

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Jembatan

Suatu jaringan jalan raya kadang kala mengalami hambatan terhadap kelancaran arus lalu lintas. Hambatan tersebut dapat berupa rintangan alam maupun arus lalu lintas itu sendiri seperti, sungai, jalan kereta api, jalan lalu lintas biasa. Untuk mengatasi rintangan tersebut dapat dengan membangun konstruksi misalnya, gorong – gorong jika rintangan tersebut jaraknya tidak terlalu besar. Jika hambatan terlalu besar seperti sungai atau danau maka alternatif yang dipilih adalah penggunaan transportasi air, tetapi hal ini sangat tidak menguntungkan karena tergantung dari cuaca. Dari alternatif tersebut maka dicarilah alternatif lain yaitu menggunakan jembatan sebagai alat bantu penghubung dari jaringan jalan raya tersebut. Jembatan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Jembatan juga dapat dikatakan sebagai salah satu peralatan atau prasarana transportasi yang tertua didalam kehidupan manusia. Jika jembatan itu berada diatas jalan raya maka jembatan tersebut biasa disebut dengan *flyover*.

Kemajuan pengetahuan dan teknologi dibidang jembatan sejalan dengan kemajuan peradaban manusia. Adapun beberapa klasifikasi dalam bentuk struktur atas jembatan yang telah berkembang saat ini, adalah sebagai berikut

a. Jembatan Lengkung-Batu (*stone arch bridge*)

Jembatan pelengkung (busur) dari bahan batu, telah ditemukan pada masa lampau, dimasa Babylonia. Pada perkembangannya jembatan jenis ini semakin banyak ditinggalkan, jadi saat ini hanya berupa sejarah.

b. Jembatan Rangka (*truss bridge*)

Jembatan rangka dapat terbuat dari bahan kayu dan logam. Jembatan rangka kayu (*wooden truss*) termasuk tipe klasik yang sudah banyak tertinggal mekanika bahannya. Jembatan rangka kayu, hanya terbatas untuk mendukung beban yang tidak terlalu besar. Pada perkembangannya setelah

ditemukan bahan baja, tipe rangka menggunakan rangka baja, dengan berbagai macam bentuk antara lain:

- Jembatan rangka baja tipe *Howe*
- Jembatan rangka baja tipe *Pratt*
- Jembatan rangka baja tipe *arch*

c. Jembatan Gantung (*suspension bridge*)

Dengan semakin majunya teknologi dan demikian banyak tuntutan kebutuhan transportasi, manusia mengembangkan tipe jembatan gantung, yaitu dengan memanfaatkan kabel – kabel baja. Tipe ini tentunya sangat menguntungkan bila digunakan.

d. Jembatan Beton (*concreate bridge*)

Beton telah banyak dikenal dalam dunia konstruksi. Dewasa ini, dengan kemajuan teknologi beton dimungkinkan untuk memperoleh bentuk penampang beton yang beragam bahkan dalam kenyataan sekarang jembatan beton ini telah dikembangkan berupa jembatan prategang.

e. Jembatan *Cable stayed*

Jembatan tipe ini sangat baik dan menguntungkan bila digunakan untuk jembatan bentang panjang. Kombinasi penggunaan kabel dan dek beton prategang merupakan keunggulan jembatan tipe ini. Pembahasan tentang jembatan *cable stayed*.

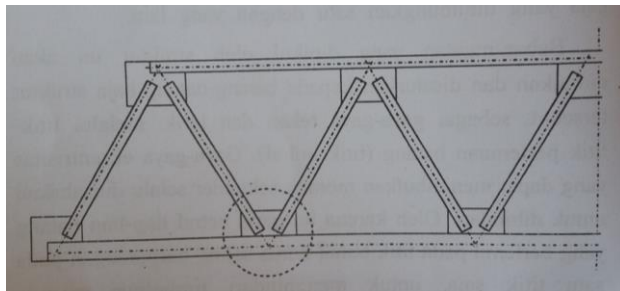
2.2. Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja adalah struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang-batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lain.

Beban atau muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan kepada batang-batang baja struktur tersebut, sebagai gaya-gaya tekan dan tarik melalui titik-titik pertemuan batang (titik buhul). Gaya-gaya eksentrisitas yang dapat menimbulkan momen sekunder selalu diusahakan untuk dihindari. Oleh karena itu garis netral tiap-tiap batang yang bertemu pada titik buhul harus saling berpotongan pada satu titik saja, untuk menghindari timbulnya momen sekunder

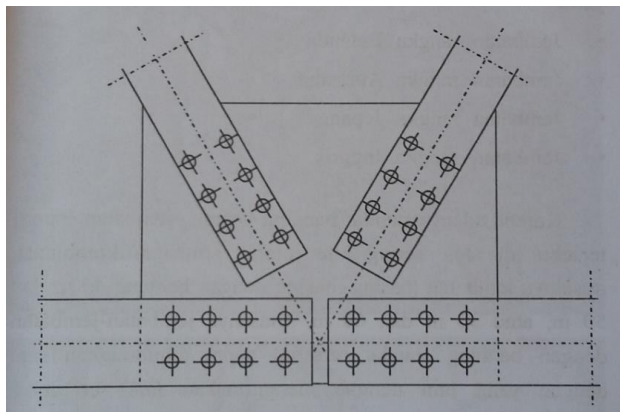
Dengan demikian ada hal-hal penting yang perlu diperhatikan pada konstruksi rangka baja yaitu:

- Mutu dan dimensi tiap-tiap batang harus kuat menahan gaya yang timbul. Batang-batang rangka dalam keadaan tidak rusak/bengkok dan sebagainya. Oleh karena itu batang-batang rangka jembatan harus dijaga selama masa pengangkutan, penyimpanan, dan pemasangan.
- Kekuatan pelat penyambung harus lebih besar daripada batang yang disambung (struktur sambungan harus lebih kuat dari batang utuh).
- Untuk mencegah terjadinya eksentrisitas gaya yang dapat menyebabkan momen sekunder, maka garis netral tiap batang yang bertemu harus berpotongan melalui satu titik (harus merencanakan bentuk pelat buhul yang tepat). Contoh gambar struktur jembatan rangka baja:



Gambar 2.1. Sketsa struktur jembatan rangka baja

Pelat buhul yang paling ujung, baik pelat buhul bawah maupun atas, biasanya panjangnya dilebihi, untuk keperluan penyambung dengan *linking steel* bila diperlukan.



Gambar 2.2. Detail sambungan titik buhul

2.2.1. Macam – Macam Jembatan Rangka Baja

Pada dasarnya jembatan rangka baja memiliki prinsip yang sama, baik cara perhitungan maupun sistem penyambungannya. Hanya saja untuk berbagai keperluan standarisasi, beberapa produsen/pabrik membuat desain standar dengan panjang bentang tertentu (misalkan 30 m, 40 m, 50 m, dan 60 m), profil-profil batang tertentu, dan mutu material tertentu pula.

Ada beberapa macam jembatan rangka baja yang sering kita temui pada saat ini, ditinjau dari negara pembuatnya, yaitu:

- Jembatan rangka Belanda
- Jembatan rangka Australia
- Jembatan rangka Jepang
- Jembatan rangka Inggris

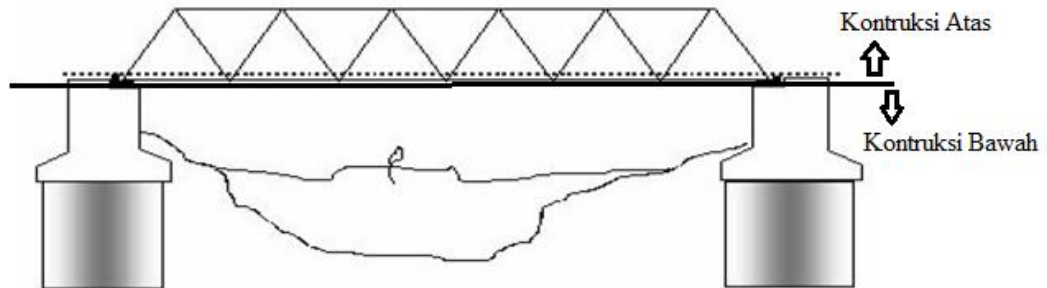
Karena adanya standar panjang bentang jembatan seperti diatas, sering kita jumpai jembatan kombinasi, misalnya jembatan masing-masing dengan bentang 40 m dan 50 m atau 30 dan 60 m. Biasanya jembatan-jembatan dengan bentang standar tersebut dapat dihubungkan satu dengan yang lain dengan menggunakan *link set* untuk keperluan tertentu. Bahkan ada juga yang dikombinasikan dengan konstruksi lain, misalnya untuk memperoleh total panjang 62 m, dipasanglah jembatan rangka baja dengan bentang 50 m dan jembatan beton 12 m.

Ada juga jembatan rangka baja yang dibuat khusus untuk jembatan darurat/sementara, seperti yang telah kita kenal sebagai jembatan Bailey.

Disamping jenis-jenis tersebut, tentunya ada juga jembatan rangka baja yang khusus didesain tersendiri (hanya untuk satu jembatan saja).

(Asiyanto, 2008:1-5)

2.2.2. Bagian – Bagian Konstruksi Jembatan Rangka



Gambar 2.3 Sket Konstruksi Jembatan Rangka Baja

Secara umum konstruksi jembatan memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (super struktur) dan bangunan bawah (sub struktur).

a. Bangunan Atas

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi jembatan yang menampung beban-beban lalu lintas, orang, barang dan berat sendiri konstruksi yang kemudian menyalurkan beban tersebut kebagian bawah. Bagian-bagian bangunan atas suatu jembatan terdiri dari:

1. Sandaran

Berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya, pada jembatan rangka baja dan jembatan beton umumnya sandaran dibuat dari pipa galvanis atau semacamnya.

2. Rangka Jembatan

Rangka jembatan terbuat dari baja profil type WF, sehingga lebih baik dalam menerima beban-beban yang bekerja secara lateral (beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu batang).

3. Trotoar

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

4. Lantai Kendaraan

Merupakan lintasan utama yang dilalui kendaraan, lebar jalur kendaraan yang diperkirakan cukup untuk berpapasan, supaya jalan kendaraan dapat lebih leluasa, pada ketentuan (PPTJ bagian 2 hal 2-8) lebar lantai satu jalur adalah 2,75 meter.

5. Gelagar Memanjang

Berfungsi menerima beban lantai kendaraan, trotoar dan beban lainnya serta menyalurkannya ke rangka utama.

6. Gelagar Melintang

Berfungsi menerima beban lantai kendaraan, trotoar, gelagar memanjang dan beban lainnya serta menyalurkannya ke rangka utama.

7. Ikatan Angin Atas / Bawah dan Ikatan Rem

Ikatan angin berfungsi untuk menahan atau melawan gaya yang diakibatkan oleh angin, baik pada bagian atas maupun bawah jembatan agar jembatan dalam keadaan stabil. Sedangkan ikatan rem berfungsi untuk menahan saat terjadi gaya rem akibat pengereman kendaraan yang melintas diatasnya.

8. Landasan

Landasan atau perletakan dibuat untuk menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas baik secara horizontal, vertikal maupun lateral dan menyalurkan

ke bangunan dibawahnya, serta mengatasi perubahan panjang yang diakibatkan perubahan suhu dan untuk memeriksa kemungkinan rotasi pada perletakan yang akan menyertai lendutan dari struktur yang dibebani. Ada dua macam perletakan yaitu sendi dan perletakan rol.

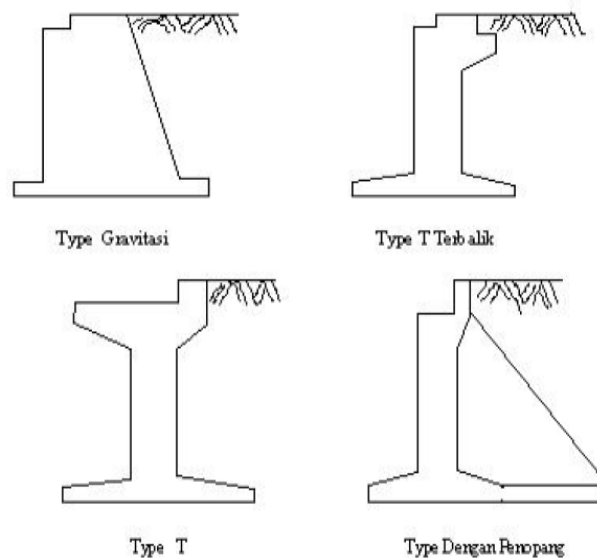
b. Bangunan Bawah

Bangunan ini terletak pada bagian bawah konstruksi yang fungsinya untuk memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas, kemudian disalurkan ke pondasi dan dari pondasi diteruskan ke tanah keras dibawahnya. Dalam perencanaan jembatan masalah bangunan bawah harus mendapat perhatian lebih, karena bangunan bawah merupakan salah satu penyangga 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.

Ditinjau dari konstruksinya, bangunan bawah dapat dibagi dalam beberapa tahap pekerjaan, dan digabung sehingga merupakan satu kesatuan bagian struktur dari jembatan. Bagian-bagian yang termasuk bangunan bawah yaitu :

1. Abutment

Abutment atau kepala jembatan adalah salah satu bagian konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai pendukung bagi bangunan diatasnya dan sebagai penahan tanah timbunan oprit. Konstruksi abutment juga dilengkapi dengan konstruksi sayap untuk menahan tanah dengan arah tegak lurus dari as jalan. Bentuk umum dari abutment yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*seatlment*) yang terjadi. Adapun jenis abutment ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan kontruksi seperti dinding atau tembok.



Gambar 2.4 Tipe – tipe Abutment

2. Pilar (*Pier*)

Pilar adalah suatu bangunan bawah yang terletak ditengah-tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk memikul beban-beban bangunan atas dan bagian lainnya dan meneruskannya ke pondasi serta di sebarakan ke tanah dasar yang keras. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan pilar pada suatu konstruksi jembatan antara lain yaitu:

- Bentang jembatan yang akan direncanakan.
- Kedalaman sungai atau perilaku sungai.
- Elemen struktur yang akan digunakan.

Pada umumnya pilar jembatan dipengaruhi oleh aliran (arus) sungai, sehingga dalam perencanaan perlu diperhatikan dari segi kekuatan dan keamanan dari bahan - bahan hanyutan dan aliran sungai itu sendiri, maka bentuk dan penempatan pilar harus tidak boleh menghalangi aliran air terutama pada saat banjir. Bentuk pilar yang paling ideal adalah elips dan dibentuk selangsing mungkin, sehingga memungkinkan aliran sungai dapat mengalir lancar disekitar konstruksi.

3. Pondasi

Pondasi berfungsi untuk memikul beban diatas dan meneruskannya kelapisan tanah pendukung tanpa mengalami konsolidasi atau penurunan yang berlebihan. Adapun hal yang diperlukan dalam perencanaan pondasi diantaranya:

- Daya dukung tanah terhadap konstruksi.
- Beban – beban yang bekerja pada tanah baik secara langsung maupun tidak langsung.
- Keadaan lingkungan seperti banjir, longsor dan lainnya.

Secara umum jenis pondasi yang sering digunakan pada jembatan ada 3 (tiga) macam yaitu:

- Pondasi langsung pangkal .
- Pondasi sumuran.
- Pondasi dalam (pondasi tiang pancang / bor).

4. Pelat Injak

Pelat injak berfungsi untuk menahan hentakan pertama roda kendaraan ketika akan memasuki awal jembatan. Pelat injak ini sangat berpengaruh pada pekerjaan bangunan bawah, karena bila dalam pelaksanaan pemadatan kurang sempurna maka akan mengakibatkan penurunan dan plat injak akan patah.

5. Oprit

Oprit berfungsi untuk menahan kestabilan tanah dikiri dan kanan jembatan agar tidak terjadi kelongsoran. Oprit terletak dibelakang abudment, oleh karena itu dalam pelaksanaan penimbunan tanah, harus dibuat sepadat mungkin.

2.2.3. Metode Pemasangan

Ada 4 (empat) metode yang dapat digunakan untuk pekerjaan pemasangan/penyetelan perangkat jembatan rangka baja yaitu:

1. Pemasangan dengan cara memakai perancah.

2. Pemasangan dengan cara kantilever (pemasangan konsol sepotong demi sepotong).
3. Pemasangan dengan cara peluncuran.
 - a. Bentang tunggal.
 - b. Bentang lebih dari satu.
4. Kombinasi dari ketiga cara diatas.

(Asiyanto, 2008:06)

2.3. Jembatan Beton Bertulang

2.3.1. Sejarah Jembatan Beton Bertulang

Penggunaan semen alam untuk konstruksi jembatan pertama kali digunakan pada abad ke-19. Perkembangan industri semen Portland mendominasi sebagai jembatan setelah tahun 1865. Beton massa banyak digunakan untuk jembatan lengkung (*arch*) dan struktur bawah konstruksi jembatan. Jembatan beton bertulang yang pertama dibangun segera setelah ditemukannya teknik pembuatan beton bertulang untuk struktus. Jembatan yang pertama berupa jembatan lengkung, dibangun di Perancis tahun 1875.

Pada tahun 1890-an banyak dibangun jembatan beton lengkung (*concrete arch bridge*) dan semakin meningkat pemakaiannya selama awal dekade abad ke-20. Slab dan gelagar jembatan beton bertulang secara luas digunakan untuk bentang – bentang pendek selamat beberapa dekade. Bentang terpanjang yang pernah dicapai dengan menggunakan gelagar beton bertulang adalah 256 *ft* (78 m).

(Agus Setyo Muntohar, ST. dan DR.IR.Bambang Supriyadi CES, DEA, 2007:67)

Pada dasarnya dari jembatan beton bertulang dan beton prategang dapat berupa,

Tabel 2.1 Penggunaan Jenis Beton Bertulang

Penggunaan Jenis		
1. Jembatan Slab	Beton Bertulang	Beton Prategang
2. Jembatan Gelagar-Dek	Beton Bertulang Balok T	Beton Prategang Stringer
3. Jembatan <i>Box-girder</i>	Beton Bertulang	Beton Prategang
4. Jembatan Bentang Menerus		
5. Jembatan Lengkung	<i>Open Sprandel</i>	<i>Filled Sprandel</i>
6. Jembatan <i>Rigid-frame</i>		
7. Jembatan <i>Cable-stayed</i>		

Jembatan beton lengkung Sydney yang dibangun tahun 1964 melintas di sungai *Poramatta* merupakan jembatan beton bertulang terpanjang didunia yaitu 1000 *ft* (300m). Bentuk serupa juga seerti dibangun di Swedia tahun 1943, yaitu Jembatan *Sando*. Adapun berbagai macam jembatan beton bertulang meliputi,

a. Jembatan Slab Beton Bertulang

Sutu jembatan slab pada tumpuan sederhana tersusun dari pelat monolit, dengan bentang dari tumpuan ke tumpuan tanpa didukung oleh gelagar atau balok melintang (*stringer*). Jembatan beton bertulang dengan struktur atas berupa slab akan lebih efisien bila digunakan untuk bentang pendek. Hal ini disebabkan karena berat slab yang tidak ekonomis lagi dengan bentang yang lebih panjang. Struktur slab lebih sesuai untuk jembatan dengan bentang 35*ft* ($\pm 10m$). Akan tetapi, banyak perencanaan menyatakan bahwa penggunaannya lebih ekonomis bila tidak lebih dari 20 – 25*ft* ($\pm 16 – 8m$). Sistem bentang menerus akan menambah penghematan panjang jembatan dengan pertimbangan kesederhanaan dalam desain dan pekerjaan lapangan. Pada bentang sederhana panjang bentang adalah jarak ke pusat tumpuan. Slab harus diperkuat pada semua bagian yang tidak ditumpu. Dalam arah

longitudinal, perkuatan dapat berupa bagian slab dengan penulangan tambahan, balok yang berintegral dengan slab dan lebih tinggi dari slab atau yang berintegral antara slab dan kerb.

b. Jembatan Gekagar Kotak (*box girder*)

Jembatan gelagar kotak (*box girder*) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab diatas dan dibawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan dengan bentang – bentang panjang. Bentang sederhana dengan bentang $40ft (\pm 12m)$ menggunakan bentang ini. Tapi biasanya bentang gelagar kotak bertulang lebih ekonomis antara $60 - 100ft (\pm 18 - 30m)$ dan biasanya didesain sebagai struktur menerus diatas pilar.

c. Jembatan Gelagar Dek (*dek-girder*)

Jembatan gelagar dek terdiri atas gelagar utama arah longitudinal dengan slab beton membentangi diantara gelagar. Spasi gelagar longitudinal atau balok lantai dibuat sedemikian sehingga hanya cukup mampu menggunakan slab tipis, sehingga beban mati menjadi sangat kecil. Jembatan gelagar dek mempunyai banyak variasi dalam desain dan pabrikan salah satunya adalah jembatan balok-T. Jembatan tipe ini digunakan sangat luas dalam konstruksi jalan raya, tersusun dari slab beton yang didukung secara integral dengan gelagar. Penggunaan akan lebih ekonomis pada bentang $40 - 80ft (\pm 15 - 25m)$ pada kondisi normal tanpa kesalahan pekerjaan. Beberapa variasi gelagar – dek dalam desain dan fabrikasi antara lain :

- Balok dan lantai dicetak ditempat (*cast in place*) secara monolit
- Balok pracetak dan lantai cetak ditempat
- Balok pracetak dan lantai pracetak

2.3.1. Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

Umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentuk panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

a. Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*), dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan beton relative tinggi dibandingkan kuat tariknya dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Oleh karena itu, pada penggunaannya umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang mampu membantu kelemahannya. Terutama pada bagian menahan gaya tarik.

Bila tidak disebutkan dalam spesifikasi teknik, kuat tekan beton pada umurnya 28 hari. 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 30 MPa.

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

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

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

- $0,6\sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- Dihitung secara probabilitas statistic 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 $0,45f_c'$, dimana f_c' , adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

Modulus elastisitas beton E_c , nilainya tergantung pada mutu beton yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak 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.

b. Baja Tulangan Non-Prategang

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 dibawah ini:

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

Untuk tegangan ijin pada pembebanan sementara boleh ditingkatkan 30% dari nilai tegangan ijin pada pembebanan sementara. Modulus elastisitas baja tulangan, E_s untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh f_y bisa diambil sama dengan 200.000 Mpa.

2.3.2. Perencanaan Kekuatan Struktur Beton Bertulang

Perencanaan harus berdasarkan pada suatu prosedur yang memberikan jaminan keamanan pada tingkat yang wajar, berupa kemungkinan yang dapat diterima untuk mencapai suatu keadaan batas selama umur rencana jembatan.

Perencanaan kekuatan balok, pelat, kolom beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, geser, lentur dan aksial, geser dan punter, harus didasarkan pada cara perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor (PBKT). Untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, seperti untuk perencanaan terhadap lentur dari komponen struktur beton prategang penuh, atau komponen struktur lain sesuai kebutuhan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, dapat digunakan cara perencanaan berdasarkan batas layan.

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimate 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).

a. Perencanaan Berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)

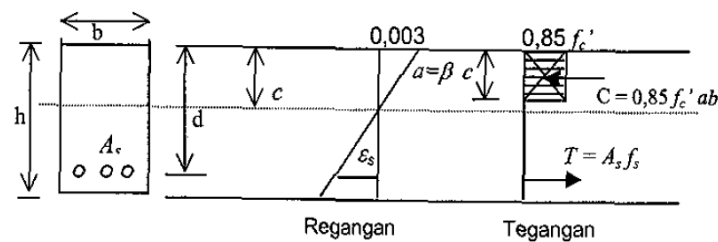
Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan:

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

Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dengan 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 dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $\bar{a} = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

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



Gambar 2.5 Regangan dan Tegangan Pada Penampang Beton Bertulang

Faktor β_1 harus diambil sebesar

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

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

b. Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL)

Dalam perencanaan berdasarkan batas laya struktur dianggap berperilaku elastis linear. Kekuatan rencana yang diizinkan R_w harus ditentukan berdasarkan persyaratan yang sesuai untuk struktur yang ditinjau (untuk komponen balok, komponen tekan, dan sebagainya).

Keamanan suatu komponen struktur SF ditentukan sedemikian rupa sehingga kuat rencana yang diizinkan R_w tidak lebih kecil dari pengaruh aksi rencana S_w .

$$S_w \leq R_w = \frac{\text{Kapasitas ultimate}}{SF} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan demikian perencanaan secara PBL dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas layan, yang terdiri antara lain dari:

- Tegangan kerja
- Deformasi permanen
- Vibrasi
- Korosi, retak dan fatik
- Bahaya banjir disekitar jembatan

Kombinasi pembebanan yang dipilih baik kondisi batas maupun layan seharusnya mengikuti pembebanan BMS atau SIN Pembebanan untuk jembatan.

2.4. Dasar – Dasar Perencanaan

2.4.1. Pembebanan

Tabel dibawah ini berisi tentang berat isi untuk beban mati.

Tabel 2.2 Berat Isi Untuk Beban Mati (kN/m³)

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Masa (kg/m ³)
1	Campuran aluminium	26.7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
3	Besi tuang	71.0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2320
6	Aspal beton	22.0	2240
7	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
8	Beton	22.0-25.0	2240-2560
9	Beton prategang	25.0-26.0	2560-2640
10	Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
11	Timbal	111	11 400
12	Lempung lepas	12.5	1280
13	Batu pasangan	23.5	2400
14	Neoprin	11.3	1150
15	Pasir kering	15.7-17.2	1600-1760
16	Pasir basah	18.0-18.8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Baja	77.0	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (keras)	11.0	1120
21	Air mumi	9.8	1000
22	Air garam	10.0	1025
23	Besi tempa	75.5	7680

Tabel dibawah ini berisi tentang faktor beban untuk berat sendiri.

Tabel 2.4 Faktor Beban Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$S_{i,j};MS_i$		$U_{i,j};MS_i$	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, aluminium	1,0	1,1	0,9
	Beton pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

Tabel dibawah ini berisi tentang faktor beban untuk beban mati tambahan:

Tabel 2.5 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$S_{i,j};MA_i$		$U_{i,j};MA_i$	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan umum	1,0 (1)	2,0	0,7
	Keadaan khusus	1,0	1,4	0,8
CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Berat sendiri dari bagian – bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dengan elemen – elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing – masing bagian struktural dan elemen non struktural. Masing – masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi pada waktu merupakan faktor beban biasa dan yang berkurang, perencana jembatan menentukan elemen – elemen tersebut.

a. Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut,

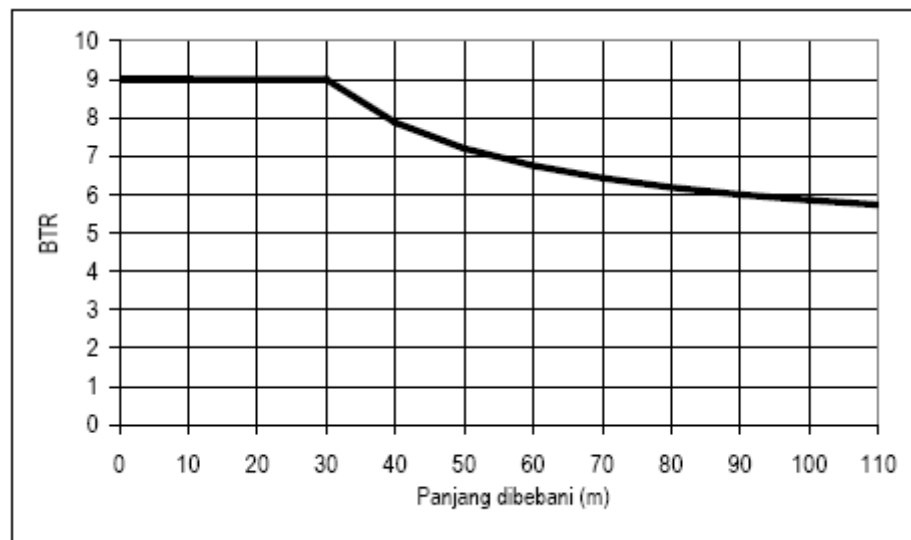
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan pengertian :

q adalah intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan.

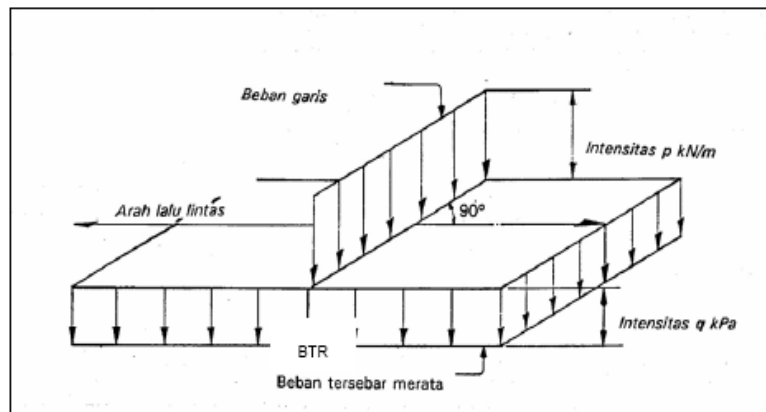
L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).



Gambar 2.6 Beban “D” : BTR vs Panjang Yang Dibebani

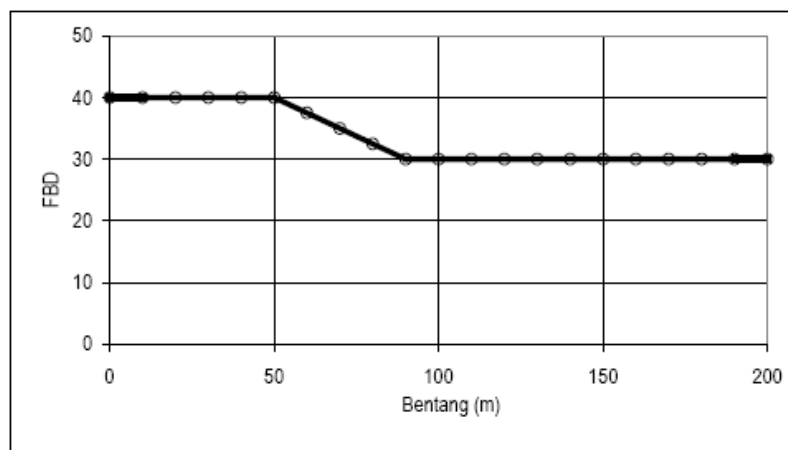
b. Beban garis (BGT)

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.



Gambar 2.7 Beban Lajur D

FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.8 FBD Untuk Beban Lajur D

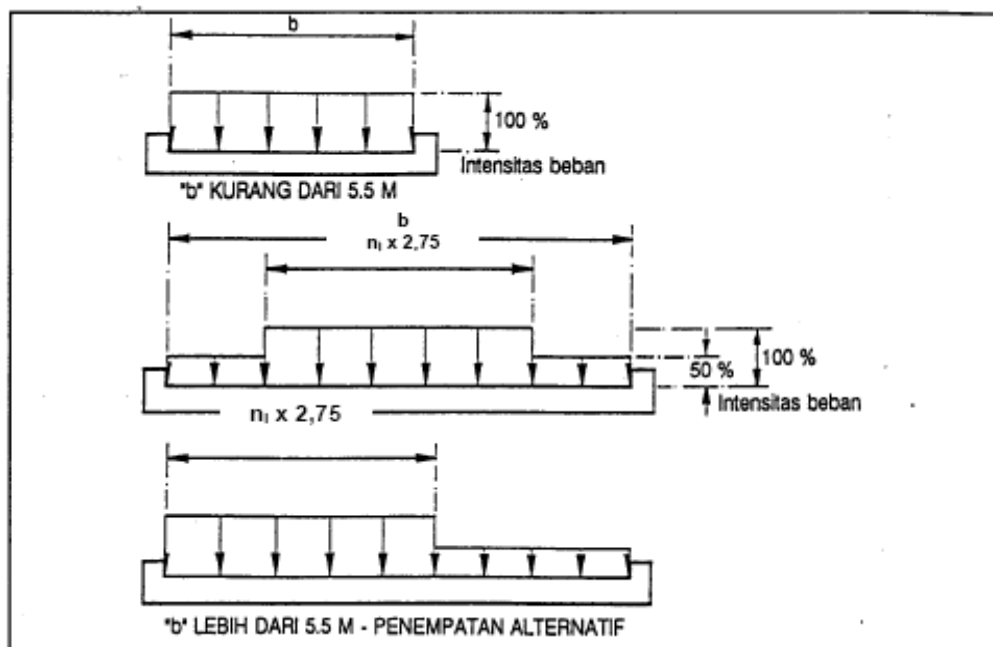
c. Penyebaran beban D pada arah melintang

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” pada arah melintang harus sama.

Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %.

2. Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_l) yang berdekatan, dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_l \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $n_l \times 2,75 p$ kN, ke dua - duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar $n_l \times 2,75$ m;
3. Lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 %.



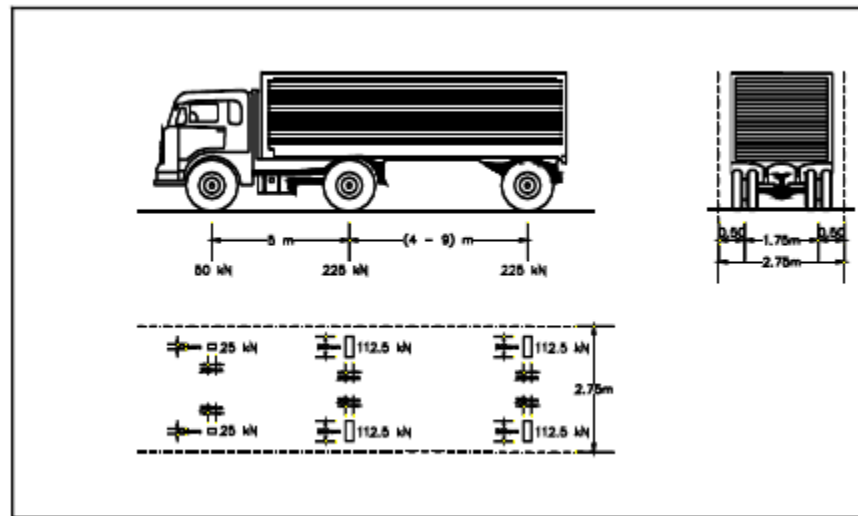
Gambar 2.9 Penyebaran Pembebanan D Pada Arah Melintang

Tabel dibawah ini berisi tentang faktor beban akibat beban "D"

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Beban D

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$S_{II}TD_i$	$U_{II}TD_i$
Transien	1,0	1,8

d. Beban truk “T”



Gambar 2.10 Pembebanan Truk T (500 kN)

FBD diambil 30%. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Beban T

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TT_i}$	$K_{U;TT_i}$
Transien	1,0	1,8

e. Beban pejalan kaki

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban per m² dari luas yang dibebani. Luas yang dibebani adalah luas yang terkait dengan elemen bangunan yang ditinjau. Untuk jembatan, pembebanan lalu lintas dan pejalan kaki jangan diambil secara bersamaan pada keadaan batas ultimit. Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa

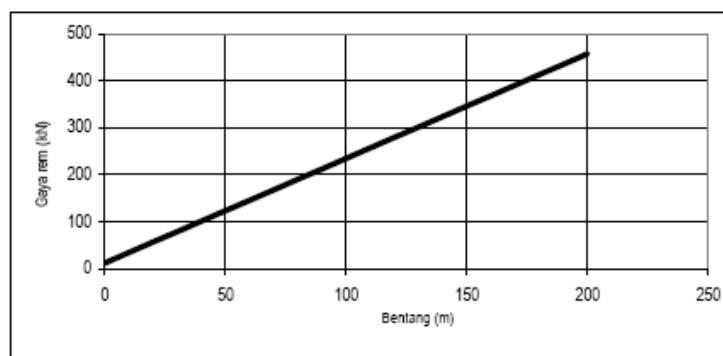
memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN. Tabel dibawah ini berisi faktor akibat pembebanan untuk pejalan kaki.

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Beban Pejalan Kaki

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S_i;TP_i}$	$K_{U_i;TP_i}$
Transien	1,0	1,8

Sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu $w^* = 0,75$ kN/ meter. Beban-beban ini bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertikal pada masing-masing sandaran.

f. Gaya rem



Gambar 2.11 Gaya Rem Per Lajur 2,75 m (KBU)

Bekerjanya gaya – gaya diarahkan memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada semua jalur lalu lintas. Tanpa dikalikan dengan factor beban dinamis dan dalam satu jurusan.

Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 3m m, digunakan rumus 1, $q = 9$ kPa.

Dalam memperkirakan pengaruh gaya terhadap perletakan dan bangunan bawah jembatan, maka gesekan atau karakteristik perpindahan geser dari perletakan ekspansi dan kekakuan bangunan bawah harus diperhitungkan.

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal ini dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka factor beban ultimate terkurangi sebesar 40% boleh digunakan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Pembebanan lalu lintas 70% dan factor pembesaran diatas 100% BGT dan beban terbagi rata tidak berlaku untuk gaya rem.

Tabel dibawah ini berisi tentang faktor beban akibat gaya rem.

Tabel 2.9 Faktor Beban Akibat Gaya Rem

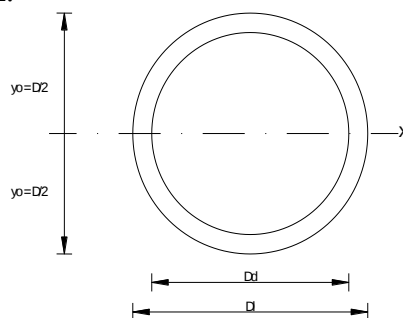
Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks;;TB;	Ks;;TB;
Transien	1,0	1,8

2.4.2. Metode Perhitungan

- **Metode Perhitungan Jembatan Beton Bertulang**

- a. Perhitungan Pipa Sandaran

Untuk beban-beban yang bekerja pada pipa sandaran yaitu berat sendiri dan beban hidup sebesar 0,75 kN / m yang bekerja sebagai beban merata pada pelat lantai. Pipa sandaran ini dianggap sebagai balok menerus dengan perletakan sendi-sendi.



Gambar 2.12 Penampang Pipa Sandaran

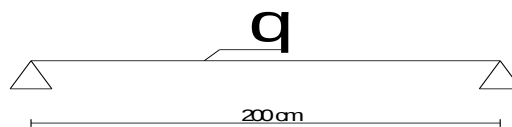
1) Luasan Penampang pipa :

$$A = \frac{1}{4} \times \pi (D_L^2 - D_d^2) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

A = Luas penampang (cm^2) D_L = Diameter luar pipa sandaran (cm) D_d = Diameter dalam pipa sandaran (cm)

2) Pembebanan pada Pipa Sandaran



Sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana dayalayan yaitu $q = w = 0,75 \text{ kN/m}$. Tidak ada ketentuan beban ultimate untuk sandaran (RSNI T-02-2005 hal 56)

$$M_x = 1/8 \cdot q_x \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

$$M_y = 1/8 \cdot q_y \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

3) Modulus lentur plastis terhadap sumbu x (Z_x)

$$Z_x = 1/2 \cdot A \cdot \frac{D}{2} \dots \dots \dots (2.9)$$

4) Momen nominal penampang (M_n) untuk penampang kompak :

$$M_n = Z_x \cdot F_y \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \dots \dots \dots (2.11)$$

b. Perhitungan Tiang Sandaran

1) Pembebanan :

Beban yang terjadi pada tiang sandaran berasal dari berat pipa sandaran (V), berat tiang sandaran sendiri (S) dan gaya horizontal.

2) Perhitungan Momen

- Momen akibat beban mati (M_D)

M_D = Besar beban mati x jarak (kNm)

- Momen akibat beban hidup (M_L)

M_L = Beban hidup x jarak (kNm)

3) Penulangan :

Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$d = h - p - 0,5 \phi$ tulangan yang dipakai..... (2.12)

Dimana :

d' = jarak tulangan tekan (mm)

h = lebar tiang sandaran (mm)

p = selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

dimana :

ρ = rasio penulangan

M_u = momen ultimate (KNm)

b = lebar per meter tiang (mm)

d = jarak tulangan (mm)

ϕ = faktor reduksi kekuatan (0,8)

Rasio penulangan keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + f_y} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,0}{f_y} \dots \dots \dots (2.15)$$

- Tulangan pembagi

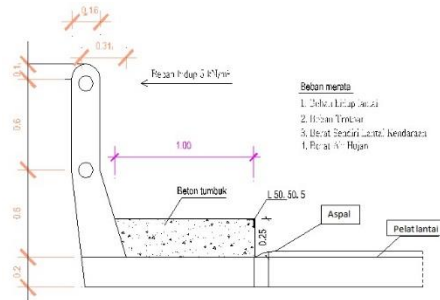
$$A_{s_{tulangan\ pembagi}} = 50 \% \times A_s \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan (mm^2)

c. Lantai Trotoar

Dalam perhitungan lantai trotoar beban-beban yang terjadi adalah beban dari tiang sandaran, pipa sandaran dan trotoar.



Gambar 2.13 Penampang Trotoar

Ketetapan Beban : 1. Beban hidup lantai trotoar	= 5 KN/m^2
2. Beban trotoar	= 24 KN/m^3
3. Beban sendiri lantai kendaraan	= 24 KN/m^3
4. Berat air hujan	= $9,8 \text{ KN/m}^3$

1) Pembebanan :

- Beban terpusat (P) merupakan penjumlahan dari :

- Beban pipa sandaran (KN)
- Beban tiang sandaran (KN)

- Beban merata (q) merupakan penjumlahan dari :

- Beban hidup lantai trotoar = $5 \text{ kN/m}^2 \times \text{Luasan trotoar}$ (KN).....(2.17)
- Beban trotoar = $24 \text{ kN/m}^3 \times \text{Volumenya}$ (KN)(2.18)
- Beban sendiri lantai trotoar = $24 \text{ kN/m}^3 \times \text{Volumenya}$ (KN)(2.19)
- Berat air hujan = $9,8 \text{ kN/m}^3 \times \text{Volumenya}$ (KN)(2.20)

- Beban terfaktor = $1,3 \times \text{total beban mati}$(2.21)

2) Perhitungan Momen :

- Momen akibat beban mati (M_D)

$$M_D = \text{Besarnya beban mati} \times \text{jarak (kN.m)}$$

- Momen akibat beban hidup (M_L)

$$M_L = \text{Beban horizontal} \times \text{jarak (kN.m)}$$

3) Penulangan :

- Perhitungan Tebal Pelat (mm)

Menurut RSNI T-12-2004 hal 38, pelat lantai berfungsi sebagai lantai kendaraan harus mempunyai tebal minimum (t_s) mempunyai ketentuan sebagai berikut :

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \dots\dots\dots (2.23)$$

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d = h - p - 0,5 \phi \text{ tulangan yang dipakai} \dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$$d' = \text{jarak tulangan tekan (mm)}$$

$$h = \text{tebal pelat (mm)}$$

$$p = \text{selimut beton (mm)}$$

- Rasio penulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \phi b \cdot (d)^2 \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

$$\rho = \text{rasio tulangan}$$

$$M_u = \text{momen ultimate (kNm)}$$

$$b = \text{lebar per meter tiang (mm)}$$

$$d = \text{jarak tulangan (mm)}$$

$$\phi = \text{faktor reduksi kekuatan (0,8)}$$

Rasio penulangan keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

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

- Tulangan pembagi :

$$A_{Stulangan\ pembagi} = 50 \% \times A_s$$

Dimana :

$$A_s = \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)}$$

d. Lantai Kendaraan

Dalam perhitungan lantai kendaraan beban-beban yang terjadi adalah beban dari berat sendiri plat, berat aspal, berat air hujan, beban roda, beban hidup dan angin.

Ketetapan beban :

- Beban Aspal $= 22 \text{ kN / m}^3$
- Beban sendiri lantai Kendaraan $= 24 \text{ kN / m}^3$
- Berat air hujan $= 9,8 \text{ kN / m}^3$

1) Pembebanan dan Perhitungan Momen

- Beban mati

Terdiri dari berat sendiri Lantai Kendaraan, berat aspal, dan berat air hujan.

a) Beban aspal

$$= \text{Luasan} \times \text{Berat Jenis Aspal} \times \text{faktor beban (kN/m)} \dots\dots\dots (2.27)$$

b) Beban sendiri plat

$$= \text{Luasan} \times \text{Berat jenis beton} \times \text{faktor beban (kN/m)} \dots\dots\dots (2.28)$$

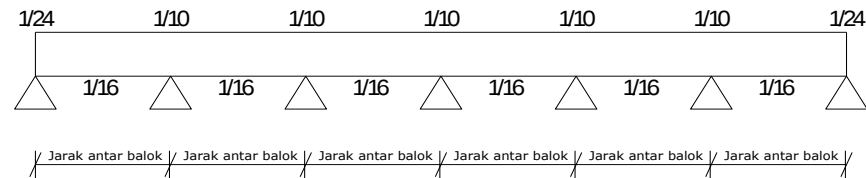
c) Berat air hujan

$$= \text{Luasan} \times \text{Berat Jenis air hujan} \times \text{faktor beban (kN/m)} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\text{Didapat } q_u \text{ (total beban)} = \dots\dots\dots \text{ kN / m}$$

- Momen

Dihitung Momen yang terjadi pada arah x



Gambar 2.14 Momen pada lantai kendaraan

$$M_x \max = 1/10 \times q_u \times L^2 \dots\dots\dots (2.30)$$

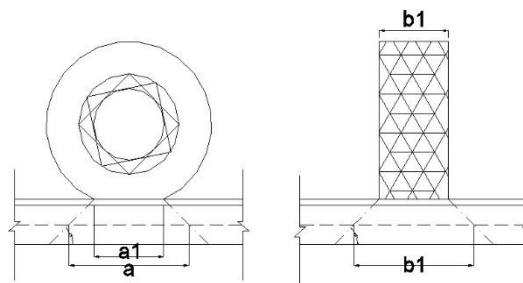
$$M_y \max = 1/3 \times M_x \max \dots\dots\dots (2.31)$$

- Beban Hidup

Dalam menghitung beban lantai kendaraan digunakan beban T.

Beban-beban yang terjadi :

- Muatan beban truck (T) dengan beban roda 1000 kN
- Koefisien dinamis 0,3 (DLA) untuk beban T



Gambar 2.15 Penampang Beban Roda

Untuk beban “ T ” dianggap bahwa beban tersebut menyebar kebawah dengan sudut 45° sampai ketengah-tengah lantai.

$$a1 = 200 \text{ mm}$$

$$b1 = 500 \text{ mm}$$

$$a = a1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton}) \dots\dots\dots (2.32)$$

$$b = b1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton}) \dots\dots\dots (2.33)$$

$$\text{Beban roda total} = \text{PU} + \text{DLA} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\text{Penyebaran Beban (T)} = \frac{\text{beban roda total}}{\text{luas bidang kontak roda}} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Beban Kejut :

$$K = 1 + \frac{20}{50+L} \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana : L = Panjang jembatan = 20 m

Pembebanan oleh truck

Pembebanan oleh truck 112,5 kN (RSNI 2005)

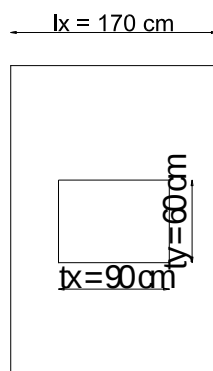
$$T_u = 1,8 \times 1,3 T \dots\dots\dots (2.37)$$

Pembebanan oleh truk :

$$q = \frac{T_u \times K}{a \times b} \dots\dots\dots (2.38)$$

e. Peninjauan keadaan roda pada saat melewati jembatan :

1) Kendaraan di tengah bentang (2 roda belakang ditengah bentang)



Gambar 2.16 Beban Roda

$$\frac{t_x}{L_x} = \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\frac{t_y}{L_y} = \dots\dots\dots (2.40)$$

Dari table bitner didapat =

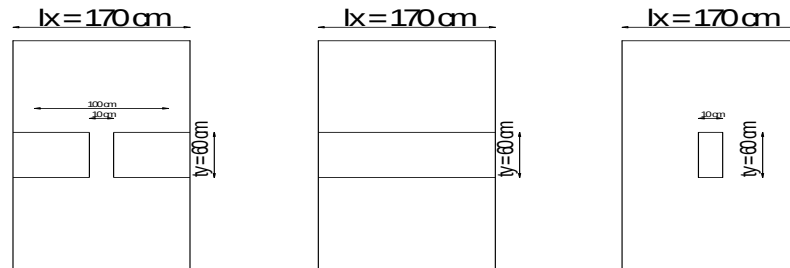
$F_{xm} = \dots\dots\dots$

$F_{ym} = \dots\dots\dots$

$$M_x = F_{xm} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (KNm) } \dots\dots\dots (2.41)$$

$$M_y = F_{ym} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (KNm) } \dots\dots\dots (2.42)$$

2) Kendaraan di tengah bentang (2 roda belakang berpapasan)



Gambar 2.17 Beban Roda

$$\frac{t_x}{L_x} = \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\frac{t_y}{L_x} = \dots\dots\dots (2.44)$$

Dari table bitner didapat =

$F_{xm} = \dots\dots\dots$

$F_{ym} = \dots\dots\dots$

$$M_x = F_{xm} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (KNm) } \dots\dots\dots (2.45)$$

$$M_y = F_{ym} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (KNm) } \dots\dots\dots (2.46)$$

Tabel 2.10 Kombinasi Pembebanan Lantai Kendaraan

No	Jenis beban	Beban Mati (KNm)	Beban Hidup (KNm)	Total Beban (KNm)
1	Mux			
2	Muy			

2) Penulangan :

- Penentuan Tebal Minimum :

Pelat lantai berfungsi sebagai Lantai kendaraan harus mempunyai tebal min (t_s) dengan ketentuan sebagai berikut :

$t_s : 200 \text{ mm}$

$$t_s : (100 + 40 / L) \text{ mm } \dots\dots\dots (2.47)$$

(RSNIT – 12 – 2004)

- Penulangan arah x dan y

Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0,5 \varnothing \text{ tulangan yang dipakai} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$d' = \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - (\varnothing \text{ tulangan pokok arah } x) - \left(\frac{1}{2} \varnothing \text{ tulangan pokok arah } y \right) \dots\dots\dots (2.49)$$

Dimana :

d' = jarak tulangan (mm)

h = tebal pelat (mm)

p = selimut beton (mm)

Rasio tulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \varphi . b . d' \dots\dots\dots (2.50)$$

Didapat ρ dari tabel buku Gideon Kusuma

Dimana :

ρ = rasio tulangan

M_u = Momen Ultimate (kN.m)

b = Lebar per meter tiang (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

φ = Faktor reduksi (0,8)

- Rasio penulangan keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,0}{f_y} = \frac{1,0}{400} = 0,0025 \dots\dots\dots (2.53)$$

$$A_s = \rho . b . d \dots\dots\dots (2.54)$$

- f. Balok Diafragma

Balok diafragma adalah balok yang digunakan untuk mengikat balok induk untuk menahan geser.

1)Pembebanan :

Balok diafragma hanya menahan berat sendiri balok

Berat sendiri balok

$$= \text{Luasan balok} \times \text{berat jenis beton (24 kN/m}^3) \dots\dots\dots (2.55)$$

$$q_u = 1,3 \times \text{berat sendiri balok} \dots\dots\dots (2.56)$$

2)Perhitungan Momen :

$$- M_{\text{max tumpuan}} = 1/8 \times q_u \times L^2 \dots\dots\dots (2.57)$$

$$- M_{\text{max lapangan}} = 1/12 \times q_u \times L^2 \dots\dots\dots (2.58)$$

3)Penulangan

Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0,5 \phi \text{ tulangan yang dipakai} \dots\dots\dots (2.59)$$

Dimana :

d' = jarak tulangan (mm)

h = tebal balok (mm)

p = selimut beton (mm)

- Penulangan Tumpuan dan lapangan

$$K_{\text{perlu}} = M_{\text{max}} / \theta b (d')^2 \dots\dots\dots (2.60)$$

Rasio penulangan keseimbangan (ρb)

$$\rho b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600+f_y} \dots\dots\dots (2.61)$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho b \dots\dots\dots (2.62)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,0}{f_y} = \frac{1,0}{400} = 0,0025 \dots\dots\dots (2.63)$$

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d' \dots\dots\dots (2.64)$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan (mm^2)

ρ = Rasio tulangan

b = Lebar per meter balok (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

- Tulangan Pembagi / Suhu dan Susut

$$A_{S_{\text{tulangan pembagi}}} = 20\% \times A_s \quad \dots\dots\dots (2.65)$$

- Tulangan geser

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.66)$$

Ø $V_c > V_u$ Tidak diperlukan tulangan sengkang

Ø $V_c < V_u$ Diperlukan Tulangan sengkang

$$V_{S_{\text{maks}}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.67)$$

$V_{S_{\text{maks}}} > V_s$ Ok ! Dimensi balok memenuhi persyaratan kuat geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.68)$$

$S_{\text{max}} = d/2$ atau 600 mm (ambil nilai yang terkecil) bila,

$$V_s \leq \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.69)$$

$S_{\text{max}} = d/4$ atau 300 mm (ambil nilai yang terkecil) bila,

$$V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.70)$$

Namun dalam segala hal, V_s harus tidak lebih besar dari, $\frac{2}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$

$$\text{Tulangan geser minimum, } A_{v_{\text{min}}} = \frac{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot s}{f_y} = (mm^2) \dots\dots (2.71)$$

Dipakai tulangan..... maka jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b} = (mm) \quad \dots\dots\dots (2.72)$$

g. Balok Memanjang (balok induk)

Dalam perhitungan balok memanjang beban yang diperhitungkan adalah beban merata termasuk berat pelat, berat air hujan, dan berat sendiri balok dan ditambah dengan beban terpusat dan muatan bergerak.

1) Pembebanan

Ketetapan beban :

- a) Beban Aspal = 22 kN/m^3
- b) Beban Beton = 24 kN/m^3
- c) Berat Air hujan = $9,8 \text{ kN/m}^3$

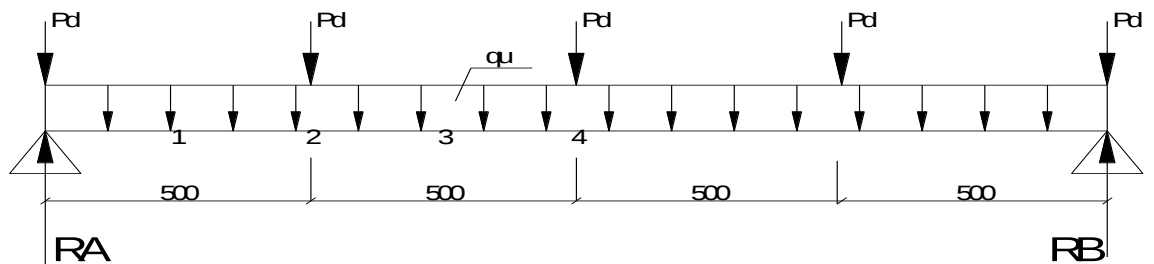
- Akibat beban mati

a) Beban Merata

- Beban berat air hujan = (Tebal air hujan rencana) x (Lebar lantai)
x BJ air hujan (KN/m)..... (2.73)
- Beban Aspal
= (Tebal Aspal) x (Lebar lantai) x BJ Aspal (KN/m).....(2.74)
- Berat Lantai Kendaraan = (Tebal Lantai) x (Lebar Lantai Kendaraan)
x BJ beton (KN/m).....(2.75)
- Berat Lantai trotoar
= (Tebal Lantai) x (Lebar Lantai trotoar) x BJ beton (2.76)
- Berat Tiang Sandaran = (Luas t.sandaran beton x BJ beton) +
(Luas t.sandaran baja x BJ baja).... (2.77)
- Berat sendiri Balok = Luas Penampang x BJ beton..... (2.78)

b) Beban terpusat (Pd)

- Berat diafragma = Luasan balok x Berat Jenis beton..... (2.79)
- Gaya Lintang akibat beban mati



c) Akibat Beban Hidup

Beban garis (P) = 49 Kn/m (RSNIT – 02 – 2005 : 16)

Beban Merata (q) = $L \leq 30 \text{ m} = 9,0 \text{ kPa} = 9,0 \text{ kN/m}^2$

- Perhitungan Momen :

Dihitung dengan membuat beban garis akibat beban mati dan beban bergerak yang dikombinasikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.11 Kombinasi Pembebanan Balok Induk

Titik	M. Beban Mati (KNm)	M. Beban Bergerak (KNm)	$M_u = 1,3 M_{DL} + 1,8 M_{LL}$ (KNm)
MA	0	0	0
M_{1-1}			
M_{2-2}			
M_{3-3}			
M_{4-4}			

- Penulangan:

Lebar efektif

a) $b_{ef} \leq b_w + 16 h_f$

b) $b_{ef} \leq \frac{1}{4} \times L$

c) $b_{ef} \leq \text{jarak antar balok dari as ke as}$

$$d = h - p - 0,5 \times \text{tulangan pokok} - \text{tulangan pembagi} \dots\dots\dots (2.80)$$

$$M_R = \phi b (d')^2 \dots\dots\dots (2.81)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}} \right) \dots\dots\dots (2.82)$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y \dots\dots\dots (2.83)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.84)$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

- *Luas Tulangan (As)*

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (2.85)$$

- *Cek jarak Tulangan :*

Jarak minimum antar tulangan sejajar :

a) $1,5 \times \text{ukuran nominal maksimum agregat} \dots\dots\dots (2.86)$

b) $1,5 \times D_{\text{tulangan}} \dots\dots\dots (2.87)$

c) 40 mm

Jarak minimum antar tulangan sejajar dalam lapisan :

$$1,5 \times D_{\text{tulangan}} \dots\dots\dots (2.88)$$

(RSNI T – 12 – 2004 – hal 30)

- *Tulangan Geser*

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.89)$$

Ø $V_c > V_u \dots\dots\dots$ Tidak diperlukan tulangan sengkang

Ø $V_c < V_u \dots\dots\dots$ Diperlukan Tulangan sengkang

$$V_{\text{Smaks}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.90)$$

$V_{\text{Smaks}} > V_s \dots\dots\dots$ Ok ! Dimensi balok memenuhi persyaratan kuat geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.91)$$

$S_{\text{max}} = d/2$ atau 600 mm (ambil nilai yang terkecil) bila,

$$V_s \leq \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.92)$$

$S_{\text{max}} = d/4$ atau 300 mm (ambil nilai yang terkecil) bila,

$$V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.92)$$

Namun dalam segala hal, V_s harus tidak lebih besar dari, $\frac{2}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$

$$\text{Tulangan geser minimum, } A_{v\text{min}} = \frac{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot s}{f_y} = (mm^2) \dots\dots\dots (2.93)$$

Dipakai tulangan, maka jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b} = (mm) \dots\dots\dots (2.94)$$

- Kontrol Lendutan Balok

Momen Tiap Potongan dari Beban Layan (Beban Tidak terfaktor)

$$\text{Modulus elastic beton } E_c = 4700 \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.95)$$

$$\text{Modulus elastic baja, } E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa} \dots\dots\dots (2.96)$$

$$\text{Nilai perbandingan modulus elastisitas, } n = E_s / E_c \dots\dots\dots (2.97)$$

$$\text{Modulus keruntuhan lentur be ton, } f_r = 0,7 \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.97)$$

Y_t = Jarak dari serat teratas ke garis netral

Y_b = Jarak dari garis netral ke serat paling bawah

$$\text{Inersia bruto penampang balok, } I_g = 1/12 \times A \times S \dots\dots\dots (2.98)$$

A = Luas Penampang

S = Jarak dari titik berat ke garis netral

$$\text{Jarak garis netral terhadap sisi atas beton, } c_1 = \frac{n \times A_s}{b} \dots\dots\dots (2.99)$$

b = Lebar penampang balok

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton, dihitung sebagai berikut :

$$I_{cr} = 1/3 \times b \times c^3 \times n \times A_s \times (d - c)^2 \dots\dots\dots (2.100)$$

d = tinggi efektif

$$\text{Momen retak , } M_{cr} = \frac{(f_r \times I_g)}{y_t} \dots\dots\dots (2.101)$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan ,

$$e = \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_A} \right)^3 \right] \cdot I_g + \left(1 - \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_A} \right)^3 \right] \right) \cdot I_{cr} \dots\dots\dots (2.102)$$

Lendutan elastic seketika akibat beban mati dan beban hidup,

$$\delta e = \frac{5}{384} \times q \times \frac{L^4}{(E_c \times I_e)} + \frac{1}{48} \times p \times \frac{L^3}{(E_c \times I_e)} \dots\dots\dots (2.103)$$

p = Beban terpusat

q = Beban Merata

Lendutan total pada plat lantai jembatan $\delta e = \frac{Ix}{250} \dots \dots \dots (2.104)$

• **Metode Perhitungan Jembatan Rangka Baja**

a. Pelat Lantai Kendaraan

1) Tebal pelat lantai

$$T_s \geq 200 \text{ mm}$$

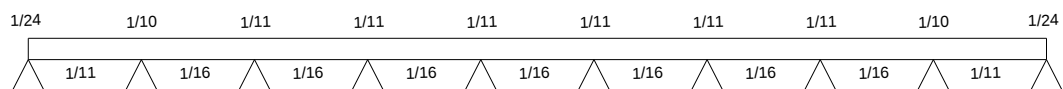
$$T_s \geq (100 + 40.l)$$

2) Pembebanan

- Beban mati

Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut maka akan diperoleh q_{DLult} .

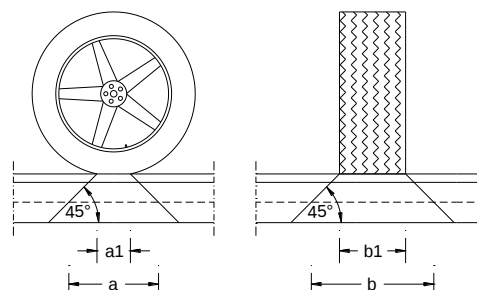
Pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.



$$M_x = M_{DLult} = 1/11 \cdot q_{DLult} \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.105)$$

- Beban hidup

Berasal dari kendaraan bergerak (muatan T) :



Gambar 2.18 Penyaluran Tegangan Dari Roda Akibat Bidang Kontak

- Beban truck

$$T_u = 1,8 \times 1,3 \text{ T} \dots\dots\dots (2.106)$$

Jadi pembebanan truck,

$$q = \frac{T_u}{a \times b} \rightarrow \text{Momen dihitung menggunakan Tabel Biner}$$

2) Penulangan

$$A_{s_{\min}} = \frac{bd}{f_y} \dots\dots\dots (2.107)$$

(RSNI T – 12 – 2004)

b. Trotoar

Pada perencanaannya trotoar dianggap sebagai balok menerus.

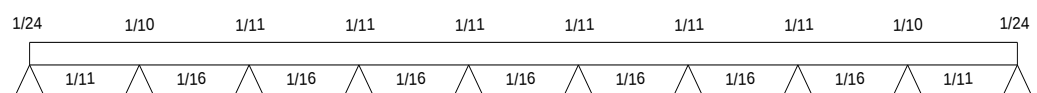
1) Pembebanan

- Beban mati

Beban mati terdiri atas berat finishing trotoar, berat trotoar dan berat air hujan.

- Beban hidup

Beban hidup ini terdiri atas beban pejalan kaki. Dari pembebanan di atas maka akan diperoleh W_u . Trotoar dianggap balok menerus.



$$M_u = 1/10 \times W_u \times L^2$$

3) Penulangan

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.108)$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.109)$$

c. Gelagar melintang

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

1) Pembebanan

- Beban mati

Beban mati terdiri atas sumbangan dari pelat lantai dan beban trotoar.

- Beban hidup

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

2) Kontrol kekuatan sebelum komposit

$$M_{\text{total}} = M_{DL\text{max}} + M_{\text{profilmax}} \dots\dots\dots (2.110)$$

$$M_n = Z_x \times F_y \dots\dots\dots (2.111)$$

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

4) Kontrol kekuatan setelah komposit

$$M_{\text{total}} = M_{DL\text{max}} + M_{LL\text{max}} + M_{\text{profilmax}} \dots\dots\dots (2.112)$$

$$M_n = T \cdot Z = A_s \cdot f_y \cdot Z = (Nmm) \dots\dots\dots (2.113)$$

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

4) Geser

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \dots\dots\dots (2.114)$$

(RSNI T – 03 – 2005)

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

5) Shear konektor

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

$$T_{\text{max}} = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.215)$$

Kekuatan satu konektor stud

$$Q_u = 0,0005 \times A_{st} \times \sqrt{F_c' \times E_c} \dots\dots\dots (2.116)$$

Jumlah konektor stud

$$n = \frac{T_{\max}}{Q_u} \dots\dots\dots (2.117)$$

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

d. Ikatan angin

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

$$T_{ew} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN] } \dots\dots\dots (2.118)$$

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

$$T_{ew} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN] } \dots\dots\dots (2.119)$$

dengan pengertian :

- V_w adalah kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau
- C_w adalah koefisien seret
- A_b adalah luas equivalen bagian samping jembatan (m²)

Tabel dibawah ini berisi tentang koefisien CW

Tabel 2.12 Koefisien Seret CW

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2) $b/d = 1.0$ $b/d = 2.0$ $b/d \geq 6.0$	2.1 (3) 1.5 (3) 1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif CATATAN (2) Untuk harga antara dari b / d bisa diinterpolasi linier CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Tabel dibawah ini berisi tentang kecepatan angin rencanan VW

Tabel 2.13 Kecepatan Angin Rencana VW

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

- H_a dan H_b

$$H_a = \frac{(Tew1 \cdot x1) + (Tewn \cdot xn)}{y} \dots\dots\dots (2.120)$$

$$H_b = ((Tew1 \cdot x1) + (Tewn \cdot xn)) - H_a \dots\dots\dots (2.121)$$

Selanjutnya, diambil nilai H_a dan H_b yang terbesar dari dua kondisi, yaitu pada saat kendaraan berada di atas jembatan dan pada saat kendaraan tidak berada di atas jembatan.

e. Gaya batang

Untuk menghitung gaya batang, digunakan cremona. Angka – angka yang didapat dari cremona selanjutnya dikali dengan H_a atau H_b .

f. Dimensi profil

Setelah gaya batang didapat, dilanjutkan dengan pendimensionan profil.

1) Kontrol terhadap batang tarik

$$\lambda = \frac{Lk}{i_{min}} \dots \dots \dots (2.123)$$

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times F_y \dots \dots \dots (2.124)$$

$$\phi P_n = 0,75 \times A_e \times F_u \dots \dots \dots (2.125)$$

Dari persamaan (2.124) dan (2.125) diambil yang terkecil, Kemudian dicek apakah $P_{max} < \phi P_n$.

2) Kontrol terhadap batang tekan

$$\lambda = \frac{Lk}{i_{min}} \dots \dots \dots (2.126)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \times \frac{Lk}{i_{min}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \dots \dots \dots (2.127)$$

Untuk $\lambda_c > 1,5$, maka

$$\phi P_n = 0,85 \times \frac{0,88}{\lambda_c^2} A_g \cdot f_y \dots \dots \dots (2.128)$$

Kemudian di cek apakah $P_{max} < \phi P_n$

g. Sambungan

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

1) Sambungan baut

- Kekuatan geser baut

$$V_f = 0,62 \cdot f_{uf} \cdot k_r \cdot (n_n \cdot A_c + n_x \cdot A_0) \dots \dots \dots (2.129)$$

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

- Kekuatan tarik baut

$$N_{tf} = A_s \cdot F_{uf} \dots \dots \dots (2.130)$$

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

- Kombinasi geser dan tarik

$$\left(\frac{V_f^*}{\phi V_{fj}}\right)^2 + \left(\frac{N_{tf}^*}{\phi N_{tfj}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (2.131)$$

2) Kekuatan tumpu pelat lapis

$$V_b = 3,2 \cdot d_f \cdot t_p \cdot f_{up} \quad (2.132)$$

$$V_b = a_e \cdot t_p \cdot f_{up} \quad (2.133)$$

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

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

3) Jumlah baut

$$n = \frac{Du}{Ru} \quad (2.134)$$

4) Jarak dari tepi pelat ke pusat baut (S1)

$$S1_{\min} = 1,5 d_f$$

$$S1_{\max} = 12 t_p$$

$$S1_{\max} < 150 \text{ mm}$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

5) Jarak antar baut (S)

$$S_{\min} = 2,5 d_f \quad (2.135)$$

$$S_{\max} = 15 t_p \quad (2.136)$$

$$S_{\max} < 200 \text{ mm}$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

6) Kontrol terhadap keruntuhan blok untuk batang tarik

Retak geser leleh tarik

$$F_u \leq \phi (A_{nv} \times f_u \times 0,6 + A_{gt} \times f_y) \quad (2.137)$$

Retak tarik leleh geser

$$F_u \leq \phi (A_{nt} \times f_u + A_{gv} \times f_y \times 0,6) \quad (2.138)$$

7) Sambungan las

Kuat las per satuan panjang

$$V_w = 0,6 \cdot f_{u_w} \cdot t_t \cdot k_r \dots\dots\dots (2.139)$$

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

8) Rangka utama

- Gaya batang

Gaya batang rangka utama dihitung dengan menggunakan metode garis pengaruh.

- Pembebanan ultimate

a) Beban mati

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

b) Beban hidup

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

- Dimensi

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

a) Kontrol terhadap batang tarik

$$\lambda = \frac{Lk}{i_{\min}} \dots\dots\dots (2.140)$$

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times F_y \dots\dots\dots (2.141)$$

$$\phi P_n = 0,75 \times A_e \times F_u \dots\dots\dots (2.142)$$

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

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

b) Kontrol terhadap batang tekan

$$\lambda = \frac{Lk}{i_{min}} \dots \dots \dots (2.143)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \times \frac{Lk}{i_{min}} \times \sqrt{\frac{fy}{Es}} \dots \dots \dots (2.144)$$

Untuk $\lambda_c < 1,5$, maka

$$\phi P_n = 0,85 \cdot (0,66^{\lambda_c^2}) A_g \cdot f_y \dots \dots \dots (2.145)$$

Kemudian di cek apakah $P_{max} < \phi P_n$

3) 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.

4) Lendutan

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

$$\Delta L = \frac{FL}{EA} \dots \dots \dots (2.146)$$

$$\Delta = u \times \frac{FL}{EA} \dots \dots \dots (2.147)$$

Dimana :

ΔL = ubahan panjang anggota akibat beban yang bekerja (mm)

F = Gaya yang bekerja (N)

L = panjang bentang (mm)

E = modulus elastisitas baja (200000 MPa)

A = Luas profil baja (mm²)

u = gaya aksial suatu anggota akibat beban satuan

Δ = komponen lendutan dalam arah beban satuan

5) Sambungan

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

- Sambungan baut

a) Kekuatan geser baut

$$V_f = 0,62 \cdot f_{uf} \cdot k_r \cdot (n_n \cdot A_c + n_x \cdot A_0) \dots \dots \dots (2.148)$$

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

b) Kekuatan tarik baut

$$N_{tf} = A_s \cdot F_{uf} \dots \dots \dots (2.149)$$

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

c) Kombinasi geser dan tarik

$$\left(\frac{V_f^*}{\phi V_f} \right)^2 + \left(\frac{N_{tf}^*}{\phi N_{tf}} \right)^2 \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.150)$$

d) Kekuatan tumpu pelat lapis

$$V_b = 3,2 \cdot d_f \cdot t_p \cdot f_{up} \dots \dots \dots (2.151)$$

$$V_b = a_e \cdot t_p \cdot f_{up} \dots \dots \dots (2.152)$$

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

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

e) Jumlah baut

$$n = \frac{Du}{Ru} \dots \dots \dots (2.153)$$

f) Jarak dari tepi pelat ke pusat baut (S1)

$$S1_{\min} = 1,5 d_f$$

$$S1_{\max} = 12 t_p$$

$$S1_{\max} < 150 \text{ mm}$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

g) Jarak antar baut (S)

$$S_{\min} = 2,5 d_f \dots\dots\dots (2.154)$$

$$S_{\max} = 15 t_p \dots\dots\dots (2.155)$$

$$S_{\max} < 200 \text{ mm}$$

Diambil diantara nilai minimum dan nilai maksimum.

h) Kontrol terhadap keruntuhan blok untuk batang tarik

- Retak geser leleh tarik

$$F_u \leq \phi (A_{nv} \times f_u \times 0,6 + A_{gt} \times f_y) \dots\dots\dots (2.156)$$

- Retak tarik leleh geser

$$F_u \leq \phi (A_{nt} \times f_u + A_{gv} \times f_y \times 0,6) \dots\dots\dots (2.157)$$

- Sambungan las

Kuat las per satuan panjang

$$V_w = 0,6 \cdot f_{uw} \cdot t_t \cdot k_r \dots\dots\dots (2.158)$$

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

h. Perletakan (elastomer)

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

1). Pembebanan

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

2) Lateral stop

Dianggap sebagai konsul pendek.

$$\text{Syarat konsul pendek } \frac{a}{d} < 1$$

3) Penulangan lateral stop

Tulangan A_{vf} yang dibutuhkan untuk menahan gaya geser,

$$V_u = \phi V_n$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.159)$$

Beton dicor monolit $\Rightarrow \mu = 1,4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \dots\dots\dots (2.160)$$

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u adalah

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{uc} \times (h - d) \dots\dots\dots (2.161)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.162)$$

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f_c'}} \right) \dots\dots\dots (2.163)$$

$$A_f = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (2.164)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n f_y \dots\dots\dots (2.165)$$

$$N_u = 0,2 \times V_u \dots\dots\dots (2.165)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} \dots\dots\dots (2.166)$$

Tulangan utama adalah total A_g adalah nilai terbesar dari

$$a) A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots (2.167)$$

$$b) A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots (2.168)$$

$$c) A_{gmin} = \rho_{min} \times b \times d \dots\dots\dots (2.169)$$

d) Tulangan sengkang

$$A_h = \frac{A_{vf}}{3} \dots\dots\dots (2.170)$$

i. Pelat injak

Pelat injak ini berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak

(dihitung per meter lebar). Untuk berat kendaraan di belakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 60 cm.

1) Pembebanan pelat injak

Pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat beban kendaraan. dari pembebanan akan didapat $q_{ULT\text{total}}$.

2) Penulangan pelat injak

$$M_{u\text{max}} = 1/8 \cdot q_{ULT\text{ total}} \cdot L^2 \dots\dots\dots (2.171)$$

$$A_s\text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.172)$$

$$A_s\text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.173)$$

(RSNI T – 12 – 2004)

j. Dinding sayap

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

1) Pembebanan dinding sayap

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

2). Penulangan dinding sayap

$$A_s\text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.174)$$

$$A_s\text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \dots\dots\dots (2.175)$$

(RSNI T – 12 – 2004)

k. Abutmen

1) Pembebanan abutmen

Pembebanan abutmen terdiri dari :

a). Beban mati (P_m)

b). Beban hidup ($H + DLA$)

- c). Tekanan tanah (P_{TA})
- d). Beban angin (W_n)
- e). Gaya rem (R_m)
- f). Gesekan pada perletakan (G_s)
- g). Gaya gempa (G_m)
- h). Beban pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut:

- a). Kombinasi I (AT) = $P_m + P_{TA} + G_s$
- b). Kombinasi II (LL) = $(H + DLA) + R_m$
- c). Kombinasi III (AG) = W_n
- d). Kombinasi IV (GP) = G_m
- e). Kombinasi V (PL) = pel

Kemudian dikombinasikan lagi seperti berikut ini :

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

2) Kontrol stabilitas pembebanan

1. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{M_T}{M_{GL}} \dots\dots\dots (2.176)$$

2. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu \cdot V}{H} \dots\dots\dots (2.177)$$

3. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_k = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} \dots\dots\dots (2.178)$$

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

b. Pondasi

Pondasi diperlukan agar konstruksi dapat aman terhadap geser dan ketidakstabilan tanah, pemilihan pondasi disesuaikan dengan kondisi dan keadaan tanah. Pada jembatan ini jenis pondasi yang dipilih adalah pondasi tiang pancang.

Beban-beban yang diterima oleh pondasi tiang pancang adalah :

- 1) Beban vertikal
- 2) Berat sendiri pondasi
- 3) Stabilitas pondasi tiang pancang

Luas tiang pancang :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots (2.179)$$

Dimana :

A = luasan tiang (m²)

D = diameter tiang (m)

- 4) Keliling tiang

$$K = \pi . d \dots\dots\dots (2.180)$$

Dimana :

K = Keliling tiang (m²)

D = diameter tiang (m)

- 5) Kemampuan sebuah tiang pancang :

- a. Terhadap kekuatan tanah :

$$Q_s = \frac{A \times q_c}{F_b} + \frac{c . U}{F_s} \dots\dots\dots (2.181)$$

Dimana :

Qs = Kemampuan tiang (kg)

A = luasan tiang (m²)

qc = Nilai konus (kg/m²)

c = Tahanan geser (kg/m²)

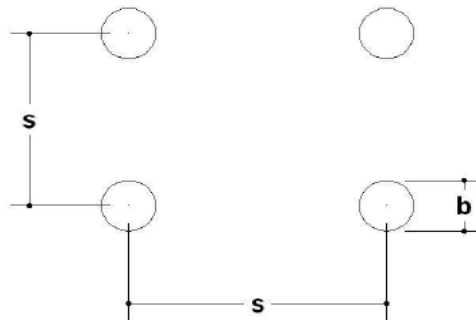
U = Keliling tiang (m)

b. Terhadap kekuatan bahan tiang

$$Q_s = \bar{\sigma} \text{ bahan } \times A \text{ tiang} \dots \dots \dots (2.182)$$

$$= 0,3 \cdot f'_c \cdot A \text{ tiang}$$

6) Jarak antar tiang :



Gambar 2.19 Jarak Tiang Pancang

Berdasarkan perhitungan daya dukung oleh Direktorat Bina Marga PU adalah sebagai berikut :

$$S = (2,5 - 3,0) b ; S_{min} = 0,6 \text{ meter} ; S_{maks} = 2,0 \text{ m (Pondasi : 180)}$$

Dimana : S = Jarak antar tiang pancang dalam kelompok (m)

b = Diameter tiang pancang

7) Menentukan Jumlah Tiang Pancang

Untuk menentukan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan digunakan rumus acuan sebagai berikut:

$$n = \sum v / Q_s \dots \dots \dots (2.183)$$

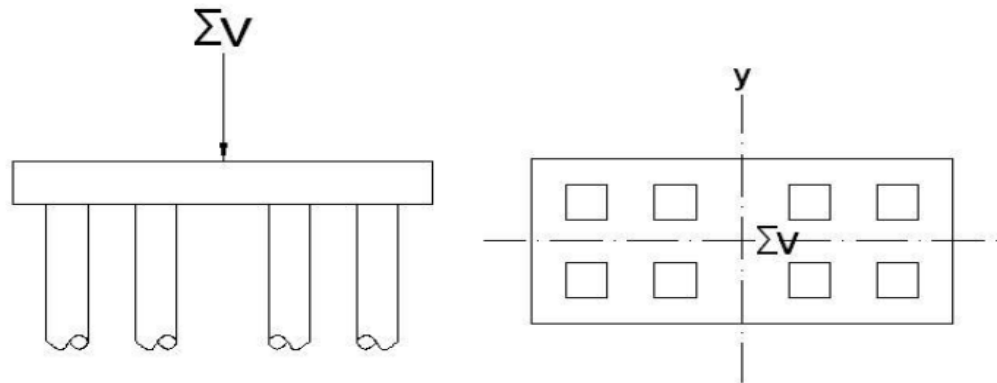
Dimana: n = jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$\sum v$ = gaya vertikal (t)

Q_s = daya dukung tiang pondasi yang terkecil terhadap kekuatan tanah atau kekuatan bahan tiang (t)

8) Perhitungan pembagian tekanan :

- Beban Sentris



Gambar 2.20 Beban Normal Sentris

$$N = \frac{\Sigma v}{n} \dots\dots\dots (2.184)$$

Dimana :

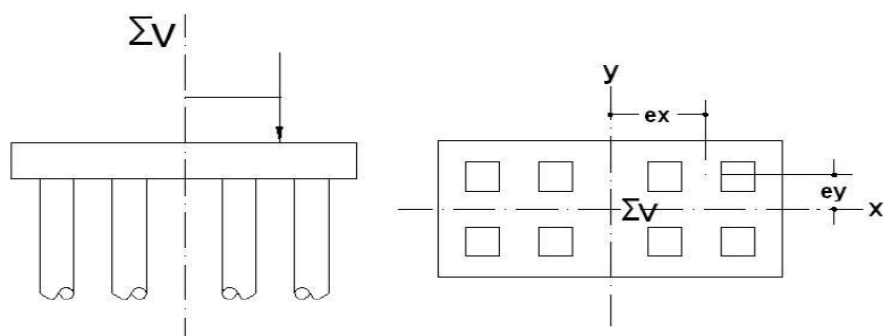
N = Beban yang diterima oleh masing-masing tiang (KN)

ΣV = Resultan gaya-gaya normal yang bekerja sentries (KN)

n = Banyaknya tiang dalam kelompok\

- Beban Eksentris

Beban normal eksentris dapat diganti menjadi beban normal sentries ditambah dengan momen.



Gambar 2.21 Beban Normal Eksentris

9) Efisiensi kelompok tiang :

Rumus Converse-Labarre

$$E_q = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right] \dots \dots \dots (2.185)$$

Dimana :

 $\theta = \text{Arctan} (d/s)$ (derajat)

b = diameter tiang (m)

S = jarak antar tiang (m)

m = Jumlah baris

n = Jumlah lajur

10) Kemampuan tiang pancang dalam kelompok :

$$Q_{ag} = E \cdot Q_s \cdot n \dots \dots \dots (2.186)$$

(Pondasi : 185)

Dimana :

Q_{ag} = Daya dukung yang diijinkan sebuah tiang dalam kelompok (KN)Q_s = daya dukung yang diijinkan sebuah tiang tunggal (KN)

E = Faktor efisien

n = Banyaknya tiang

Akibat momen arah X :	Akibat momen arah Y :
$N_x = \frac{\sum V \cdot e_y \cdot y}{\sum_y^2} \dots (Pondasi : 182)$	$N_x = \frac{\sum V \cdot e_y \cdot x}{\sum_x^2} \dots (Pondasi : 183)$

Jadi secara umum beban yang diterima oleh masing-masing tiang akibat beban normal eksentris :

$$N_x = \sum V \left(\frac{1}{n} \pm \frac{e_y \cdot y}{\sum y^2} \pm \frac{e_y \cdot x}{\sum x^2} \right) \dots \dots \dots (2.187)$$

(Pondasi : 183)

Dimana :

N = Beban yang diterima oleh masing-masing tiang (kg)

y = Jarak absis antar tiang (m)

x = Jarak ordit antar tiang (m)

n = Banyak tiang

2.5.Pengendalian Proyek

2.5.1. Manajemen Proyek

Manajemen merupakan proses terpadu dimana individu – individu sebagai bagian dari organisasi dilibatkan untuk merencanakan, mengorganisasikan, menjalankan dan mengendalikan aktivitas – aktivitas, yang kesemuanya diarahkan pada sasaran yang telah ditetapkan dan berlangsung terus menerus seiring dengan berjalannya waktu.

Agar proses manajemen berjalan lancar, diperlukan sistem serta struktur organisasi yang solid. Pada organisasi tersebut, seluruh aktivitasnya haruslah berorientasi pada pencapaian sasaran.. organisasi tersebut berfungsi sebagai wadah untuk menuangkan konsep, ide – ide serta pemikiran dari individu – individu yang memikul tanggung jawab manajemen. Jadi, dapat dikatakan bahwa manajemen merupakan suatu rangkaian tanggung jawab yang berhubungan erat satu sama lainnya.

Sedangkan proyek adalah suatu usaha atau aktivitas yang kompleks, tidak rutin, dibatasi waktu, anggaran, *resources* dan spesifikasi perfomansi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Sebuah proyek juga dapat diartikan sebagai upaya atau aktivitas yang diorganisasikan untuk mencapai tujuan, sasaran dan harapan – harapan penting dengan menggunakan anggaran dana serta sumber daya yang tersedia, yang harus diselesaikan dalam jangka waktu tertentu.

Sehingga pada akhirnya disimpulkan bahwa manajemen proyek dapat diartikan sebagai penataan serta pengorganisasia atas faktor – faktor yang berpengaruh terhadap keberhasilan proyek. Dengan kata lain manajemen proyek adalah kegiatan merencanakan, mengorganisasikan, mengarahkan dan mengendalikan sumber daya organisasi perusahaan untuk mencapai tujuan tertntu dalam waktu tertentu dengan sumber daya tertentu pula.manajemen proyek sangat cocok untuk suatu lingkungan bisnis yang menuntut kemampuan akuntansi, fleksibilitas, inovasi, kecepatan dan perbaikan berkelanjutan.

2.5.2. Rencana Kerja

Dari definisi manajemen proyek perencanaan menempati urutan pertama dari fungsi – fungsi lain seperti mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan. Perencanaan adalah proses yang mencoba meletakkan dasar tujuan dan sasaran termasuk menyiapkan segala sumber daya untuk mencapainya. Berbagai macam perencanaan, seperti perencanaan strategis yang merupakan bagian dari hirarki yang memberikan patokan arah gerak kegiatan, perencanaan operasional sebagai program pelaksanaan (*plan of action*) untuk mencapai sasaran juga dibahas, kemudian dilanjutkan dengan menyinggung proses pengendalian serta ciri – ciri suatu pengendalian yang efektif. Adanya hubungan atau keterpaduan antara perencanaan dan pengendalian sehingga dianggap suatu aspek penting bagi manajemen proyek.

(Imam Soeharto, 1995:107-109)

Untuk dapat menyusun perencanaan kerja yang sangat baik dibutuhkan,

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

Perencanaan kerja dalam proyek konstruksi dapat dibuat dalam bentuk sebagai berikut,

a. Kurva S

Kurva S merupakan bentuk dari grafik yang menggambarkan perbandingan perencanaan terhadap hasil pelaksanaan dengan penyimpangan yang ada yang umumnya berbentuk S. Kurva S dibuat dengan sumbu X sebagai nilai kumulatif biaya atau jam, orang yang telah digunakan atau persentase (%) penyelesaian pekerjaan, sedangkan sumbu Y menunjukkan parameter waktu. Ini berarti menggambarkan kemajuan volume pekerjaan yang diselesaikan sepanjang siklus proyek. Bila grafik tersebut dibandingkan dengan grafik serupa yang disusun berdasarkan perencanaan dasar maka akan segera terlihat jika terjadi penyimpangan. Kurva S dipakai sebagai laporan bulanan dan laporan kepada pimpinan proyek maupun pimpinan perusahaan karena grafik ini dapat dengan jelas menunjukkan kemajuan proyek dalam bentuk yang mudah dipahami. Kurva S ini juga dapat dikombinasikan dengan Barchat (Bagan Balok).

b. Barchat

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

(Imam Soeharto:1995,178)

Proses penyusunan barchat dilakukan dengan langkah berikut

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

2. Urutan pekerjaan, dari data item tersebut disusun urutan pelaksanaan kegiatan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan bersamaan
3. Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang akan dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan pada setiap item pekerjaan.

c. Jaringan Kerja (*Network Planning*)

Jaringan kerja adalah suatu alat yang digunakan untuk merencanakan, menjadwalkan dan mengawasi kemajuan dari suatu proyek. Jaringan dikembangkan dari informasi yang diperoleh dari WBS dan gambar diagram alir dari rencana proyek. Jaringan menggambarkan beberapa hal sebagai berikut,

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

Macam – macam Network Planning, adalah sebagai berikut,

1. CMD : Chart Method Diagram
2. NMT : Network Management Technique
3. PEP : c Procedure
4. CPA : Critical Path Analysis
5. CPM : Critical Path Method
6. PERT : Critical Path Analysis Review Technique

(Nurhayati:2010,5)

Adapun data – data yang diperlukan dalam menyusun NWP adalah :

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