanjang jembatan. Fungsi dari diafragma adalah untuk menjaga girder supaya tidak menekuk atau memuntir akibat dari beban yang dipikul oleh baja girder.

(3) *Plan Bracing*

Plan bracing biasa disebut dengan ikatan angin adalah ikatan menyilang pada bagian bawah jembatan, dua lokasi kemungkinan peletakan plan bracing berada di atas flens atas (terhubung ke cleat pada flens atas) dan di bawah flens atas.

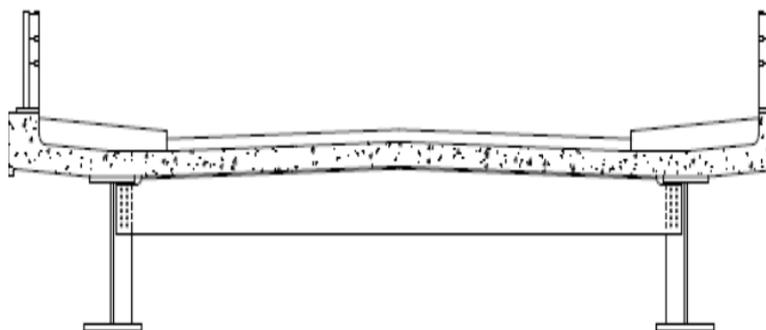
c) *Crosshead girder*

Crosshead girders adalah girder melintang tambahan yang menghubungkan dua buah girder utama dan berfungsi sebagai perletakan pada tengah bentang Continuous multiple spans. Crosshead girders bukan merupakan komponen yang wajib dimiliki oleh jembatan multi-girder akan tetapi terkadang dibutuhkan untuk mengurangi jumlah kolom dan bantalan.

2. *Ladder deck bridge*

Ladder deck bridge adalah modifikasi dari *multi girder bridge* yaitu dengan hanya menggunakan dua buah girder utama dengan cross-girder sebagai *support* (perkuatan). Konfigurasi jembatan dengan *ladder deck* sangat cocok

dan ekonomis bila diaplikasikan pada jembatan bentang pendek dengan lebar jembatan yang memadai untuk jalur lalu lintas dua jalur ganda. Potongan melintang jembatan L-D-B dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Potongan Melintang *Ladder Deck Bridge*

Komponen (bagian) dari jembatan *ladder deck* adalah sebagai berikut:

- a) Gelagar Utama (Main Girder)

Gelagar utama dalam Jembatan ladder deck selalu menggunakan plate girder, karena girder dengan penampang universal walaupun dengan luas penampang maximum tidak akan cukup kuat, walaupun digunakan untuk bentang yang sederhana
- b) Cross-Girder (Gelagar Silang)

Cross-girder biasanya dipasang dengan jarak 3,5 meter untuk menahan besarnya beban plat lantai setebal 250 mm.
- c) Cantilever Girder
- d) Cantilever girder adalah girder tambahan diluar girder utam sebagai bantalan untuk trotoar jalan. Namun bila trotoar jalan tidak terlalu lebar maka tidak perlu menggunakan cantilever girder karena momen yang timbul masih mampu ditahan oleh plat lantai, seperti konfigurasi pada jembatan multi-girder.

Penentuan pemilihan jenis jembatan yang akan digunakan tergantung pada pertimbangan ekonomi dan faktor spesifik dari medan konstruksi seperti akses

transportasi menuju lapangan dan jenis dari tiang penyokong yang berada di tengah bentang.

2.5 Jembatan Rangka Baja

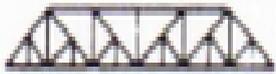
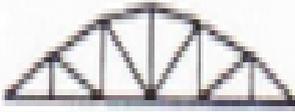
Jembatan rangka baja merupakan salah satu jenis jembatan rangka yang menggunakan material baja, dimana struktur jembatannya terdiri dari rangkaian batang-batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Beban dan muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan pada batang-batang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

Sedangkan Menurut (Satyarno, 2003) jembatan rangka dibuat dari struktur rangka yang biasanya terbuat dari bahan baja dan dibuat dengan menyambung beberapa batang dengan las atau baut yang membentuk pola-pola segitiga. Jembatan rangka biasanya digunakan untuk bentang 20 m sampai 375 m. Ada banyak tipe jembatan rangka yang dapat digunakan diantaranya sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada tabel dan gambar 2.1 berikut ini:

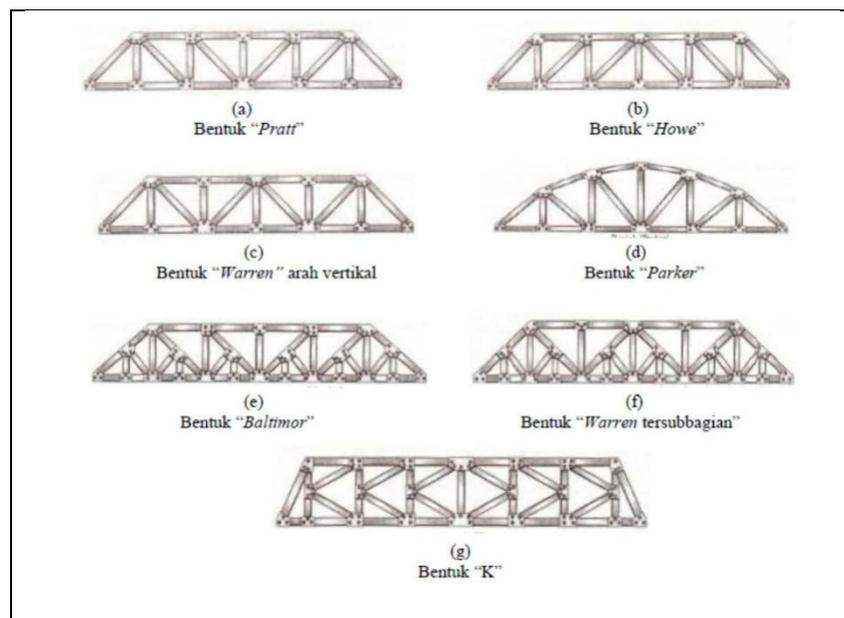
Tabel 2.1 Tipe Umum Jembatan Rangka Batang

No	Tipe	Konfigurasi Rangka	Material	Keterangan
1	Pratt		Baja	Sering digunakan lebih banyak dimasa lampau, dari pada tipe-tipe, rangka maju lainnya bentang 200 ft
2	Howe		Baja	Sering digunakan dimasa lampau tetapi sangat sedikit digunakan sekarang
3	Warren		Baja	Sangat umum, untuk bentang maksimal 200 ft

Lanjutan Tabel 2.1

No	Tipe	Konfigurasi Rangka	Material	Keterangan
4	Baltimore		Baja	Digunakan untuk bentang diatas 300 ft
5	Parker		Baja	Untuk bentang diatas 180 ft atau 200 ft sampai 350 ft atau 360 ft, lebih ekonomis
6	"K" truss		Baja	Digunakan untuk bentang diatas 300 ft

(Sumber : <https://candrazr.wordpress.com/2012/04/11/konfigurasi-jembatan-rangka-baja/>)



Gambar 2.9 Bentuk konfigurasi rangka batang jembatan

(Sumber : Hibbeler, 2002)

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

1. Tipe Warren (*Warren Truss*)

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

2. Tipe Pratt (*Pratt Truss*)

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

3. Tipe Howe (*Howe Truss*)

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

2.6 Standar Peraturan Perancangan Jembatan

Perencanaan jembatan ini beracuan pada standar perencanaan teknis yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. Standar peraturan tersebut antara lain:

1. Bridge Design Code BMS'92, dengan revisi:

- a. Pembebanan jembatan, SNI 1725-2016
- b. Perencanaan Struktur Beton Jembatan, SK.SNI T-12-2004 (Kepmen PU No. 260/KPTS/M/2004)
- c. Perencanaan Struktur baja jembatan SK.SNI T-03-2005 (Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005)

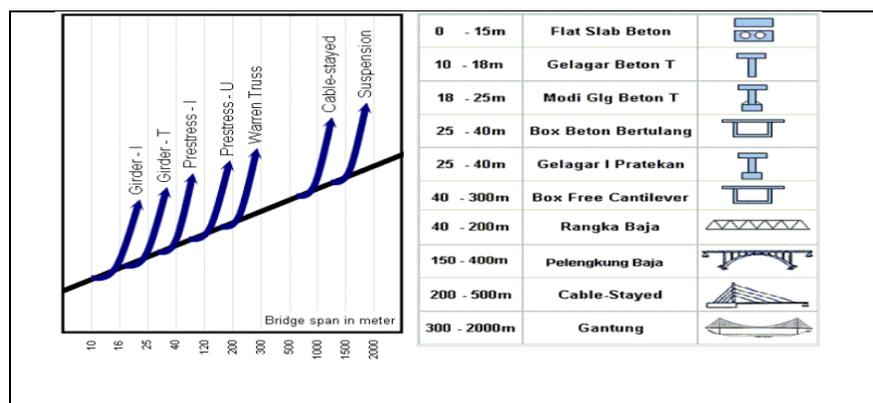
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan, SNI 2883-2016
3. AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications* Edisi Ke-5 Tahun 2010.

2.6.1 Syarat umum perencanaan jembatan

Struktur jembatan yang berfungsi dengan baik untuk lokasi tertentu adalah yang memenuhi pokok-pokok perencanaan meliputi :

1. Pedoman umum bentang ekonomis

Bentang ekonomis jembatan ditentukan oleh penggunaan/pemilihan *Tipe Main Structure & Jenis Material* yang optimum. Apabila tidak direncanakan secara khusus maka dapat digunakan bangunan atas jembatan standar Bina Marga sesuai bentang ekonomis dan kondisi lalu lintas air di bawahnya.



Gambar 2.10 Bentang Ekonomis
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2005)

2. Umur rencana jembatan

Menurut Pedoman Perencanaan Jembatan Direktorat Jendral Bina Marga, umur rencana jembatan dibuat untuk masa layan selama 75 tahun, kecuali:

- a) Jembatan sementara atau jembatan yang dapat dibongkar/pasang dibuat dengan umur rencana 20 tahun.
- b) Jembatan khusus yang memiliki fungsi strategis yang ditentukan oleh instansi yang berwenang, dibuat dengan umur rencana 100 tahun.
- c) Terdapat peraturan dari instansi yang berwenang yang menetapkan umur rencana yang lain

4. Penentuan Lebar, Kelas dan Muatan Jembatan

a) Penentuan lebar jembatan. Penentuan lebar jembatan berdasarkan tipe jembatan dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan 2.3.

b) Berdasarkan lebar lalu lintas

Kelas A = 1,0 + 7,0 + 1,0 meter

Kelas B = 0,5 + 6,0 + 0,5 meter

Kelas C = 0,5 + 3,5 + 0,5 meter

Catatan : Lebar jalan kelas A merupakan lebar minimum untuk jembatan pada jalan nasional (SE DBM 21 Maret 2008).

c) Berdasarkan muatan/pembebanan

BM 100 % : Untuk semua jalan nasional dan provinsi

BM 79 % : Dapat digunakan pada jalan kabupaten dan daerah transmigrasi.

Tabel 2.2 Penentuan Lebar Jembatan Berdasarkan Tipe Jembatan

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w \leq 5250$	1
Dua Arah tanpa Median	$5250 \leq w \leq 7500$	2
	$7500 \leq w \leq 12.500$	3
	$10.000 \leq w \leq 12.500$	4
	$12.500 \leq w \leq 15.250$	5
	$w \geq 15.250$	6
Dua Arah dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10.750$	3
	$11.000 \leq w \leq 13.500$	4
	$13.750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16500$	6
d) Untuk jembatan tipe lain jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
e) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kreb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kreb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2005)

Tabel 2.3 Penentuan Lebar Jembatan Berdasarkan LHR

LHR	Lebar Jembatan (m)	Jumlah Jalur
$LHR < 2.000$	3,5 – 4,5	1
$2.000 < LHR < 3.000$	4,5 – 6,0	2
$3.000 < LHR < 8.000$	6,0 – 7,0	2
$8.000 < LHR < 20.000$	7,0 – 14,0	4
$LHR > 20.000$	>14,0	> 4

(Sumber : Direktorat Jendral Jembatan Bina Marga)

2.6.2 Syarat umum perencanaan struktur

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.

1. 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:

- a. 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%.
- b. Sama dengan mutu kekuatan tekan beton yang ditentukan dalam kriteria perencanaan, dengan syarat perawatan beton tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- c. 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:

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

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

- a. $0,6 \sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- b. 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:

- a. Untuk beton dengan berat normal, maka diambil tidak kurang dari 2400 kg/m^3 , atau
- b. 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:

- a. $E_c = w_c^{1,5} (0,0043 \sqrt{f_c'})$ 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
- b. Ditentukan dari hasil pengujian.

2. 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:

- a. Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- b. Tulangan dengan $f_y = 400$ MPa, atau lebih dan anyaman lewat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
- c. 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 :

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

3. 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:

- a. Untuk kawat baja prategang, sebesar $0,75 f_{pu}$
- b. 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:

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

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

- a. 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.
- b. 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:

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

2.6.3 Syarat umum perencanaan 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).

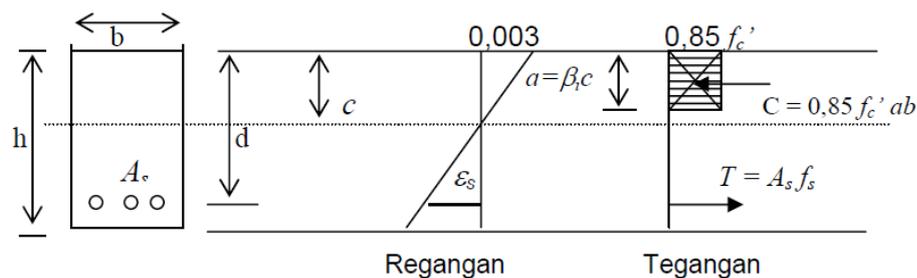
Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan:

1. Bidang rata yang tegak lurus sumbu tetap rata setelah mengalami lentur
2. Beton tidak diperhitungkan dalam memikul tegangan tarik.
3. Distribusi tegangan tekan ditentukan dari hubungan tegangan-regangan pada beton.
4. 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 2.11 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:

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

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.4)$$

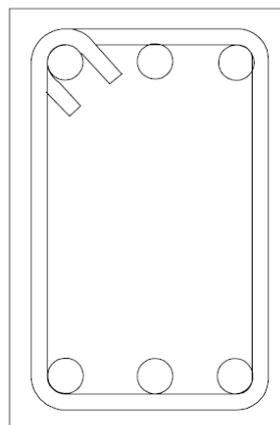
Jarak tulangan harus cukup memadai untuk penempatan penggetar dan memungkinkan ukuran terbesar dari agregat kasar dapat bergerak saat digetarkan. Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari :

1. 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat, atau
2. 1,5 kali diameter tulangan, atau
3. 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 2.12 Pembengkokan Tulangan Geser

2.6.4 Syarat umum perencanaan 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:

1. Kontinuitas dan redundansi.
2. Ketahanan komponen struktur jembatan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur jembatan yang direncanakan.
3. 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:

1. Struktur jembatan direncanakan untuk menahan semua beban yang mungkin bekerja.
2. Beban kerja dihitung berdasarkan besarnya aksi rencana yang bekerja.
3. Perencanaan beban angin dan gempa, di mana seluruh bagian struktur yang pembentuk kesatuan harus direncanakan untuk menahan beban lateral total.
4. 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:

1. Terjadi keruntuhan lokal pada satu atau sebagian komponen struktur jembatan.
2. Kehilangan keseimbangan statis akibat keruntuhan atau kegagalan pada sebagian komponen struktur atau keseluruhan struktur jembatan.
3. Keadaan purna-elastis atau purna-teknik di mana satu bagian komponen jembatan atau lebih mencapai kondisi runtuh.
4. Kerusakan akibat fatik dan/atau korosi sehingga terjadi kehancuran.
5. 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:

1. Tegangan kerja dari suatu komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai tegangan yang diijinkan, sehingga berpotensi mengakibatkan kelelahan pada komponen baja.
2. 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.
3. Vibrasi yang terjadi sehingga menimbulkan instabilitas atau kekhawatiran struktural lainnya terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan.
4. Bahaya permanen termasuk korosi dan fatik yang mengurangi kekuatan struktur dan umur layan jembatan.
5. Bahaya banjir di daerah sekitar jembatan.

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 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:

1. Komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku
2. Diameter batang, luas tumpu kepala baut, dan mur atau penggantinya, harus lebih besar dari nilai nominal yang ditetapkan dalam ketentuan yang berlaku. Ukuran lainnya boleh berbeda
3. Persyaratan gaya tarik minimum alat sambung ditentukan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 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 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit

	Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ
a	Lentur	0,9
b	Geser	0,9
c	Aksial tekan	0,85
d	Aksial tarik	
	Terhadap kuat tarik leleh	0,9
	Terhadap kuat tarik fraktur	0,75
e	Penghubung geser	0,75
f	Sambungan baut	0,75
g	Hubungan Las	

Lanjutan Tabel 2.6

	Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ
	Las tumpul penetrasi penuh	0,9
	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.

2.6.5 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:

1. $1/5$ x panjang gelagar untuk bentang sederhana atau $1/7$ panjang bentang gelagar untuk bentang menerus
2. Jarak pusat-pusat antara badan gelagar, dan
3. $1/12$ 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.

Dalam struktur komposit, konsep lebar efektif slab dapat diterapkan sehingga akan memudahkan perencanaan. Spesifikasi AISC/LRFD telah menetapkan lebar efektif untuk slab beton yang bekerja secara komposit dengan balok baja, sebagai berikut :

- a. Untuk gelagar luar (tepi)

$$b_{eff} \leq L/8 \quad (2.6)$$

$$b_{eff} \leq L/2 + b' \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

L = Panjang bentang

b' = jarak dari as balok ke tepi slab

- b. Untuk gelagar dalam

$$b_{eff} \leq L/4 \dots\dots\dots (2.8)$$

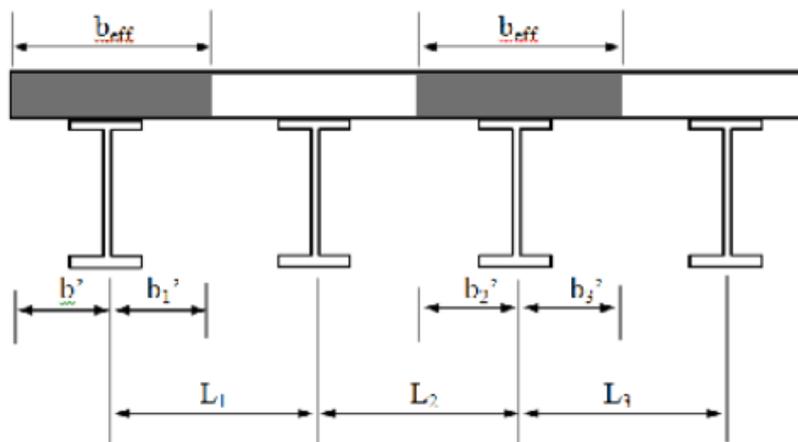
$$b_{eff} \leq (L_1 + L_2)/2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

L = Panjang bentang

b' = jarak antar as balok

Lebar efektif yang dipakai dipilih yang terkecil.



Gambar 2.13 Lebar Efektif Struktur Komposit

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.

2.7 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.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

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

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \dots \dots \dots (2.11)$$

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

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \dots \dots \dots (2.12)$$

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

2.7.1 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 2.7 berikut.

Tabel 2.7 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 2.8.

Tabel 2.8 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 2.10 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan.

Tabel 2.9 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 2.10.

Tabel 2.10. 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:

$$p = k\gamma_s Z. \dots\dots\dots(2.13)$$

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/m^3)

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:

$$k_o = 1 - \sin\phi_f. \dots\dots\dots(2.14)$$

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:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma[\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)]} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan,

$$\Gamma = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_f + \delta)\sin(\phi'_f - \beta)}{\sin(\theta - \delta)\sin(\theta + \beta)}} \right]^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

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 2.12
- 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 2.11 Sudut Geser Berbagai Material

Material	Sudut geser δ ($^\circ$)
Beton pada material pondasi sebagai berikut:	
<ul style="list-style-type: none"> • Batuan 	35
<ul style="list-style-type: none"> • Kerikil, campuran kerikil – pasir, pasir kasar 	29-31
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung 	24-49
<ul style="list-style-type: none"> • 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

Lanjutan Tabel 2.11

Material	Sudut geser δ (°)
Pasangan bata pada material pondasi memiliki faktor geser yang sama	
Turap baja terhadap tanah berikut:	
• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan	22
• Pasir, campuran –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17
• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung	14
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	11
Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut:	
• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi oecahan	22-26
• Pasir, campuran pasir –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17-22
• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung	17
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	14
Berbagai material struktural:	
• Batu bata pada batu bata, batuan beku dan metaforf:	
- Batuan lunak pada batuan lunak	35
- Batuan keras pada batuan lunak	33
- Batuan keras pada batuan keras	29
• Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang	26
• 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:

$$p_p = k_p \gamma_s z + 2c\sqrt{k_p} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan

p : adalah tekanan tanah lateral pasif

γ_s : adalah berat jenis tanah (kN/m^3)

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 2.12 berikut.

Tabel 2.12 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)

2.7.2 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 2.13.

Tabel 2.13 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w < 8000$	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 2.14 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 2.14. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 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:

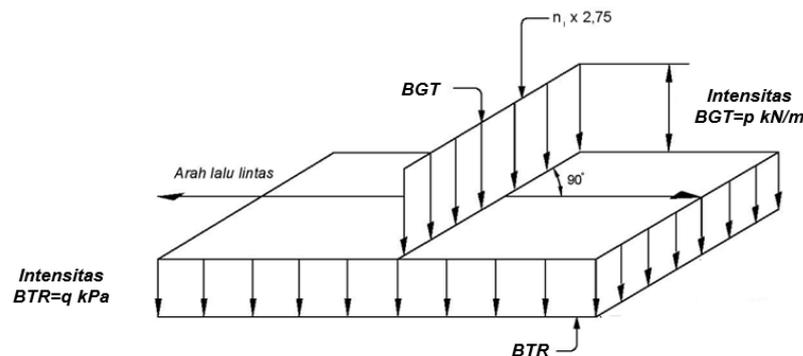
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.18)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (2.19)$$

Keterangan :

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

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 2.14 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 2.14.

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)

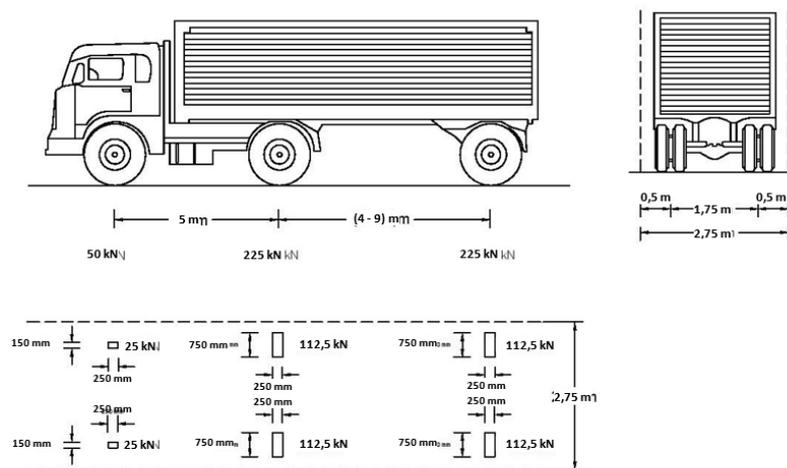
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 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 2.15. 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 2.15 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 2.16. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}} \dots\dots\dots (2.20)$$

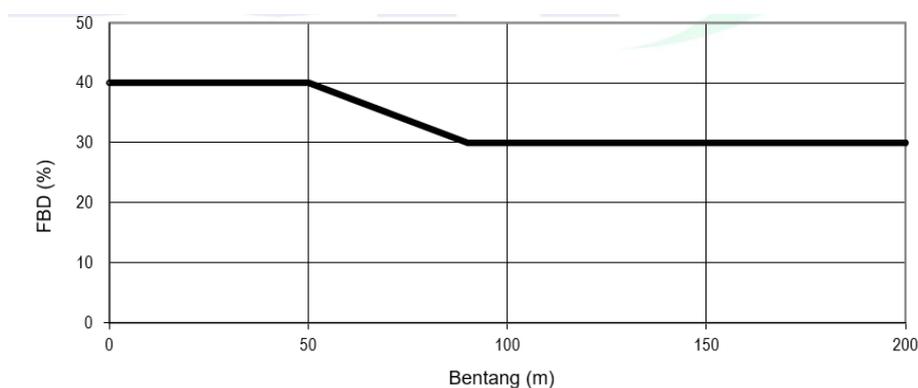
Keterangan:

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 2.16 FBD 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,

26 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 diatas

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:

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots (2.21)$$

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. Salah satu pelindung tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Tanggul;
- 2) Palang independen setinggi 1370 mm yang tahan tumbukan dipasang pada permukaan tanah dalam jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi; atau
- 3) 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.

$$LHR_{SL} = p_t \times LHR \dots \dots \dots (2.22)$$

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 2.17

Tabel 2.16 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)

j. 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 2.17

Tabel 2.17 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 (EU_n)

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 2.19 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:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max design} - T_{\min design}) \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

L: adalah panjang komponen jembatan (mm)

α : adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/ $^{\circ}$ C)

Tabel 2.18 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 2.19. 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 2.20). Prategang harus diperhitungkan

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

Tabel 2.20 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:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

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_0 : adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_0 : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.22 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

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

Tabel 2.21 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0	13,2	17,6	19,3
Z_0	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:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

P_B : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.22

Tabel 2.23 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 2.23 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.23 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

(Sumber: 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:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.26)$$

Keterangan:

E_Q : adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : adalah koefisien respons gempa elastis

R_d : adalah faktir modifikasi respons

W_T : berat total struktur terdiri beban mati dan beban hidup (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.

k. Aksi-Aksi Lainnya

a) Gesekan pada perletakan (BF)

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekuatan geser dari perletakan elastromer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung menggunakan hanya beban tetap, dan nilai rata-rata dari koefisien

gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastromer).

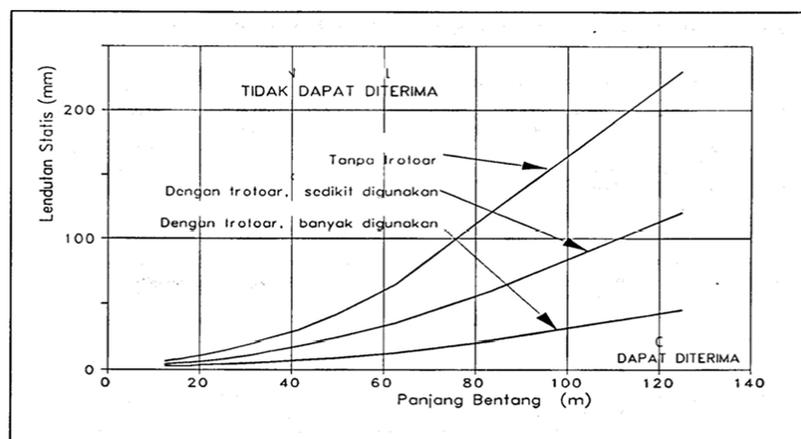
Tabel 2.24 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

Jangka waktu	Faktor Beban	
	(γ_{BF}^S)	(γ_{BF}^U)
		Biasa
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 2.17 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada pejalan kaki.



Gambar 2.17 Lendutan Akibat Getaran Jembatan

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

c) Beban pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- (1) Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri, dan;
- (2) 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.

2.8 Metode Perhitungan Jembatan

2.8.1 Lantai Kendaraan

1. Tebal pelat lantai

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

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$T_s \geq (100+40.l) \text{ mm} \dots\dots\dots(2.28)$$

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

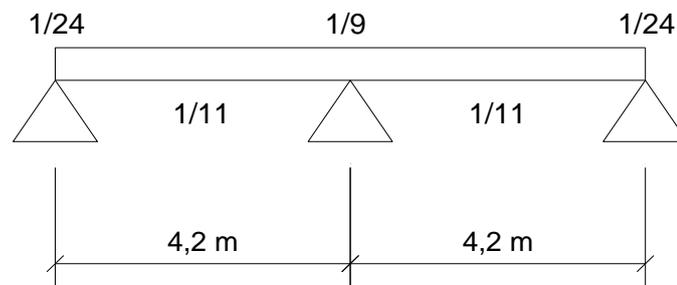
Keterangan:

T_s : tebal pelat lantai

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

2. Pembebanan

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 2.18 berikut.



Gambar 2.18. Koefisien Momen pada Lantai Kendaraan Arah X

Momen lapangan adalah:

$$M_{lx} = 1/11 \times q_D \times L^2 \dots\dots\dots(2.29)$$

Momen tumpuan adalah:

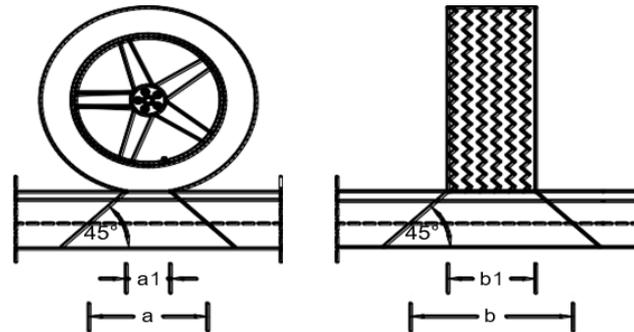
$$M_{tx} = 1/9 \times q_D \times L^2 \dots\dots\dots(2.30)$$

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

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T \dots\dots\dots(2.31)$$

Jadi, pembebanan *truck*:

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



Gambar 2.19 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

b) Penulangan

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

$$A_{s_{min}} = \frac{1,0}{f_y} bd \dots \dots \dots (2.32)$$

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

2.8.2 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.

1. Pembebanan

- a. Beban mati terdiri atas berat sendiri parapet, dan berat pipa saluran.
- b. 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.

2. Penulangan

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

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} bd \dots \dots \dots (2.33)$$

2.8.3 Gelagar memanjang balok I girder

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

1. Pembebanan

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

3. Kontrol kekuatan profil sebelum komposit

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

a. *Web proportion with longitudinal stiffener*

$$\lambda = \frac{D_w}{t_w} \leq 300 \dots\dots\dots (2.34)$$

b. *Flange proportion*

$$\frac{b_{tf}}{2t_{tf}} \leq 12 \dots\dots\dots (2.35)$$

$$b_{tf} \geq \frac{D_w}{6} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w \dots\dots\dots (2.37)$$

$$M_{total} = M_{DL} \text{ maks} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$M_n = Z_x \times f_y \dots\dots\dots (2.39)$$

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

4. Kontrol kekuatan setelah komposit

$$M_{total} = M_{DL} \text{ maks} + M_{LL} \text{ maks} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$M_n = (C_c \times Z_1) + (C_s \times Z_2) \dots\dots\dots (2.41)$$

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

5. Kontrol terhadap tegangan geser

$$V_{\text{total}} = D_{\text{total}} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \dots\dots\dots (2.43)$$

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

6. Perhitungan konektor geser (*shear connector*)

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

$$\frac{h_{sc}}{d_{sc}} \geq 4.0 \dots\dots\dots (2.44)$$

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

$$FG = 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \dots\dots\dots (2.45)$$

Kekuatan satu konektor geser (stud)

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f'_c \times E_c} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$\text{dengan } E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

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

$$\text{Transverse Spacing (L)} \geq 4,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$\text{Pitch minimum (s}_{\text{min}}) \geq 6,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$\text{Pitch maximum (s}_{\text{max}}) \geq 6,0 \times d_{sc} \dots\dots\dots (2.49)$$

2.8.4 Sambungan baut pada balok i girder

Pada gelagar memanjang balok I 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

$$R_n = m \times r_l \times f_u^b \times A_b \dots\dots\dots (2.50)$$

Kekuatan Tumpu Baut, terdapat pada ayat 9.3.2.4

$$R_n = n \times d_b \times f_{up} \times t_{pl} \dots\dots\dots (2.51)$$

Kekuatan Friksi Baut, terdapat pada ayat 9.3.3.1

$$R_n = 1,13 \times \phi \times \mu \times m \times T_b \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\text{dengan nilai } \phi R_n = 0,70 \times R_n \dots\dots\dots (2.53)$$

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 (ϕV_n) terhadap nilai ϕR_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.

2.8.5 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:

$$L_p = 0,13 E r_y \frac{\sqrt{J_A}}{M_p} \dots\dots\dots (2.54)$$

Pada jembatan rangka baja gelagar melintang sebagai gelagar komposit memakai baja *Wide Flange (WF)* dan dianggap sebagai balok dengan dua tumpuan dan momen perhitungan pada saat sebelum dan sesudah komposit dengan menggunakan langkah-langkah rumus yang sama pada saat perhitungan gelagar memanjang.

2.8.6 Ikatan angin

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

$$TEW = 0,0006 C_w \times V_w^2 \times A_b \text{ [kN]} \dots\dots\dots(2.55)$$

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus 2.55 diatas.

Dengan pengertian :

V_w : kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_w : koefisien serat

A_b : luas equivalen bagian samping jembatan (m^2)

Tabel 2.26 Kecepatan Angin Rencana V_w

Keadaan Batas	Lokasi	
	sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimate	35 m/s	30 m/s

(Sumber : standar pembebanan untuk jembatan RSNI-T-03-2005)

1. H_a dan H_b

$$H_a = \frac{(TEW \cdot x_1) + (TEW \cdot xn)}{Y} \dots\dots\dots(2.56)$$

$$H_b = (TEW \cdot x_1) + (TEW \cdot xn) - H_a \dots\dots\dots(2.57)$$

Selanjutnya, diambil nilai H_a dan H_b yang terbesar dari kedua kondisi, yaitu pada saat kendaraan berada diatas jembatan dan saat kendaraan tidak berada diatas jembatan.

2. Gaya Batang

Untuk menghitung gaya batang digunakan metode cremona. Angka-angka yang didapat dari cremona selanjutnya dikalikan dengan H_a dan H_b .

3. Dimensi Profil

Setelah gaya batang didapat, dilanjutkan dengan pendimensian profil.

1) Kontrol terhadap tarik

Dengan rumus; $\lambda = \frac{Lk}{I_{min}}$

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times F_y \dots\dots\dots(2.58)$$

$$\phi P_n = 0,75 \times A_e \times F_u \dots\dots\dots(2.59)$$

Dengan persamaan 2.58 dan 2.59 diambil yang terkecil, kemudian dicek apakah $P_{u_{max}} < \phi P_n$.

2) Kontrol terhadap tekan

Dengan rumus : $\lambda = \frac{Lk}{I_{min}} \dots\dots\dots(2.60)$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \times \frac{Lk}{I_{min}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \dots\dots\dots(2.61)$$

untuk $\lambda > 1,5$ maka $\phi P_n = 0,85 \times \frac{0,88}{\lambda c^2} \times A_g \times f_y$

kemudian dicek apakah $P_{u_{max}} < \phi P_n$.

2.8.7 Rangka utama

1. Gaya Batang

Gaya batang rangka utama dihitung dengan menggunakan metode garis pengaruh.

a. Pembebanan Ultimate

1) Beban Mati

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

2) Beban Hidup

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

b. Dimensi

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

1) Kontrol terhadap batang tarik

$$\lambda = \frac{LK}{I_{min}}$$

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times F_y \dots\dots\dots(2.62)$$

$$\phi P_n = 0,75 \times A_e \times F_u \dots\dots\dots(2.63)$$

Dari persamaan (2.55) dan (2.56) diambil yang terkecil, kemudian di cek apakah $P_{u_{max}} < \phi P_n$.

2) Kontrol terhadap batang tekan

$$\lambda = \frac{LK}{l_{min}} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \times \frac{LK}{l_{min}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E S}} \dots\dots\dots(2.65)$$

untuk $\lambda > 1,5$ maka

$$\phi P_n = 0,85 \times \frac{0,88}{\lambda^2} \times A_g \times f_y \dots\dots\dots(2.66)$$

Kemudian dicek apakah $P_{u_{max}} < \phi P_n$.

2. Pembebanan Daya Layan

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

3. Lendutan

Setelah didapat kombinasi daya layan, maka dihitung lendutan gaya batang.

$$\Delta L = \frac{FY}{EA}; \Delta = u \cdot \frac{FL}{EA} \dots\dots\dots(2.67)$$

Dimana :

ΔL = ubahan panjang anggota akibat bebanyang bekerja (cm)

F = gaya yang bekerja (kg)

L = panjang bentang (cm)

E = modulus elastisitas baja (200000/kg/ cm²)

A = luas profil baja (cm²)

u = gaya aksial suatu anggota akibat satuan

y = Komponen satuan dalam arah beban satuan

2.8.8 Perletakan (elastomer)

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.

Pada pemasangan elastomer juga dipasang lateral stop yang berfungsi sebagai penahan perpindahan horizontal yang berlebih dan mengunci posisi lateral jembatan. Lateral stop dianggap sebagai konsul pendek dengan syarat nilai a/b lebih kecil dari 1 sedangkan betonnya dicor monolit ($\mu = 1,4$).

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u :

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{uc} (h-d) \dots\dots\dots (2.68)$$

$$\rho = \frac{0,85 \times f_{c'} }{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \dots\dots\dots (2.69)$$

$$A_f = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (2.70)$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan gaya tarik N_{uc} :

$$A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots (2.71)$$

$$A_g = 0,2 \times V_n \dots\dots\dots (2.72)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} \dots\dots\dots (2.73)$$

Tulangan utama total A_g adalah nilai terbesar dari :

$$A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots (2.74)$$

$$A_g = \left(\frac{2 \cdot A_v \cdot f}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots (2.75)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} \times b \times d \dots\dots\dots (2.76)$$

2.8.9 Plat injak

Plat injak ini berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat di desak tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak (dihitung permeter lebar). Untuk berat kendaraan dibelakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 60 cm.

1. Pembebanan plat injak

Pembebanan plat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri plat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan di dapat q_{total}

2. Penulangan plat injak

$$M_{\text{max}} = 1/8 \times q_{\text{total}} \times L^2 \dots\dots\dots(2.77)$$

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} b \times d \dots\dots\dots(2.78)$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \dots\dots\dots(2.79)$$

2.8.10 Dinding sayap

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

1. Pembebanan dinding sayap

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

2. Penulangan dinding sayap

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} b \times d \dots\dots\dots(2.80)$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \dots\dots\dots(2.81)$$

2.8.11 Abutmen

Adapun pembebanan abutmen, terdiri dari:

1. Beban mati (Pm)
2. Beban hidup (H+DLA)

3. Tekanan Tanah (P_{TA})
4. Beban Angin (W_n)
5. Gaya Rem (R_m)
6. Gesekan pada pelaksanaan (G_s)
7. Gaya Gempa (G_m)
8. Beban Pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Kombinasi I (AT) = $P_m + P_{TA} + G_s$
2. Kombinasi II (LL) = $(H+DLA) + R_m$
3. Kombinasi III (AG) = W_n
4. Kombinasi IV (GP) = G_m
5. Kombinasi V (PL) = pel

Kombinasi kedua pada pembebanan lagi adalah sebagai berikut :

1. Kombinasi I = $AT + LL$ (100%)
2. Kombinasi II = $AT + LL$ (120%)
3. Kombinasi III = $AT + LL$ (120%)
4. Kombinasi IV = $AT + LL$ (140%)
5. Kombinasi V = $AT + GL$ (150%)
6. Kombinasi VI = $AT + PL$ (130%)
7. Kombinasi VII = $AT + LL$ (150%)

Kontrol stabilitas pembebanan abutment:

- a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{M_T}{M_{GL}} < 1,5 \dots \dots \dots (2.82)$$

- b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{M_V}{M} < 1,5 \dots \dots \dots (2.83)$$

- c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} < 2,0 \dots \dots \dots (2.84)$$

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

2.8.12 Pilar

Adapun pembebanan pilar, terdiri dari:

1. Beban mati (Pm)
2. Beban hidup (H+DLA)
3. Tekanan Tanah (P_{TA})
4. Beban Angin (Wn)
5. Gaya Rem (Rm)
6. Gesekan pada pelaksanaan (Gs)
7. Gaya Gempa (Gm)
8. Beban Pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Kombinasi I (AT) = Pm + P_{TA} + Gs
2. Kombinasi II (LL) = (H+DLA) + Rm
3. Kombinasi III (AG) = Wn
4. Kombinasi IV (GP) = Gm
5. Kombinasi V (PL) = pel

Kombinasi kedua pada pembebanan lagi adalah sebagai berikut :

1. Kombinasi I = AT + LL (100%)
2. Kombinasi II = AT + LL (120%)
3. Kombinasi III = AT + LL (120%)
4. Kombinasi IV = AT + LL (140%)
5. Kombinasi V = AT + GL (150%)
6. Kombinasi VI = AT + PL (130%)
7. Kombinasi VII = AT + LL (150%)

Kontrol stabilitas pembebanan abutment:

- a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{M_T}{M_{GL}} < 1,5. \quad \dots\dots\dots(2.82)$$

- b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu V}{M} < 1,5 \dots\dots\dots(2.83)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} < 2,0 \dots \dots \dots (2.84)$$

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

2.8.13 Pondasi

Apabila kondisi suatu abutment atau pilar jembatan tidak aman maka diperlukan pondasi untuk membuat bangunan tetap aman dari bahaya guling, bahaya geser ataupun bahaya dari kelongsoran daya dukung. Pemilihan jenis pondasi dapat disesuaikan dengan kondisi dan keadaan tanah, apakah memakai pondasi sumuran atau pondasi tiang pancang.

Menurut Dr.ir.L.D.Wesley dalam bukunya Mekanika Tanah 1, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang di buat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Untuk keperluan perencanaan, tiang dapat dibagi menjadi dua golongan:

1. Tiang yang tertahan pada ujung (*end bearing pile atau point bearing pile*).
Tiang semacam ini dimasukkan sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan pada tahanan ujungnya. Untuk tiang tipe ini harus diperhatikan bahwa ujung tiang harus terletak pada lapisan keras. Lapisan keras ini boleh dari bahan apapun, meliputi lempung keras sampai batuan keras.
2. Tiang yang tertahan oleh peletakan antara tiang dengan tanah (*friction pile*).
kadang - kadang ditemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan tiang sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Maka untuk menahan beban yang diterima tiang, mobilisasi tahanan sebagian besar ditimbulkan oleh gesekan antara tiang dengan tanah (*skin friction*). Tiang semacam ini disebut *friction pile* atau juga sering disebut sebagai tiang

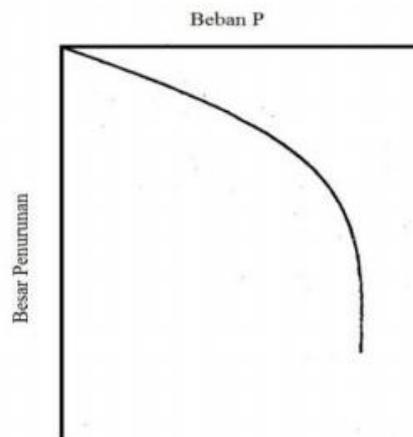
terapung (floating piles). Pondasi dalam sering dibuat dalam bentuk tiang pancang maupun kaison ($D/B \geq 4$).

3. Menurut Nakazawa (2000) bentuk datar dari kaison adalah lingkaran, bulat telur atau segi empat. Bentuk ini ditentukan oleh bentuk dan ukuran bangunan dan skala beban, tetapi umumnya dianggap sebanding dengan bentuk dasar bangunan. Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan dengan kedalaman D_f/B , seperti:
 - a. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.
 - b. Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan ketika akan melaksanakan perencanaan pondasi, yaitu

- a. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kekuatan maksimum tanah menahan tekanan dengan baik tanpa menyebabkan terjadinya *failure*. Sedangkan *failure* pada tanah adalah penurunan (*Settlement*) yang berlebihan atau ketidakmampuan tanah melawan gaya geser dan untuk meneruskan beban pada tanah. (Bowles J.E, 1993 dalam Diglib Unila).



Gambar 2.20 Daya Dukung Batas dari Tanah Pondasi

Gambar diatas menunjukkan bahwa apabila beban bekerja pada tanah pondasi dinaikkan maka penurunan akan meningkat dengan cepat setelah gaya telah mencapai gaya tertentu dan kemudian penurunan akan terus berlanjut, meskipun beban tidak ditambah lagi. Pengelompokan tanah berdasarkan sifat lekatnya :

- 1) Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (tanah lempung = mengandung lempung cukup banyak).
- 2) Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misalnya pasir).
- 3) Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahanbahan organik (sifat tidak baik).

b. Pembebanan

Untuk pembebanan menggunakan kombinasi VII dari perhitungan analisa stabilitas abutment atau pilar.

Menentukan daya dukung ijin berdasarkan kekuatan bahan tiang:

$$q \text{ tiang} = 0,3 \times f_c \times A \text{ tiang} \dots\dots\dots(2.88)$$

Menentukan daya dukung berdasarkan kekuatan tanah

$$q_{ult} = q_b + q_s \dots\dots\dots(2.89)$$

$$q_b = 20 \times N_b \times A$$

$$q_s = \frac{N \times A_s}{5}$$

Diambil nilai yang tidak lebih besar dari q ijin

$$q_{\text{ijin}} = \frac{Q_{ult}}{F} \dots\dots\dots(2.90)$$

Dimana:

N_b = Diameter tiang pancang

A = Luas tiang

N = Nilai value standar Test titik tiang

Faktor keamanan = 3

c. Menghitung tiang pondasi

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{\Sigma V}{Q_{ijin}} \dots\dots\dots(2.91)$$

Dimana :

ΣV = Gaya dari perhitungan kombinasi VII dikali dengan panjang abutmen atau pilar.

d. Menentukan jarak antar tiang

Berdasarkan perhitungan daya dukung Direktorat Bina Marga Pekerjaan Umum mengisyaratkan jarak antar tiang (S) = (2,5 – 3,0) B atau $0,6 \text{ m} \leq S \leq 2 \text{ m}$ dipakai 1,25 m.

e. Menentukan daya dukung kelompok tiang

Menentukan daya dukung kelompok tiang berdasarkan rumus dari AASHTO dengan cara sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \frac{\emptyset}{90} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right) \dots\dots\dots(2.92)$$

Dimana :

$$\emptyset = \arctan \frac{D}{S} = \arctan \frac{80}{250} = 17,745 \dots\dots\dots(2.93)$$

m = jumlah baris = 4

n = jumlah lajur = 5

Daya dukung ijin kelompok tiang (*Qall group*) adalah :

$$Qall\ group = Qijin \times n \times Eg \dots\dots\dots(2.94)$$

$$q1 = \frac{\Sigma V}{n} + \frac{Mo \times X1}{\Sigma X^2} \dots\dots\dots(2.95)$$

Dengan catatan *qall group* harus lebih besar dari ΣV dan $q1$ harus lebih kecil dari $qijin \times Eg$.

2.9 Manajemen Proyek

2.9.1 Definisi

Manajemen proyek terdiri dari dua kata yaitu manajemen dan proyek. Menurut KBBI manajemen adalah suatu kegiatan mengatur atau mengelola, menerapkan manajemen sedangkan proyek adalah rencana pekerjaan dengan sasaran khusus dan dengan saat penyelesaian yang tegas. Dengan kata lain berarti manajemen proyek adalah suatu kegiatan mengelola atau mengatur untuk mencapai waktu tertentu dengan waktu tertentu.

Menurut Bambang Pujiyono (2004 : 4) manajemen proyek adalah manajemen yang diterapkan pada suatu proyek untuk mencapai suatu hasil tertentu atau suatu ilmu untuk mengadakan perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), pengarahan (*directing*), pengoordinasian (*coordinating*), dan mengadakan pengawasan (*controlling*).

Manajemen proyek mengacu pada bagaimana sumber tersedia dengan baik sehingga tujuan dan sasaran akan tercapai dari segi biaya, mutu dan waktu. Sumber ini antara lain adalah tenaga kerja (*manpower*), alat dan peralatan (*machines*), bahan bangunan (*material*), metode (*method*) dan uang (*money*).

2.9.2 Rencana Kerja

Sebelum pelaksanaan kegiatan proyek konstruksi dimulai biasanya didahului dengan penyusunan rencana kerja waktu kegiatan yang disesuaikan dengan metode konstruksi yang digunakan. 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 suatu pembagian waktu terperinci yang disediakan untuk masing-masing pekerjaan sehingga dapat diperkirakan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi pelaksanaan rencana kerja misalnya biaya, bencana alam (*force majeure*), embebasan lahan, hari – hari libur, metode kerja, cuaca dan sebagainya.

Menurut Wulfram (2005 : 153) dalam menyusun rencana kerja, perlu dipertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Keadaan lapangan lokasi proyek, hal ini dilakukan untuk memperkirakan hambatan yang mungkin timbul selama pelaksanaan pekerjaan.
2. Kemampuan tenaga kerja, informasi detail tentang jenis dan macam kegiatan yang berguna untuk memperkirakan jumlah dan jenis tenaga kerja yang harus disediakan
3. Pengadaan material konstruksi, harus diketahui dengan pasti macam, jenis dan jumlah material yang diperlukan untuk pelaksanaan pembangunan. Pemilihan jenis material yang akan digunakan harus dilakukan di awal proyek, kemudian dipisahkan berdasarkan jenis material yang memerlukan waktu untuk pengadaan, misalnya material pabrikan biasanya tidak dapat dibeli setiap saat, tetapi memerlukan sejumlah waktu untuk kegiatan proses produksi. Hal ini penting untuk membuat jadwal rencana pengadaan material konstruksi.
4. Pengadaan alat pembangunan, untuk kegiatan yang memerlukan peralatan pendukung pembangunan harus dapat dideteksi secara jelas. Hal ini berkaitan dengan pengadaan peralatan. Jenis, kapasitas, kemampuan dan kondisi peralatan harus disesuaikan dengan kegiatannya.
5. Gambar kerja, selain gambar rencana, pelaksana proyek konstruksi memerlukan gambar kerja untuk bagian-bagian tertentu/khusus. Untuk itu, perlu dilakukan pendataan bagian-bagian yang memerlukan gambar kerja.

6. Kontinuitas pelaksanaan pekerjaan, dalam penyusunan rencana kerja, faktor penting yang harus dijamin oleh pengelola proyek adalah kelangsungan dari susunan rencana kegiatan setiap item pekerjaan

Adapun manfaat dan kegunaan penyusunan rencana kerja antara lain :

1. Alat koordinasi bagi pimpinan, dengan menggunakan rencana kerja, pimpinan pelaksanaan pembangunan dapat melakukan koordinasi semua kegiatan yang ada di lapangan.
2. Sebagai pedoman kerja para pelaksana, rencana kerja merupakan pedoman utama terutama dalam kaitannya dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk setiap item kegiatan.
3. Sebagai penilaian kemajuan pekerjaan, ketepatan waktu dari setiap item kegiatan di lapangan dapat dipantau dari rencana pelaksanaan dengan realisasi pelaksanaan di lapangan.
4. Sebagai evaluasi pekerjaan, variasi yang ditimbulkan dari perbandingan rencana dan realisasi dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk menentukan rencana selanjutnya.

2.9.3 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah suatu proses memperkirakan atau menghitung kemungkinan jumlah biaya yang diperlukan untuk suatu kegiatan. Rencana anggaran biaya mencakup semua biaya konstruksi dan hal lainnya mengenai biaya proyek tetapi tidak termasuk pengembalian modal pengembang dan hal khusus seperti jasa perantara. Biaya proyek dapat dibagi menjadi dua yaitu biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung adalah biaya secara langsung yang berhubungan dengan proyek seperti biaya tenaga kerja, material dan alat sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak berhubungan di lapangan seperti biaya tak terduga, keuntungan atau *profit*, biaya tambahan atau *overhead*.

Rencana anggaran biaya dibuat oleh berbagai pihak dengan maksud dan tujuan masing-masing. Bagi pihak pemilik, rencana anggaran biaya ditujukan sebagai pedoman mencari pemenang lelang, alat bantu untuk menyelesaikan biaya

investasi modal yang dibutuhkan, mengatur perputaran biaya dan kelayakan ekonomi. Bagi perencana, rencana anggaran biaya digunakan untuk pengendalian mutu dan penyesuaian mutu. Sedangkan bagi kontraktor, rencana anggaran biaya berguna untuk pelelangan dan penawaran serta digunakan untuk kontrol biaya pengeluaran dan pemasukan.

Menurut Wulfram (2005) Tahap-tahap yang sebaiknya dilakukan untuk menyusun anggaran biaya adalah berikut :

1. Melakukan pengumpulan data tentang jenis, harga serta kemampuan pasar menyediakan bahan/material konstruksi secara kontinu.
2. Melakukan pengumpulan data tentang upah pekerja yang berlaku di daerah lokasi proyek dan upah pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek
3. Melakukan perhitungan analisa bahan dan upah dengan menggunakan analisa yang diyakini baik oleh si pembuat anggaran dalam tulisan ini, digunakan perhitungan berdasarkan analisa BOW (*Borgelijke Openbare Werken*)
4. Melakukan perhitungan harga satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dan daftar kuantitas pekerjaan.
5. Membuat rekapitulasi.

2.9.4 *Schedulling dan network planning (NWP)*

Schedulling atau penjadwalan adalah kegiatan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan dan urutan kegiatan serta menentukan waktu proyek dapat diselesaikan. Jenis – jenis penjadwalan yang biasa digunakan dalam proyek ada diagram batang (*barchart* atau *gant chart*), kurva S dan *network planning* (NWP).

Network planning adalah hubungan ketergantungan antar bagian – bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *network*. Dengan demikian diketahui bagian – bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, bila perlu lembur (tambah biaya) pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa – gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi (Drs. Sofwan Badri, 1983).

Adapun kegunaan *network planning* antara lain untuk mengkoordinasi pekerjaan, mengetahui apakah suatu pekerjaan bebas atau tergantung dengan pekerjaan yang lain dan mengetahui logika proses yang berlangsung dan hasil proses itu sendiri.

Menurut Nurhayati (2010 : 5) macam – macam *network planning* antara lain :

1. Metode diagram grafik atau CPM (*chart method diagram*), digunakan perencanaan dan pengendalian proyek dalam bentuk diagram grafik.
2. Teknik manajemen jaringan atau NMT (*network management technique*), digunakan untuk perencanaan dan pengendalian proyek berbasis teknologi informasi.
3. Prosedur dalam penilaian program atau PEP (*program evaluation procedure*), digunakan untuk merencanakan, mengendalikan dan menilai kemajuan suatu program.
4. Analisis jalur kritis atau CPA (*critical path analysis*), digunakan untuk penjadwalan dan pengendalian sumber daya proyek.
5. Metode jalur kritis atau CPM (*critical path method*), digunakan untuk menjadwalkan dan mengendalikan proyek yang sudah pernah dikerjakan sehingga data, waktu dan biaya setiap unsur kegiatan.
6. Teknik menilai dan meninjau kembali atau PERT (*program evaluation and review technique*), digunakan pada perencanaan dan pengendalian proyek yang belum pernah dikerjakan.

Salah satu prosedur yang telah dikembangkan berdasarkan jaringan kerja untuk mengatasi permasalahan pengelolaan suatu proyek adalah CPM (*critical path method*). Dalam penyusunannya terdapat simbol – simbol yang digunakan beserta fungsinya antara lain :

1. Anak panah (*arrow*), menyatakan sebuah kegiatan atau aktivitas. Kegiatan ini didefinisikan sebagai hal yang memerlukan jangka waktu tertentu dalam pemakaian sejumlah sumber daya (tenaga kerja, peralatan, material dan biaya). Di atas panah menunjukkan nama kegiatan sedangkan di bawah panah menunjukkan durasi waktu pekerjaan. Panjang dan kemiringan anak panah

tidak mempunyai arti. Kepala anak panah menunjukkan arah kegiatan dengan jurusan dari kiri ke kanan.

2. Lingkaran kecil (*node*), menyatakan sebuah kegiatan atau peristiwa atau *event* baik kejadian atas berakhir atau selesainya suatu kegiatan tertentu atau kejadian dimulainya kejadian yang lain. Kejadian atau kegiatan ini merupakan ujung atau pertemuan dari satu atau lebih kegiatan.
3. Anak panah terputus – putus, menyatakan kegiatan semu atau biasa disebut *dummy*. *Dummy* tidak mempunyai waktu tertentu, karena tidak memakai sejumlah sumber daya tetapi kegiatannya memiliki ketergantungan dengan kegiatan sebelumnya. Kegiatan semu menentukan boleh tidaknya kegiatan selanjutnya dilakukan. Hal ini berarti bahwa apabila kegiatan semu itu belum selesai dikerjakan maka kegiatan selanjutnya belum boleh dimulai.
4. *Double arrow* atau anak panah yang sejajar menyatakan suatu kegiatan merupakan lintasan kritis (*critical path*). Jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai kegiatan terakhir. Pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan menyebabkan keterlambatan penyelesaian keseluruhan proyek. Dengan demikian, maka lintasan yang tidak kritis ini mempunyai sejumlah waktu yang tersedia untuk keterlambatan atau penundaan namun tidak menyebabkan proyek menjadi terlambat hal ini biasa disebut *float*. *Float* terbagi dua yaitu *free float* (FF) dan *total float* (TF). *Free float* (FF) adalah sejumlah waktu yang tersedia untuk keterlambatan atau penundaan tetapi keterlambatan atau penundaan tersebut tidak menyebabkan kegiatan yang langsung mengikuti menjadi terlambat sedangkan *total float* (TF) adalah sejumlah waktu yang tersedia untuk keterlambatan atau penundaan tetapi keterlambatan atau penundaan tersebut tidak menyebabkan proyek menjadi terlambat dalam penyelesaiannya.

2.9.5 *Barchart*

Rencana kerja yang paling sering dan banyak digunakan adalah diagram batang (*bar chart* atau *gant charts*). *Bar charts* digunakan secara luas dalam

proyek konstruksi karena sederhana, mudah dalam pembuatannya dan mudah dimengerti oleh pemakainya.

Barcharts adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam arah kolom vertikal. Kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram : 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 memungkinkan 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 untuk menyelesaikan setiap item kegiatan.

Barcharts memiliki keunggulan sebagai berikut ;

1. Mudah dalam pembuatan dan persiapannya
2. Sederhana
3. Mudah dimengerti

meskipun memiliki keunggulan tersebut, penggunaan metode ini terbatas karena kendala sebagai berikut (Callahan, 1992) :

1. Tidak menunjukkan secara spesifik hubungan ketergantungan antara satu kegiatan dengan yang lain sehingga sulit untuk mengetahui dampak akibat keterlambatan satu kegiatan terhadap jadwal keseluruhan proyek.
2. Sukar mengadakan perbaikan atau pembaharuan, karena umumnya harus dilakukan dengan membuat bagan balok baru.
3. Untuk proyek berukuran sedang dan besar, lebih – lebih yang bersifat kompleks, penggunaan penjadwalan dengan *barchart* menyatakan bahwa metode ini hanya dilakukan untuk proyek yang kurang dari 100 kegiatan,

karena jika lebih dari 100 maka akan menjadi sulit untuk dibaca dan digunakan

2.9.6 Kurva S

Kurva S adalah hasil plot dari *barchart*, bertujuan untuk mempermudah melihat kegiatan-kegiatan yang masuk dalam suatu jangka waktu pengamatan kemajuan pelaksanaan proyek (Callahan, 1992). Bentuk dari kurva S biasanya mempunyai kemiringan yang landai pada tahap permulaan dan tahap akhir pelaksanaan proyek. Kurva S diperlukan untuk menggambarkan kemajuan pada momen tertentu. Menurut Irika dan Lenggogeni (2013:92) bahwa kurva S mempunyai beberapa kegunaan antara lain :

1. Untuk menganalisis kemajuan suatu proyek secara keseluruhan
2. Untuk mengetahui pengeluaran dan kebutuhan biaya pelaksanaan proyek
3. Untuk mengontrol penyimpangan yang terjadi pada proyek dengan membandingkan kurva S rencana dengan kurva S aktual (Imam Soeharto, 1998)

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam membuat sebuah kurva S rencana menurut Bachtiar Ibrahim adalah sebagai berikut :

1. Mencari % bobot biaya setiap pekerjaan

Persentase bobot pekerjaan

$$= \frac{V \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}}{\text{Harga Bangunan}} \times 100\%$$

2. Membagi % bobot biaya pekerjaan pada durasi
3. Menjumlahkan % bobot biaya pekerjaan pada setiap lajur waktu
4. Membuat kumulatif dari % bobot biaya pekerjaan pada laju % kumulatif bobot biaya
5. Membuat kurva S berdasarkan % kumulatif bobot biaya.