BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Umum

Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, rel kereta api ataupun jalan raya. Jembatan dibangun untuk penyeberangan pejalan kaki, kendaraan atau kereta api di atas halangan. Jembatan juga merupakan bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat vital dalam aliran perjalanan (traffic flows).

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada pada kontur yang lebih rendah. Rintangan ini biasanya merupakan jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa) (Struyk, 1995).

Jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun melewati suatu rintangan yang berada lebih rendah (Struyck dan Van Der Veen, 1984). Rintangan-rintangan tersebut dapat berupa jurang, lembah, jalan rel, sungai, badan air, atau rintangan fisikal lainnya. Tujuan jembatan adalah untuk membuat jalan bagi orang atau kendaraan melewati sebuah rintangan. Selain itu jembatan juga menjadi alternatif untuk menyambung ruas jalan sehingga dapat memperpendek jarak.

Adapun jenis kontruksi yang digunakan ada 3 yaitu jembatan Kayu, jembatan rangka baja dan jembatan beton. Yang biasanya digunakan untuk

bentang yang cukup panjang adalah konstruksi baja dan beton, sedangkan khusus untuk jembatan kayu hanya digunakan untuk jembatan yang mempunyai bentang yang pendek.

2.2 Jembatan Beton Bertulang Balok T

Jembatan beton bertulang balok T merupakan merupakan jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton. Jembatan tipe ini digunakan secara luas dalam konstruksi jalan raya, tersusun dari slab beton yang didukung secara integral dengan gelagar. Penggunaan jembatan ini akan lebih ekonomis pada bentang 40-80 ft (15-25 m)pada kondisi normal (tanpa kesalahan pengerjaan). (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

2.3 Bagian-bagian konstruksi jembatan

Bagian-bagian konstruksi jembatan pada umumnya terdiri atas 4 bagian :

1. Konstruksi Bangunan Atas (Upper Structures)

   Struktur atas jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang secara langsung menahan beban lalu lintas untuk selanjutnya disalurkan ke bangunan bawah jembatan (Pranowo dkk, 2007). Konstruksi bangunan atas jembatan meliputi :

   - ✓ Sandaran (Railing)

     Sandaran merupakan pembatas pada pinggiran jembatan, sehingga memberikan rasa aman bagi pengguna jembatan yang melewatinya. Konstruksi sandaran terdiri dari :

- ✓ Tiang sandaran (Rail post) merupakan konstruksi bangunan atas jembatan yang dibuat untuk pengaman bagi pengendara atau orang yang melewati jembatan tersebut. Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang untuk jembatan dengan girder beton atau profil baja. Sedangkan untuk jembatan rangka baja, tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.
- ✓ Hand Raill adalah pipa sandaran yang dipasang pada tiang sandaran. Sandaran biasanya terbuat dari pipa besi, kayu, beton bertulang.

✓ Trotoar

Trotoar jembatan adalah konstruksi bangunan atas jembatan yang digunakan sebagai lintasan yang digunakan untuk pejalan kaki. Trotoir direncanakan sebagai pelat beton yang diletakkan pada pelat lantai jembatan bagian samping yang diasumsikan sebagai pelat yang tertumpu sederhana pada pelat lantai jembatan.

✓ Lantai Trotoar

Lantai trotoar merupakan lanatai tepi samping dari bagian jembatan yang berfungsi untuk menahan beban dati tiang sandaran dan railing dan juga beban dari orang / pejalan kaki

✓ Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan merupakan bagian jembatan yang berkontak langsung dengan beban oleh kendaraan yang melintas pada jembatan.



Gambar 2.1 Tiang Sandaran, Railing, dan Trotoar

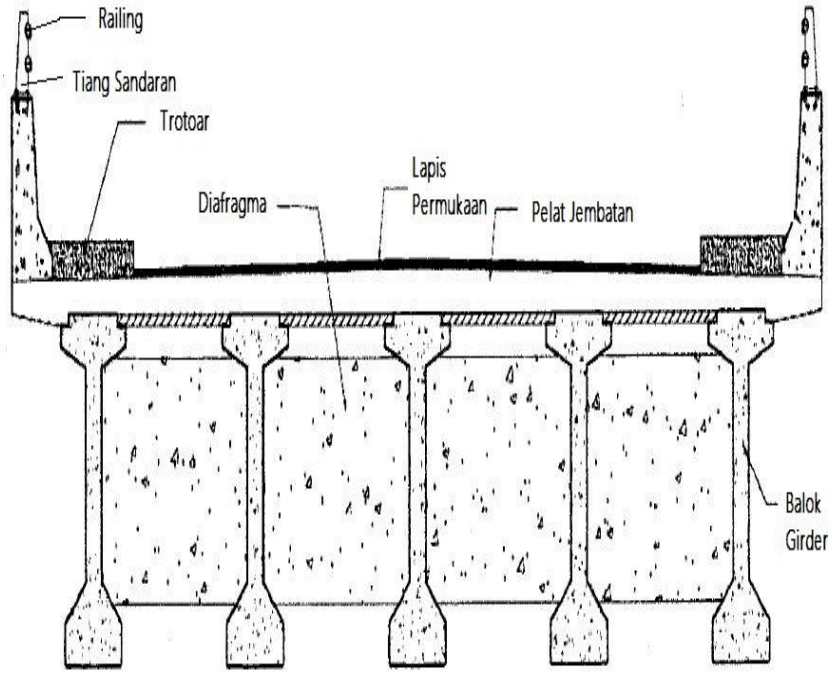
(Sumber: www.datajembatan.com)

- ✓ Balok Diafragma / Ikatan Melintang

  Balok diafragma merupakan pengaku dari gelagar-gelar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai. lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa. Balok-balok diafraga dipasang untuk menghindari bahaya tekuk lateral pada gelagar memanjang suatu jembatan.

- ✓ Balok Gelagar

  Balok gelagar merupakan komponen struktur lentur yang tersusun dari beberapa elemen pelat. Balok gelagar pada dasarnya adalah balok dengan ukuran penampang melintang yang besar serta bentang yang panjang. Penampang melintang yang besar tersebut merupakan konsekuensi dari panjangnya bentang balok.



Gambar 2.2 Bagian Struktur Atas Jembatan

(Sumber: Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan No:009/BM/2008)

2. Konstruksi Bangunan Bawah (Sub Structures)

Struktur bawah suatu jembatan adalah merupakan sutau pengelompokan bagian-bagian jembatan yang menyangga jenis-jenis beban yang sama dan memberikan jenis reaksi sama, atau juga dapat disebut struktur yang langsung berdiri di atas dasar tanah. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (modul Pengantar Dan Prinsip-Prinsip Perencanaan Bangunana Bawah/Pondasi Jembatan, 1988), fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban – beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi yang selanjutnya beban-beban tersebut oleh pondasi disalurkan ke tanah. Konstruksi bangunan bawah jembatan meliputi :

- ✓ Kepala Jembatan (Abutment)

  Kepala Jembatan atau abutment adalah tempat perletakan bangunan bagian atas jembatan. Karena letak abutment yang berada di ujung jembatan maka abutment ini berfungsi juga sebagai penahan tanah. Umumnya abutment dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berfungsi menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan.

- ✓ Pilar (Pier)

  Pilar adalah suatu bangunan bawah yang terletak di tengah-tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk memikul beban-beban bangunan atas dan bangunan lainnya dan meneruskannya ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras.

- ✓ Pondasi

  Pondasi adalah dari jembatan yang tertanam didalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban-beban bangunan yang berada diatasnya dan meneruskannya ketanah dasar, baik kearah vertikal maupun kearah horizontal.

- ✓ 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.

- ✓ Dinding Sayap

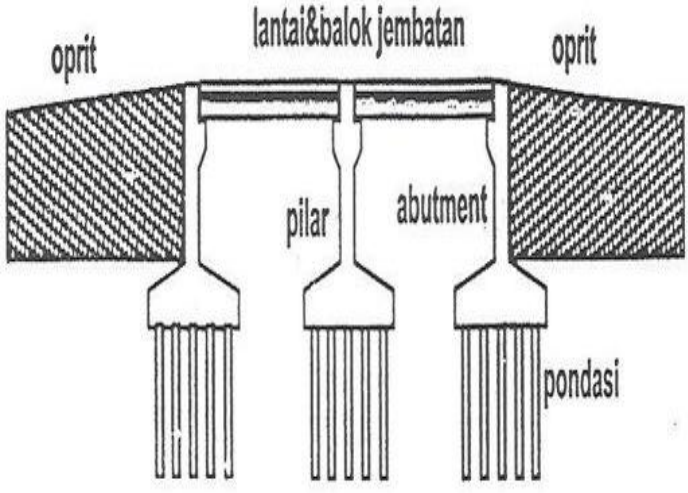
  Dinding sayap adalah bagian dari bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk menahan tegangan tanah dan memberikan kestabilan pada posisi tanah terhadap jembatan.

3. Oprit

   Oprit Jembatan adalah bangunan yang terletak dibelakang abutment, sebagai penghubung antara jalan dengan jembatan. Oprit juga dikenal sebagai timbunan tanah yang berada dibelakang abutment.

4. Bangunan Pengaman Jembatan

   Bangunan Pengaman Jembatan berfungsi sebagai pengaman terhadap pengaruh sungai yang bersangkutan baik secara langsung maupun secara tidak langsung.



Gambar 2.3 Bagian Struktur Bawah Jembatan

(Sumber: www.taufikhurohman.blogspot.com)

2.4 Syarat umum perencanaan struktur beton

2.4.1 Umur rencana jembatan

Persyaratan umur rencana jembatan:

- ✓ Jembatan umum minimum 50 tahun.
- ✓ Jembatan penting/khusus dar/atau berbentang panjang 100 tahun.

2.4.2 Satuan yang digunakan

Berdasarkan SNI, menggunakan sistem Satuan Internasional :

(m/mm, N/kN, MPa, ^{o}C)

2.5 Prinsip umum perencanaan

2.5.1 Dasar umum perencanaan

Perencanaan elemen struktur dapat dibagi menjadi 2 bagian :

1. Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)
   - ✓ Perencanaan elemen lentur seperti balok, pelat
   - ✓ Perencanaan elemen lentur dan aksial seperti kolom/pier
   - ✓ Perencanaan geser dan puntir
2. Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL)
   - ✓ Perencanan balok prategang
   - ✓ Perencanaan deformasi dan kelayanan struktur

Disamping itu, faktor integriti komponen-komponen struktur :

- ✓ Kontinuitas dan rududansi

- ✓ Ketahanan terhadap kerusakan dan instabilitas
- ✓ Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau berlebih

2.5.2 Asumsi anggapan perencanaan

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

- ✓ Struktur menahan semua beban yang mungkin bekerja padanya
- ✓ Beban ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya
- ✓ Menahan beban angin dan gempa pada arah lateral

2.5.3 Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)

PBKT ditinjau dalam notasi berikut :

Φ Rn $\geq$ dampak dari $\sum Y_i Q_i$

Sisi kiri mewakili kekuatan rencana, dimana :

R_n = kekuatan nominal

Φ = faktor reduksi kekuatan

Sisi kanan mewakili kombinasi penjumlahan beban-beban terfaktor, dimana :

$Q_i =$ Beban (Load cases)

Y_i = faktor pengali beban

2.5.4 Perencanaan Berdasarkan Batas Layan (PBL)

Umumnya PBL adalah tegangan yang bekerja dibatasi oleh suatu nilai tegangan ijin dari material struktur :

$$Tegangan\ Kerja \leq Tegangan\ ijin\ = \frac{Tegangan_ultimate}{SF}$$

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 di sekitar jembatan

2.5.5 Metode analisis

Metode perhitungan struktur beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- ✓ Menggunakan cara mekanika teknik yang baku
- ✓ Dijelaskan prinsip dan alur kerjanya bila menggunakan program komputer
- ✓ Percobaan model komponen atau keseluruhan
- ✓ Menggunakan model matematik asal dapat diaplikasikan

2.6 Sifat dan Karakteristik Material Beton

2.6.1 Kekuatan Nominal

a. Kuat tekan beton untuk jembatan beton non prategang pada umur 28 hari, fc’ harus ≥ 20 Mpa sedangkan untuk beton prategang 30 Mpa.

b. Kuat tarik langsung dari beton, "*f*ct" bisa diambil dari ketentuan,

   a. 0,33 √ *f*c' MPa pada umur 28 hari dengan perawatan standar.

   b. Atau, dihitung dengan probabilitas statistik hasil pengujian.

c. Kuat tarik lentur *f*cl bisa diambil sebesar,

   a. 0,60 √ *f*c' MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar.

   b. Atau, dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

2.6.2 Tegangan Izin.

a. Tegangan izin tekan pada kondisi batas layan.

   Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada 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.

b. Tegangan izin tekan pada kondisi beban sementara.

   Untuk kondisi beban sementara, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai 0,60 *f*ci', dimana *f*ci' adalah kuat tekan beton initial pada saat transver gaya prategang dan dinyatakan dalam satuan MPa.

c. Tegangan izin tarik pada kondisi batas layan.

   Tegangan tarik yang diizinkan terjadi pada penampang beton boleh diambil untuk beton tanpa tulangan, 0,15 √ *f*c' dan untuk beton prategang penuh, 0,5 √ *f*c' dinyatakan dalam satuan MPa.

d. Tegangan ijin tarik pada kondisi transver gaya prategang untuk komponen beton prategang

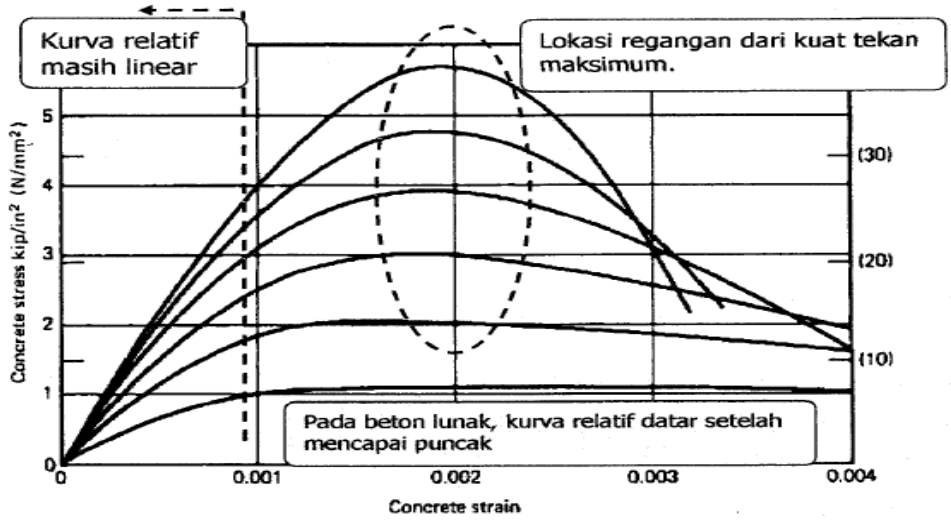
Tegangan tarik yang diijinkan pada saat transver gaya prategang :

- ✓ 0,25 √ *f*ci’ (selain di perletakan)
- ✓ 0,5 √ *f*ci’ (di perletakan)

2.6.3 Lengkung Tegangan-Regangan

Lengkung tegangan-regangan beton biasa digambarkan sebagai berikut :

- ✓ Dianggap kurva bilinier atau trilinier berdasarkan persamaan matematik yang disederhanakan
- ✓ Dianggapl inier, berdasarkan tegangan kerja
- ✓ Ditentukan dari hasil pengujian



Gambar 2.4 Kurva f-ε Tekan Beton

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

- ✓ Umumnya perilaku dari material beton digambarkan sebagai responnya terhadap beban uniaxial tekan, dari test kuat silinder umur 28 hari.
- ✓ Diperlukan mesin tekan yang kuat (kaku) untuk mendapat kurva yang lengkap, Khususnya setelah melampaui titik puncak.

2.6.4 Massa Jenis (*w*c).

Massa jenis beton, *w*c, untuk beton dengan berat normal diambil tidak boleh kurang 2400 kg/m3, atau dapat ditentukan dari hasil pengujian.

2.6.5 Modulus Elastisitas (*E*c).

Modulus elastisitas beton, *Ec* , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. 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, nilai *E*c bisa diambil sebagai berikut,

$$E_c = W_c^{1,5} \ (0{,}043 \sqrt{fc'})$$

harga *E*c ini bisa bervariasi ± 20%. *E*c dinyatakan dalam satuan MPa.

Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m3, *E*c boleh diambil sebesar 4700 $\sqrt{fc'}$ (SNI 03-2847-2002).

Dimana :

*w*c = berat jenis beton dalam satuan kg/m3

*f*c' = kuat tekan beton dalam satuan MPa.

2.6.6 Angka Poison (μ)

Angka Poisson untuk beton (μ) bisa diambil sebesar 0,2 atau dapat ditentukan dari hasil pengujian.

2.6.7 Koefisien Muai Panas

Koefisien muai panjang beton akibat panas, bisa diambil sebesar 10 x 10^{-6} per ^{0}C, dengan pertimbangan bisa bervariasi ± 20%, dapat ditentukan dari hasil pengujian.

2.7 Sifat dan karakteristik material baja tulangan non-prategang untuk jembatan

2.7.1 Kekuatan Nominal

a. Kuat tarik putus ditentukan dari hasil pengujian.

b. Kuat tarik leleh, *fy*, ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh *fy* yang melebihi 550 MPa.

2.7.2 Tegangan Izin

a. Tegangan izin pada pembebanan tetap.

Tegangan ijin tarik (f_{ti}) pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan dibawah ini :

- Tulangan dengan *fy* = 300 MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- Tulangan dengan *fy* = 400 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 0,50 *fy* namun tidak lebih dari 200 MPa.

b. Tegangan izin pada pembebanan sementara.

Boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

2.7.3 Modulus elastisitas

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

- ✓ Diambil sama dengan 200.000 MPa.
- ✓ Atau, ditentukan dari hasil pengujian.

2.7.4 Koefisien muai panas

Koefisien muai baja tulangan non-prategang akibat panas bisa diambil sebesar :

- Diambil sama dengan 12 x 10^{-6} per ^{o}C.
- Atau, ditentukan dari hasil pengujian.

2.8 Sifat dan karakteristik material baja tulangan prategang untuk jembatan

2.8.1 Kekuatan Nominal

a. Kuat tarik putus

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.

b. Kuat tarik leleh ekivalen

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

- ✓ Untuk kawat baja prategang, $f_{py} = 0{,}75\ f_{pu}$
- ✓ Untuk semua kelas strand dn tendon baja bulat, $f_{py} = 0{,}85\ f_{pu}$

2.8.2 Tegangan Izin

a. Tegangan izin pada kondisi batas layan

Tegangan ijin tarik pada tulangan prategang pada kondisi batas layan :

- $0{,}70\ f_{pu}$ (sesaat setelah penjangkaran tendon)
- $0{,}60\ f_{pu}$ (Kondisi layan)

c. Tegangan izin pada kondisi transver gaya prategang

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

- ✓ 0,94 f_{py} dan ≤ 0,85 f_{pu} (akibat penjangkaran)
- ✓ 0,82 f_{py} dan ≤ 0,74 f_{pu} (sesaat setelah transver)

2.8.3 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas baja pategang, *Ep*, bisa diambil sebesar :

- ✓ Untuk kawat tegang-lepas : 200 x 10^3 Mpa
- ✓ Untuk strand tegang-lepas : 195 x 10^3 Mpa
- ✓ Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170 x 10^3 Mpa
- ✓ Ditentukan dari hasil pengujian

2.8.4 Lengkung Tegangan-Regangan

Lengkung tegangan-regangan baja prategang ditentukan dari hasil pengujian.

2.9 Perencanaan untuk keawetan jangka panjang.

Persyaratan untuk struktur dan komponen beton bertulang dengan umur rencana 50 tahun atau lebih, diberlakukan sehubungan dengan kondisi dan klasifikasi lingkungan. Klasifikasi lingkungan yang berpengaruh terhadap struktur beton adalah seperti diberikan pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Lingkungan

Keadaan permukaan dan lingkungan	Klasifikasi lingkungan
1. Komponen struktur yang berhubungan langsung dengan tanah : (a) Bagian komponen yang dilindungi lapisan tahan lembab atau kedap air. (b) Bagian komponen lainnya di dalam tanah yang tidak agresif. (c) Bagian komponen di dalam tanah yang agresif (tanah	A A U

permeable dengan pH < 4, atau dengan air tanah yang mengandung ion sulfat > 1 g per liter)	
2. Komponen struktur di dalam ruangan tertutup di dalam bangunan, kecuali untuk keperluan pelaksanaan dalam waktu yang singkat.	A
3. Komponen struktur di atas permukaan tanah dalam lingkungan terbuka : (a) Daerah di pedalaman (> 50 km dari pantai) di mana lingkungan adalah, (i) bukan daerah industri dan berada dalam iklim yang sejuk. (ii) bukan daerah industri namun beriklim tropis. (iii) daerah industri dalam iklim sembarang. (b) Daerah dekat pantai (1 km sampai 50 km dari garis pantai), iklim sembarang. (c) Daerah pantai (< 1 km dari garis pantai tetapi tidak dalam daerah pasang surut), iklim sembarang.	 A B1 B1 B1 B2
4. Komponen struktur di dalam air : (a) Air tawar. (b) Air laut : (i) terendam secara permanen. (ii) berada di daerah pasang surut. (c) Air yang mengalir.	 B1 B2 C U
5. Komponen struktur di dalam lingkungan lainnya yang tidak terlindung dan tidak termasuk dalam kategori yang disebutkan di atas.	U

(Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)

Khusus untuk klasifikasi lingkungan "U", mutu dan karakteristik beton harus ditentukan secara khusus agar dapat menjamin keawetan jangka panjang komponen struktur dalam lingkungan tidak terlindung yang khusus.

2.10 Persyaratan selimut beton

Tebal selimut beton untuk tulangan harus diambil nilai tebal selimut beton yang terbesar sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan untuk keperluan pengecoran dan untuk perlindungan terhadap karat. Tebal selimut beton untuk keperluan pengecoran tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar dari ketentuan berikut :

- ✓ 1,5 kali ukuran agregat terbesar.

- ✓ Setebal diameter tulangan yang dilindungi atau 2 kali diameter tulangan terbesar bila dipakai berkas tulangan.

Untuk perlindungan terhadap karat harus diambil tebal selimut beton sebagai berikut :

- ✓ Bila beton dicor di dalam acuan sesuai dengan spesifikasi yang berwenang dan dipadatkan sesuai standar, selimut beton harus diambil tidak kurang dari ketentuan yang diberikan pada Tabel 3. untuk klasifikasi tidak terlindung.
- ✓ Bila beton dicor di dalam tanah, tebal selimut ke permukaan yang berhubungan dengan tanah diambil seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3, namun harganya dinaikkan 30 mm atau 10 mm jika permukaan beton dilindungi lapisan yang kedap terhadap kelembaban.
- ✓ Bila beton dicor di dalam acuan kaku dan pemadatannya intensif, seperti yang dicapai dari hasil meja getar, digunakan selimut beton minimum seperti disyaratkan pada Tabel 4.
- ✓ Bila komponen struktur beton dibuat dengan cara diputar, dengan rasio air-semen kurang dari 0,35 dan tidak ada toleransi negatif pada pemasangan tulangannya, selimut ditentukan sesuai Tabel 5.

Tabel 2.2 Selimut beton untuk acuan dan pemadatan (mm)

Klasifikasi Lingkungan	Tebal selimut beton nominal (mm) untuk beton dengan kuat tekan fc' yang tidak kurang dari				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
A	35	30	25	25	25
B1	(65)	45	40	35	25
B2	-	(75)	55	45	35
C	-	-	(90)	70	60

(Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)

Tabel 2.3 Selimut beton untuk acuan kaku dan pemadatan intensif

Klasifikasi Lingkungan	Tebal selimut beton nominal (mm) untuk beton dengan kuat tekan fc' yang tidak kurang dari				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
A	25	25	25	25	25
B1	(50)	35	30	25	25
B2	-	(60)	45	35	25
C	-	-	(65)	50	40

(Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)

Tabel 2.4 Selimut beton untuk komponen yang dibuat dengan cara diputar

Klasifikasi Lingkungan	Kuat Tekan Beton fc' (Mpa)	Selimut Beton (mm)
A,B1	35	20
B2	40 50	25 20
C	40	35

(Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)

2.11 Prinsip umum perencanaan

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 puntir, harus didasarkan pada cara *Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor* (PBKT) atau cara ultimit.

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

- ✓ 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

Diasumsikan bahwa tegangan beton : 0,85 fc' terdistribusi merata pada daerah tekan ekivalen sejarak $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekanterluartersebut.

2.12 Dasar-dasar perencanaan

2.12.1 Beban Primer

Beban Primer adalah muatan atau beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan untuk setiap perencanaan jembatan. Beban-beban primer terdiri dari :

a. Beban Mati

Beban Mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan suatu kesatuan tetap dengannya. Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktur lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur ditambah dengan elemen non struktur yang dianggap tetap.

Kecuali ditentukan lain oleh Instansi yang berwenang, semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar.

Tabel 2.5 Berat Isi Untuk Beban Jembatan (KN/m^3)

No	Bahan	Berat/satuan Isi (KN/$m3$)	Kerapatan Masa (Kg/$m3$)
1	Campuran Alumunium	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 Normal	22,0-25,0	2240-2560
9	Beton Prategang	26,0-26,0	2560-2840
10	Beton Bertulang	23,5-25,5	2400-2600
11	Timbal	111	11400
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 Murni	9,8	1000
22	Air Garam	10,0	1025
23	Besi Tempa	75,5	7680

(Sumber :RSNI-T-02-2005)

Tabel 2.6 Faktor Beban Umum

Pasal No	Aksi		Lamanya Waktu (3)	Faktor Beban pada Keadaan Batas		
	Nama	Simbol (1)		Daya Layan Ks;xx;	Ultimit K u;xx;	
					Normal	Terkurangi
5.2	Berat Sendiri	P_{MS}	Tetap	1,0	*(3)	
5.3	Beban Mati Tambahan	P_{MA}	Tetap	1,0/1,3 (3)	2,0/1,4 (3)	0,7/0,8 (3)
5.4	Penyusutan dan Rangkak	P_{SR}	Tetap	1,0	1,0	N/A
5.5	Prategang	P_{PR}	Tetap	1,0	1,0	N/A
5.6	Tekanan Tanah	P_{TA}	Tetap	1,0	*(3)	*(3)

5.7	Beban Pelaksanaan Tetap	P_{PL}	Tetap	1,0	1,25	0,8
6.3	Beban Lajur "D"	T_{TD}	Train	1,0	1,8	N/A
6.4	Beban Truk "T"	T_{TT}	Train	1,0	1,8	N/A
6.7	Gaya Rem	T_{TB}	Train	1,0	1,8	N/A
6.8	Beban Sentrifugal	T_{TR}	Train	1,0	1,8	N/A
6.9	Beban trotoar	T_{TP}	Train	1,0	1,8	N/A
6.10	Beban-beban tumbukan	T_{TC}	Train	*(3)	*(3)	N/A
7.2	Penurunan	P_{ES}	Tetap	1,0	N/A	N/A
7.3	Temperatur	T_{ET}	Train	1,0	1,2	0,8
7.4	Aliran/Benda hanyutan	T_{EF}	Train	1,0	*(3)	N/A
7.5	Hidro/Daya apung	T_{EU}	Train	1,0	1,0	1,0
7.6	Angin	T_{EW}	Train	1,0	1,2	N/A
7.7	Gempa	T_{EQ}	Train	N/A	1,0	N/A
8.1	Gesekan	T_{BF}	Train	1,0	1,3	0,8
8.2	Getaran	T_{VL}	Train	1,0	N/A	N/A
8.3	Pelaksanaan	T_{CL}	Train	*(3)	*(3)	*(3)

CATATAN (1) Simbol yang terlihat hanya untuk beban nominal, simbol untuk beban rencana menggunakan tanda bintang, untuk: P_{MS} = berat sendiri nominal, P^*_{MS} = berat sendiri rencana
CATATAN (2) Train = transien
CATATAN (3) Untuk penjelasan lihat Pasal yang sesuai
CATATAN (4) * N/A* menandakan tidak dapat dipakai. Dalam hal dimana pengaruh beban transien adalah meningkatkan keamanan, faktor beban yang cocok adalah nol.

(Sumber :RSNI-T-02-2005)

b. Beban Hidup

- ✓ Beban terbagi rata (BTR)

  Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas *q*K*P*a, dimana besarnya *q* tergantung panjang total yang dibebani L seperti berikut :

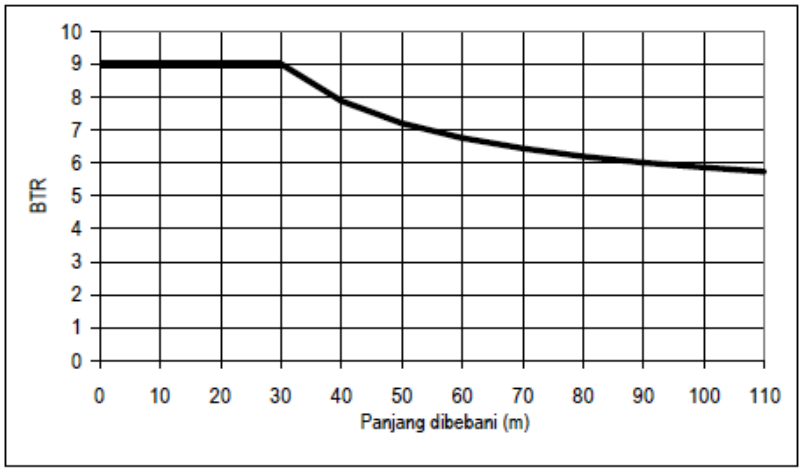
  $L \leq 30$ m : $q = 9{,}0$ KPa .....(1)

  $L > 30$ m : $q = 9{,}0\ (0{,}5 + \frac{15}{L})$ KPa .....(2)

dengan pengertian :

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

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

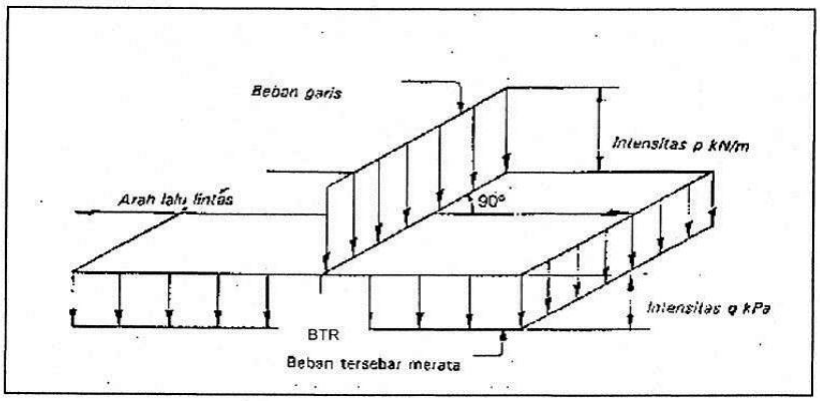


Gambar 2.5 Beban D : BTR vs Panjang yang dibebani

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

✓ Beban garis (BGT)

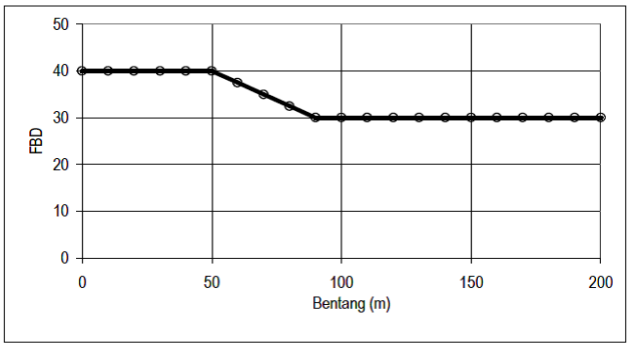
Beban garis (BGT) dengan intensitas *p KN*/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas *p* adalah 49,0 KN/m.Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan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



Gambar 2.6 Beban Lajur D

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

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



Gambar 2.7 FBD Untuk Beban Lajur D

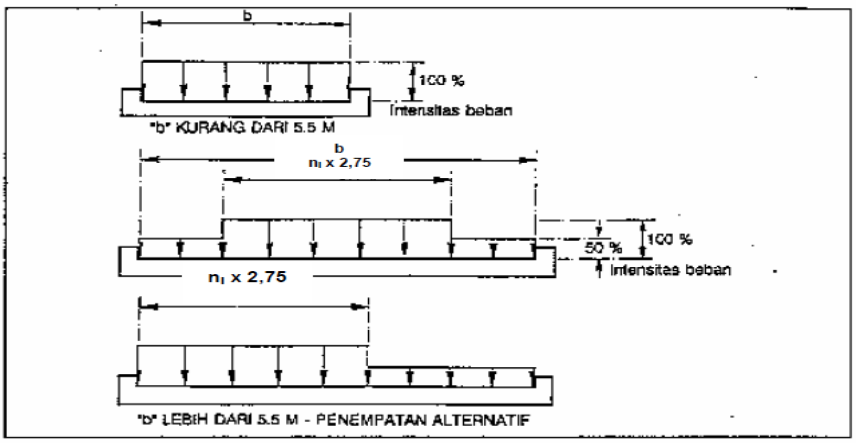
(Sumber: RSNI-t-02-2005)

✓ 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 :

a. Bila lebar jalur kendaraan pada jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %.
b. Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D"bharus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (nl) yang berdekatan , dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar nl x 2,75 *p* KN, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar nl x 2,75 m.
c. 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 %.

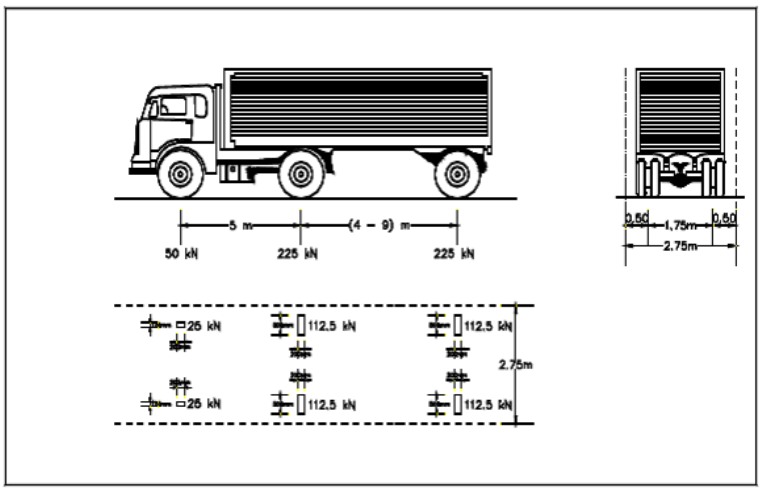


Gambar 2.8 Penyebaran Pembebanan D Pada Arah Melintang

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

✓ Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 7. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.9 Pembebanan Truk T (500 KN)

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

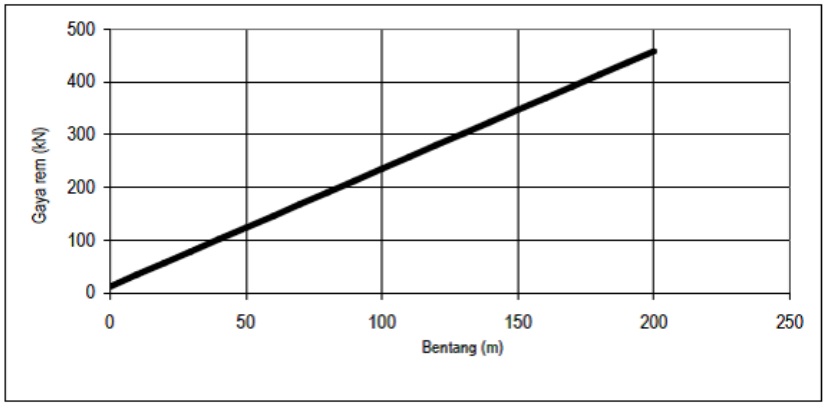
FBD diambil 30 %. Harga FDB yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang ada diatas permukaan tanah.

✓ Beban Pejalan Kaki

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul beban pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 KPa. Lajur pejalan kaki dan trotoar harus direncanakan untuk memikul beban per m^2 dari luas yang dibebani. Luas bagian yang dibebani adalah luas yang terkait dengan elemen bangunan yang ditinjau. Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 KN. 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.

2.12.2 Beban Sekunder

a. Gaya rem



Gambar 2.10 Gaya Rem Per lajur 2,75 m (KBU)

(Sumber: RSNI-t-02-2005)

b. Beban Angin

Menurut RSNI T-02-2005 : 34, pengaruh beban angin sebesar 150 Kg/m^2 pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal yang terbagi rata pada bidang vertikal dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang jembatan yang dianggap terkena angin ditetapkan dalam suatu persen tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup. Luas bidang vertikal beban hidup ditentukan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter diatas lantai kendaraan.

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang masih dalam arah tegak lurus sumbu arah memanjang jembatan. Angin harus bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas.

Beban angin dihitung dengan rumus :

$T_{EW} = 0{,}0012 \times Cw \times (Vw)^2 \; Ab$

Dimana :

T_{EW} = Kecepanan angin rencana (m/s)

Cw = Koefisien seret

Vw = Kecepatan angin

Ab = Luas koefisien samping jembatan (m^2)

Tabel 2.7 Koefisien Seret Cw

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2) B/d = 1.0 b/d = 2.0 b/d ≥ 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 diinterpolasikan linier CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai super elevasi, Cw harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat super elevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%	

(Sumber :RSNI-T-02-2005)

Tabel 2.8 Kecepatan Angin 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

(Sumber :RSNI-T-02-2005)

2.13 Pembebanan Sandaran Jembatan

Pada dasarnya sandaran pada jembatan berfungsi sebagai pembatas dan keperluan keamanan untuk pengguna jembatan.

Pembebanan rencana kerb dan penghalang lalu lintas :

- ✓ Beban rencana kerb

  Kerb harus direncanakan untuk menahan beban rencana ultimit sebesar 15 kN/meter yang bekerja sepanjang bagian atas kerb.

- ✓ Beban rencana penghalang lalu lintas tingkat 1

  Pembebanan rencana harus ditentukan berdasarkan referensi literatur khusus dan pertimbangan-pertimbangan berikut:

  a) tingkat risiko yang mungkin terjadi;
  b) ukuran kendaraan yang bekerja;
  c) kecepatan rencana lalu lintas;
  d) kelengkungan lantai kendaraan dan sudut tumbukan yang mungkin terjadi.

Beban rencana penghalang lalu lintas tingkat 2 :

- ✓ Beban rencana ultimit

  Penghalang lalu lintas tingkat 2 harus direncanakan untuk menahan beban tumbukan rencana ultimit arah menyilang, P*, seperti berikut:

  $P^* = 100$ kN untuk $h \leq 850$.

2.13.1 Tiang Sandaran

Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang untuk jembatan dengan girder beton atau profil baja. Sedangkan untuk jembatan rangka baja, tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut. Tiang sandaran harus direncanakan dengan beban kearah luar yang bekerja pada bagian palang, ditambah beban arah memanjang jembatan yang sama dengan 0,5 kali jumlah tersebut. Tiang sandaran juga harus direncanakan untuk menahan beban kearah dalam sebesar 0,25 kali beban kearah luar, yang bekerja secara terpisah.

Pembebanan vertikal tiang sandaran terdiri dari berat sendiri profil, sandaran mendatar, dan beban muatan hidup. Pembebanan horisontal Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) SKBI-1.3.28. 1987 hal 10 : “Tiang-tiang sandaran pada setiap tepi trotoir harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horisontal sebesar 100 kg/m yang bekerja pada tinggi 90 cm diatas lantai trotoar”.

Dalam perencanaa tiang sandaran ditentukan :

a. Beban horisontal (H1)
b. Berat sendiri tiang sandaran + pipa sandaran
c. Tulangan tiang sandaran

2.13.2 Hand Raill

Sandaran biasanya terbuat dari pipa besi, kayu, beton bertulang Sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu 100 kg/m. Pembebanan sandaran terdiri dari berat sendiri profil dan beban muatan hidup (beban orang yang bersandar).

Pada perencanaan pipa sandaran, ditentukan:

a. Beban hidup yang bekerja pada pipa sandaran (ql)

   $Mmax = 1/8 . q . 1^2$

b. Luas penampang pipa

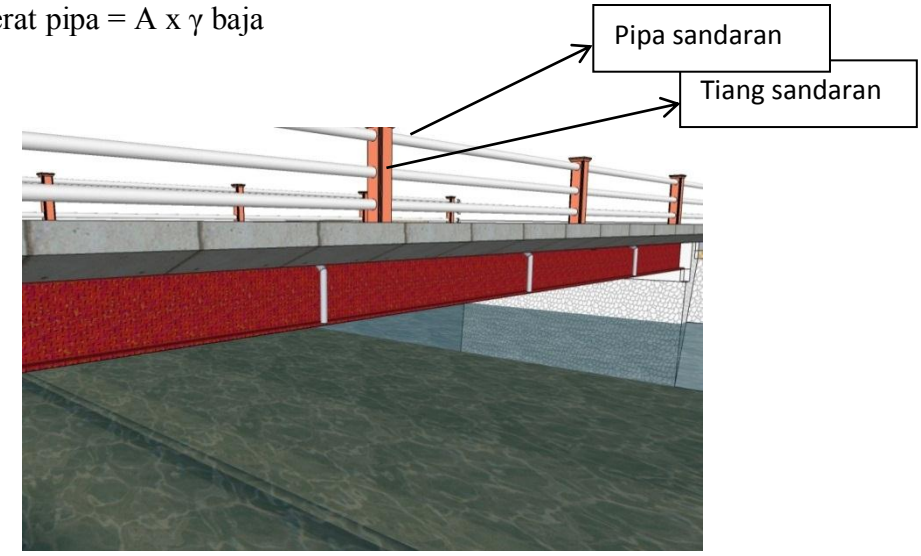
   $A = ¼ \pi (D_2 – d_2)$.

   (Buku Teknik Sipil, Nova Sunggono KH Ir)

c. Momen tahanan

d. Diameter dan tebal pipa sandaran yang dilihat pada tabel.

e. Berat pipa = A x γ baja



Gambar 2.11 Contoh Desain Sandaran Jembatan

(Sumber: http://3.bp.blogspot.com)

2.14 Bahan, Pelaksanaan dan Toleransi Sandaran

Berdasarkan Pusdiklat Kementrian Pekerjaan Umum tentang Bangunan Pelengkap Jembatan, Bahan untuk sandaran jembatan harus baja rol dengan tegangan leleh 2800 kg/cm^2 memenuhi AASHTO M183 – 90. Dan toleransi sandaran dijelaskan sebagai berikut :

- ✓ Diameter lubang : + 1 mm, - 0,4 mm

- ✓ Tiang Sandaran : Akan dipasang baris demi baris serta ketinggian, tiang-tiang harus tegak dengan toleransi tidak melampaui 3 mm per meter tinggi.
- ✓ Sandaran *(railing)* : Panel sandaran yang berbatasan harus segaris satu dengan lainnya dalam rentang 3 mm.
- ✓ Kelengkungan : Sandaran harus memenuhi kurva jembatan. Kurva ini dapat dibentuk dengan serangkaian tali antara tiang.
- ✓ Tampak : Sandaran harus menunjukkan penampilan yang halus dan seragam jika dalam posisi akhir.

Dalam pelaksanaan, sandaran harus dipasang dengan hati-hati sesuai dengan garis dan ketinggian yang ditunjukkan dalam Gambar. Sandaran harus disetel dengan hati-hati sebelum dimatikan agar dapat memperoleh sambungan yang tepat, alinyemen yang benar dan lendutan balik (camber) pada seluruh panjang.

2.15 Pekerjaan dan perhitungan sandaran jembatan

2.15.1 Pekerjaan sandaran

a. Pekerjaan pembesian : Pekerjaan pemotongan dan perakitan tulangan

b. Pekerjaan bekisting

c. Pekerjaan pengecoran : Concrete pan mixer, truck mixer, water tanker, concrete vibrator

2.15.2 Perhitungan sandaran

a. Perhitungan tiang sandaran

- ✓ Berat tiang sandaran
  - Gaya horisontal (H_{TP}) = Beban horisontal (H_1) x L
  - Momen (M_{TP}) = H_{TP} x Lengan terhadap sisi bawah sandaran (Y)

- Momen ultimie (Mu) = M_{TP} x Faktor beban ultimit (K_{TP})
- Gaya geser ultimit (Vu) = H_{TP} x K_{TP}

✓ Perhitungan penulangan

- Penulangan lentur

  Data yang ditentukan :

  - Momen tumpuan ultimit rencana (Mu)
  - Kuat karakteristik beton (f'c)
  - Kuat leleh baja (fy)
  - Lebar Tiang reling (b)
  - Jarak tulangan terhadap sisi luar (d')
  - Modulus elastisitas baja (Es = 200000 Mpa)
  - Faktor bentuk distribusi tegangan beton ($\beta 1 = 0.85$)
  - Rasio penulangan kondisi seimbang

    $\rho b = 0{,}85.\beta 1.(f'c/fy).(600/(600 + fy))\ \rho b$
  - Faktor tahanan momen maksimum

    $Rmax = 0{,}75.\rho b.fy.[1 - 0{,}5.0{,}75.\rho b.fy/(0{,}85.f'c)]$
  - Faktor reduksi kekuatan lentur $\phi = 0.80$
  - Faktor reduksi kekuatan geser $\phi = 0.60$
  - Lebar efektif tiang (d) = h - d'
  - Momen nominal (Mn) = Mu / ϕ Mn
  - Faktor tahanan (Rn) = $Mn.10^6 / (b.d^2) < Rmax$

  Rasio tulangan yang diperlukan :

  - Rasio penulangan

    $\rho = 0{,}85.(fc'/fy).\{1 - \sqrt{[1 - 2.\ Rn/(0{,}85.fc')]}\}$

- Rasio penulangan minimum ($\rho_{min)}$ =1.4 / fy
- Rasio penulangan terpakai
- Luasan tulangan perlu (As) = ρ x b x d
- Diameter tulangan yang digunakan
- Jarak tulangan (n) = As / ($0.25.\pi.D^2$)

- Penulangan geser

  Data yang ditentukan :

  - Gaya geser rencana (Vu)
  - Kuat geser beton (Vc) = (1/6). √f'c . b .d
  - Luas tul. geser perlu (ϕ.Vc)
  - Kontrol ϕ.Vc > Vu

  Secara teoritis tidak perlu sengkang. Untuk kestabilan dipasang tulangan minimum (SK SNI T-15-1991-03, hal 38). Secara teori kemampuan beton menahan geser lebih besar dari gaya geser yang bekerja sehingga tidak perlu tulangan geser atau cukup diberi tulangan geser minimum sebagai pengikat.

  - Luas tulangan geser (As) = $0,25.\pi.d^2$
  - Luas tul. geser total (AV) = 2 . As
  - Jarak antar tulangan (S) = (3.Av.fy) / b

  Jarak spesi tulangan : S_{max} = 0,5 d (SK SNI T-15-1991-03, hal 38) atau S_{max} = 600 mm (SK SNI T-15-1991-03, hal 38).

  Penggunaan spesi : $Av_{min} = \frac{\frac{1}{3}\sqrt{fc'bs}}{fy}$

  Jarak sengkang untuk penggunaan tulangan : $\frac{Av\ fy}{\frac{1}{3}\sqrt{fc'bs}}$