

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Tinjauan Umum**

Jembatan dapat didefinisikan sebagai suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api, dan perlintasan lainnya. Konstruksi suatu jembatan terdiri dari bangunan atas, bangunan bawah dan pondasi. Sesuai dengan istilahnya bangunan atas berada pada bagian atas suatu jembatan yang berfungsi untuk menampung semua beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas kendaraan atau orang yang kemudian disalurkan ke bagian bawah. Sedang bangunan bawah terletak di bawah bangunan atas yang berfungsi untuk menerima atau memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkan ke pondasi. Pondasi berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah lalu disalurkan ke tanah. Jenis pondasi tergantung dari kondisi tanah dasarnya, dapat menggunakan tiang pancang atau tiang bor.

Jenis-jenis jembatan cukup banyak tergantung dari sudut pandang yang diambil. Berdasar bahan bangunannya sendiri jembatan dapat dikelompokkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Jenis-jenis jembatan berdasarkan bahan

### 1. Jembatan kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan sederhana yang mempunyai panjang relatif pendek dengan beban yang diterima relatif ringan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Meskipun pembuatannya menggunakan bahan utama kayu, struktur dalam perencanaan atau pembuatannya harus memperhatikan dan mempertimbangkan ilmu gaya (mekanika).

### 2. Jembatan pasangan batu dan batu bata

Jembatan pasangan batu dan bata merupakan jembatan yang konstruksi utamanya terbuat dari batu dan bata dapat dilihat pada Gambar 2.1. Untuk membuat jembatan dengan batu dan bata umumnya konstruksi jembatan

harus dibuat melengkung. Seiring perkembangan jaman jembatan ini sudah tidak digunakan lagi.

### **3. Jembatan beton bertulang dan jembatan beton prategang**

Jembatan dengan beton bertulang pada umumnya hanya digunakan untuk bentang jembatan yang pendek dapat dilihat pada Gambar 2.1 (hal. 6). Untuk bentang yang panjang seiring dengan perkembangan jaman ditemukan beton prategang. Dengan beton prategang bentang jembatan yang panjang dapat dibuat dengan mudah.

### **4. Jembatan baja**

Jembatan baja pada umumnya digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang dengan beban yang diterima cukup besar dapat dilihat pada Gambar 2.1 (hal. 6). Seperti halnya beton prategang, penggunaan jembatan baja banyak digunakan dan bentuknya lebih bervariasi, karena dengan jembatan baja bentang yang panjang biayanya lebih ekonomis.

### **5. Jembatan komposit**

Jembatan komposit merupakan perpaduan antara dua bahan berbeda yang bekerja secara bersamaan dengan memanfaatkan sifat menguntungkan dari masing – masing bahan tersebut, sehingga kombinasinya akan menghasilkan elemen struktur yang lebih efisien dapat dilihat pada Gambar 2.1 (hal. 6).

Ditinjau dari fungsinya maka jembatan dapat dibedakan menjadi :



Gambar 2.2 Jenis-jenis jembatan berdasarkan fungsi

**1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)**

Jembatan yang direncanakan untuk memikul beban lalu lintas kendaraan baik kendaraan berat maupun ringan dapat dilihat pada Gambar 2.2.

**2. Jembatan penyeberangan (*foot bridge*)**

Jembatan yang digunakan untuk penyeberangan jalan dapat dilihat pada Gambar 2.2. Fungsi dari jembatan ini yaitu untuk memberikan ketertiban pada jalan yang dilewati jembatan penyeberangan tersebut dan memberikan keamanan serta mengurangi faktor kecelakaan bagi penyeberang jalan.

**3. Jembatan kereta api (*railway bridge*)**

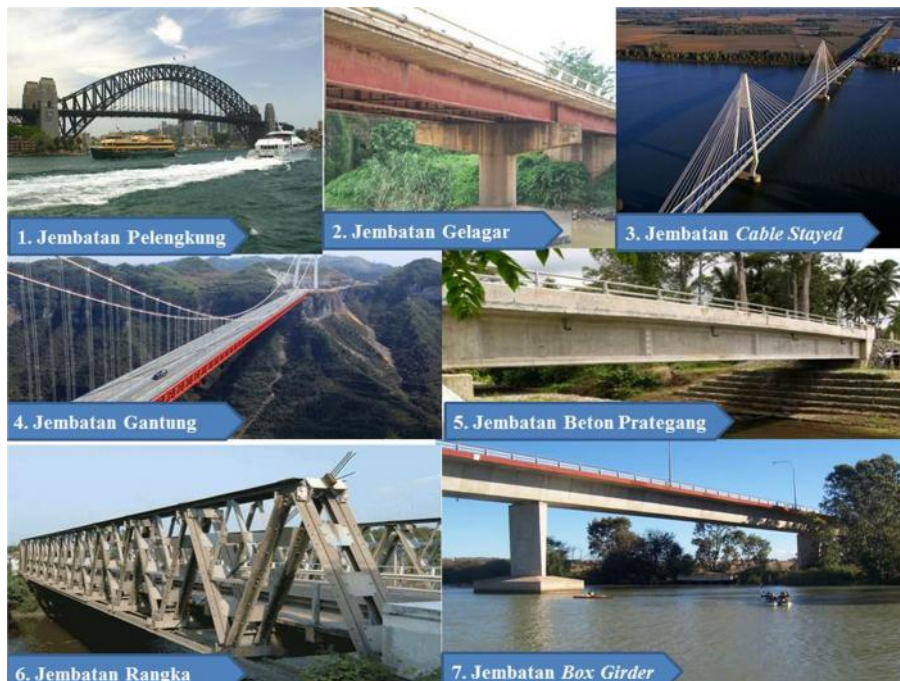
Jembatan yang dirancang khusus untuk dapat dilintasi kereta api dapat dilihat pada Gambar 2.2. Perencanaan jembatan ini dari jalan rel kereta api, ruang

bebas jembatan, hingga beban yang diterima oleh jembatan disesuaikan dengan kereta api yang melewati jembatan tersebut.

#### 4. Jembatan darurat

Jembatan darurat adalah jembatan yang direncanakan dan dibuat untuk kepentingan darurat dan biasanya dibuat hanya sementara dapat dilihat pada Gambar 2.2 (hal. 8). Umumnya jembatan darurat dibuat pada saat pembuatan jembatan baru dimana jembatan lama harus dilakukan pembongkaran, dan jembatan darurat dapat dibongkar setelah jembatan baru dapat berfungsi.

Ditinjau dari sistem strukturnya maka jembatan dapat dibedakan menjadi sebagai berikut :



Gambar 2.3 Jenis-jenis jembatan berdasarkan sistem struktur

### 1. Jembatan lengkung (*arch bridge*)

Pelengkung adalah bentuk struktur non linier yang mempunyai kemampuan sangat tinggi terhadap respon momen lengkung dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Yang membedakan bentuk pelengkung dengan bentuk – bentuk lainnya adalah bahwa kedua perletakan ujungnya berupa sendi sehingga pada perletakan tidak diijinkan adanya pergerakan kearah horisontal. Jembatan tipe lengkung lebih efisien digunakan untuk jembatan dengan panjang bentang 100 – 300 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

### 2. Jembatan gelagar (*beam bridge*)

Jembatan bentuk gelagar terdiri lebih dari satu gelagar tunggal yang terbuat dari beton, baja atau beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Jembatan jenis ini dirangkai dengan menggunakan *diafragma*, dan umumnya menyatu secara kaku dengan pelat yang merupakan lantai lalu lintas. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 5 – 40 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

### 3. Jembatan *cable-stayed*

Jembatan *cable-stayed* menggunakan kabel sebagai elemen pemikul lantai lalu lintas. Pada *cable-stayed* kabel langsung ditumpu oleh dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Jembatan *cable-stayed* merupakan gelagar menerus dengan *tower* satu atau lebih yang terpasang diatas pilar – pilar jembatan ditengah bentang. Jembatan *cable-stayed* memiliki titik pusat massa yang

relatif rendah posisinya sehingga jembatan tipe ini sangat baik digunakan pada daerah dengan resiko gempa dan digunakan untuk variasi panjang bentang 100 - 600 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

#### **4. Jembatan gantung (*suspension bridge*)**

Sistem struktur dasar jembatan gantung berupa kabel utama (*main cable*) yang memikul kabel gantung (*suspension bridge*) dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Lantai lalu lintas jembatan biasanya tidak terhubung langsung dengan pilar, karena prinsip pemikulan gelagar terletak pada kabel. Apabila terjadi beban angin dengan intensitas tinggi jembatan dapat ditutup dan arus lalu lintas dihentikan. Hal ini untuk mencegah sulitnya mengemudi kendaraan dalam goyangan yang tinggi. Pemasangan gelagar jembatan gantung dilaksanakan setelah sistem kabel terpasang, dan kabel sekaligus merupakan bagian dari struktur *launching* jembatan. Jembatan ini umumnya digunakan untuk bentang 1000-1400 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

#### **5. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)**

Jembatan beton prategang merupakan suatu perkembangan mutakhir dari bahan beton dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Pada Jembatan beton prategang diberikan gaya prategang awal yang dimaksudkan untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban. Jembatan beton prategang sangat efisien karena analisa penampang berdasarkan penampang utuh.

Jembatan jenis ini digunakan untuk variasi bentang jembatan 20 - 40 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

#### **6. Jembatan rangka (*truss bridge*)**

Jembatan rangka umumnya terbuat dari baja, dengan bentuk dasar berupa segitiga dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). Elemen rangka dianggap bersendi pada kedua ujungnya sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Jembatan rangka merupakan salah satu jembatan tertua dan dapat dibuat dalam beragam variasi bentuk, sebagai gelagar sederhana, lengkung atau kantilever. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 50 – 100 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1 (hal. 13).

#### **7. Jembatan *box girder***

Jembatan *box girder* umumnya terbuat dari baja atau beton konvensional maupun prategang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (hal. 9). *Box girder* terutama digunakan sebagai gelagar jembatan, dan dapat dikombinasikan dengan sistem jembatan gantung, *cable-stayed* maupun bentuk pelengkung. Manfaat utama dari *box girder* adalah momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan karena adanya rongga ditengah penampang. *box girder* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, tetapi bentuk trapesium adalah yang paling banyak digunakan. Rongga di tengah *box* memungkinkan pemasangan tendon prategang diluar penampang



beton. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 20 – 40 meter dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variasi jenis jembatan dan bentang

Jenis Jembatan	Bentang (meter)
Jembatan lengkung ( <i>arch bridge</i> )	100 - 300
Jembatan gelagar ( <i>beam bridge</i> )	5 - 40
Jembatan <i>cable-stayed</i>	100 - 600
Jembatan gantung ( <i>suspension bridge</i> )	1000 - 1400
Jembatan beton prategang ( <i>prestressed concrete bridge</i> )	20 - 40
Jembatan rangka ( <i>truss bridge</i> )	50 - 100
Jembatan <i>box girder</i>	20 - 40

## B. Pembebanan Struktur

Dalam merencanakan suatu jembatan, peraturan pembebanan yang dipakai mengacu pada Rencana Standar Nasional Indonesia (RSNI T-02-2005). Beban - beban yang bekerja meliputi :

### 1. Berat sendiri

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

Tabel 2.2 Faktor beban untuk berat sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$S;;MS;$		$U;;MS;$	
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

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 10

## 2. Beban mati tambahan / utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$S;;MA;$	$U;;MA;$
Tetap	Keadaan umum	2,0
	1,0 (1) Keadaan khusus	0,7
CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat Utilitas		

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 12

- Perawatan permukaan khusus
- Pelapisan ulang dianggap sebesar 50 mm aspal beton
- Sandaran, pagar pengaman dan penghalang beton
- Tanda-tanda (rambu)
- Perlengkapan umum seperti pipa air dan penyaluran (dianggap kosong atau penuh)

### 3. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak, dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

Beban lalu lintas meliputi :

#### a. Lajur lalu lintas rencana

Lajur lalu lintas Rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.5. (hal. 16).

#### 1. Beban lajur "D"

Tabel 2.4 Faktor beban akibat beban lajur "D"

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$S;;TD;$	$U;;TD;$
Transien	1,0	1,8

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 12

#### 2. Intensitas dari beban "D"

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang

digabung dengan beban garis (BGT).

Tabel 2.5 Jumlah lajur lalu lintas rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan	Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana (n)
Satu lajur	4,0 - 5,0	1
Dua arah, tanpa Median	5,5 - 8,25 11,3 - 15,0	2 (3) 4
Banyak arah	8,25 - 11,25	3
	11,3 - 15,0	4
	15,1 - 18,75	5
	18,8 - 22,5	6

CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang.

CATATAN (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah.

CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6.0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 13

Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

a. Beban terbagi rata (BTR)

mempunyai intensitas  $q$ , dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  seperti berikut:

(RSNI T-02-2005 hal. 13, direvisi dari BMS 1992)

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

$$q = 9,0 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa (jika } L > 30 \text{ m)}$$

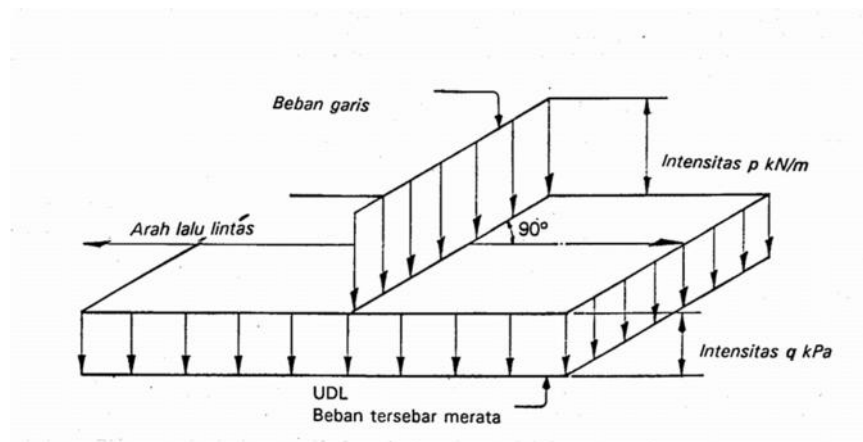
dengan pengertian:

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

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

b. 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. (RSNI T-02-2005 hal. 18, direvisi dari BMS 1992)



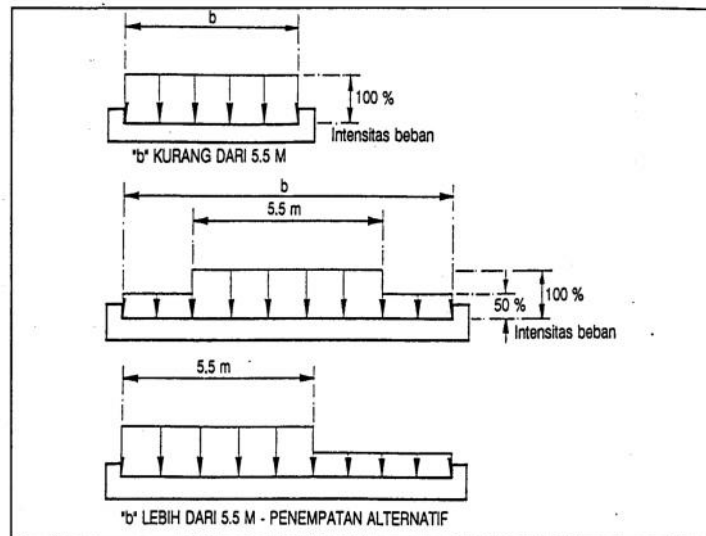
Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 18

Gambar 2.4 Beban lajur "D"

### 3. 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 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" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana ( $n_l$ ) yang berdekatan (Tabel 2.5 ), 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, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar  $n_l \times 2,75$  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 %. Susunan pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.5. (hal. 19).



Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 20

Gambar 2.5 Penyebaran pembebanan pada arah melintang

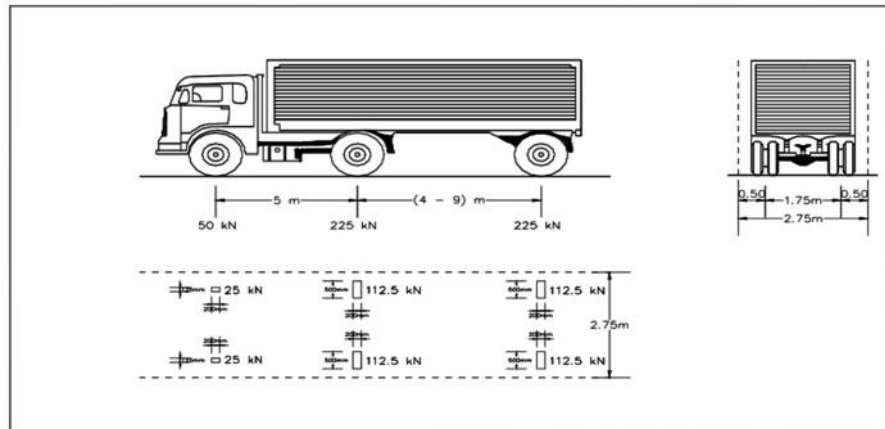
#### 4. Pembebanan truk "T"

Tabel 2.6 Faktor beban akibat pembebanan truk "T"

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

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 22

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 2.6. Berat dari masing-masing as disebarakan 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.



Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 22

Gambar 2.6 Pembebanan truk "T" (500 kN)

## 5. Gaya rem

Tabel 2.7 Faktor beban akibat gaya rem

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K S;;TB;$	$K U;;TB;$
Transien	1	1,8

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 25

Bekerjanya gaya-gaya di arah 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 pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan



direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, digunakan rumus 1:  $q = 9$  kPa.

## 6. Pembebanan untuk pejalan kaki

Tabel 2.8 Faktor beban akibat pembebanan untuk pejalan kaki

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K S;;TP;$	$K U;;TP;$
Transien	1	1,8

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 25

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  $m^2$  dari luas yang dibebani.

## 7. Angin

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

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \quad [\text{kN}] \quad (\text{RSNI T-02-2005 hal. 37})$$

dengan :

$V_w$  = Kecepatan angin rencana (m/det) untuk keadaan batas yang ditinjau

$C_w$  = Koefisien seret (lihat Tabel 2.16)

$A_b$  = Luas koefisien bagian samping jembatan ( $m^2$ )

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang

masif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekivalen ini dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

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

$$TEW = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \quad [ \text{kN} ]$$

dimana:

$$C_w = 1.2$$

Tabel 2.9 Koefisien seret  $C_w$

Tipe Jembatan	$C$
Bangunan atas masif:	
(1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d = 6.0$	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	

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 37

Tabel 2.10 Kecepatan angin rencana  $V_W$ 

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

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 37

## 8. Pengaruh gempa

Tabel 2.11 Faktor beban akibat pengaruh gempa

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K$	$K$
Transien	Tak dapat	1.0

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 38

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas ultimit.

### 1. Beban horizontal statis ekuivalen

Pasal ini menetapkan metoda untuk menghitung beban statis ekuivalen untuk jembatan- jembatan dimana analisa statis ekuivalen adalah sesuai. Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Lihat standar perencanaan beban gempa untuk jembatan (Pd.T.04.2004.B). Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut:

$$T^*EQ = K_h I W T \quad . \quad (\text{RSNI T-02-2005 hal. 38})$$

Dimana :

$$K_h = C S$$

dimana :

$T^*EQ$  = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

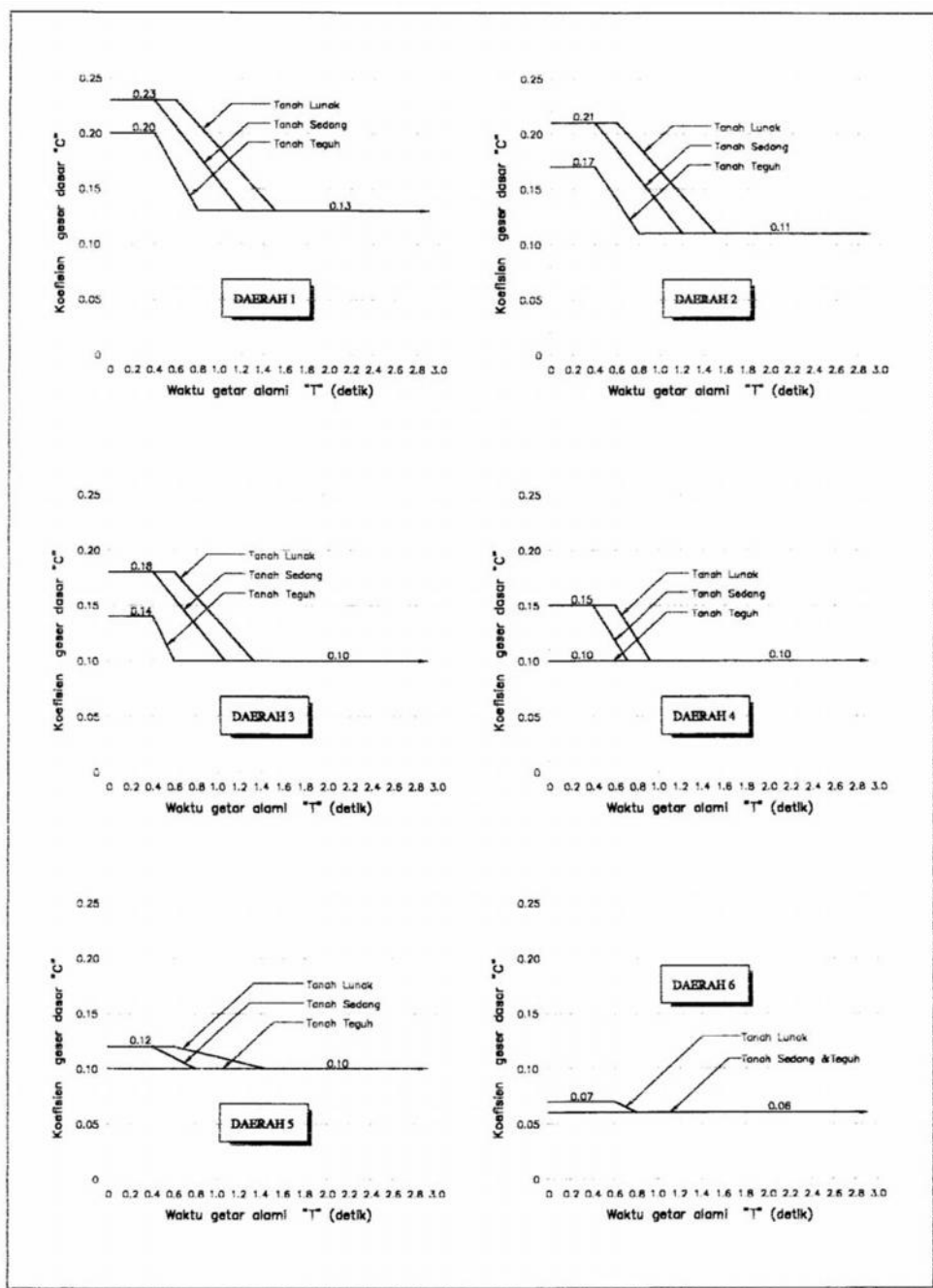
$K_h$  = Koefisien beban gempa horisontal

$C$  = Koefisien geser dasar untuk daerah , waktu dan kondisi setempat yang sesuai diperoleh dari Gambar 2.7.

$I$  = Faktor kepentingan ditentukan dari Tabel 2.20.

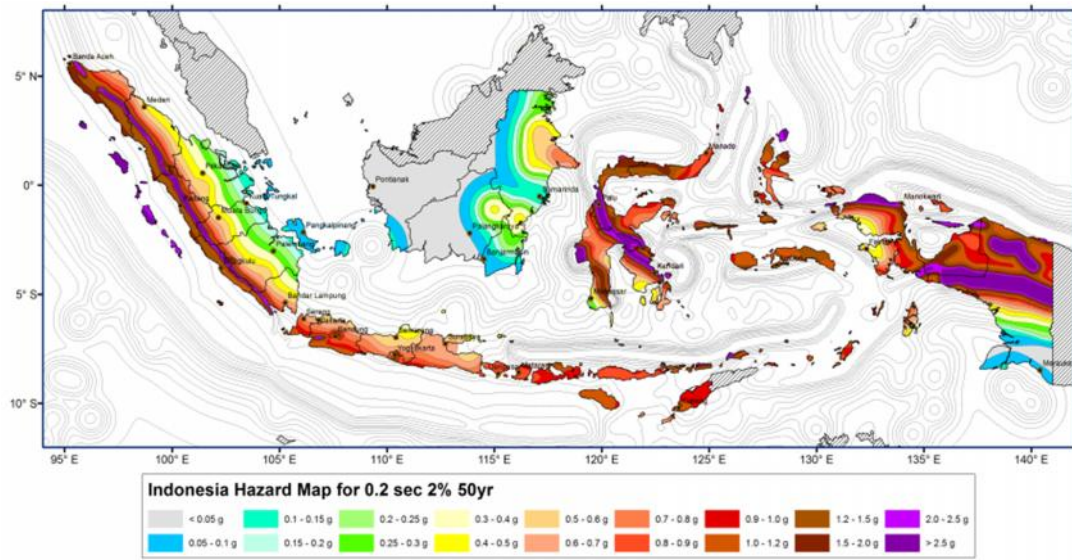
$S$  = Faktor tipe bangunan diberikan dalam Tabel 2.21.

$WT$  = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)



Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 40

Gambar 2.7 Koefisien geser dasar (C) plastis untuk analisis statis



Gambar 2.8 Wilayah gempa Indonesia untuk periode ulang 2500 tahun

## 2. Beban vertikal statis ekuivalen

Untuk perencanaan perletakan dan sambungan, gaya gempa vertikal dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal (keatas atau kebawah) sebesar 0.1 g, yang harus bekerja secara bersamaan dengan gaya horisontal yang dihitung. Gaya ini jangan dikurangi oleh berat sendiri jembatan dan bangunan pelengkapanya.

Tabel 2.12 Faktor kepentingan

1. Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif.	1,2
2. Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	1,0
3. Jembatan sementara (misal: <i>Bailey</i> ) dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi sesuai dengan pasal 6.5.	0,8

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 44

Tabel 2.13 Faktor tipe bangunan

Tipe Jembatan (1)	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Bertulang atau Baja	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Prategang	
		Prategang Parsial (2)	Prategang Penuh (2)
Tipe A (3)	1,0 F	1,15 F	1
Tipe B (3)	1,0 F	1,15 F	1
Tipe C	3,0	3,0	3

CATATAN (1)	<p>F = Faktor perangkaan  <math>= 1,25 - 0,025 n</math> ; <math>F \geq 1,00</math></p> <p>n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral pada masing- masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri-sendiri (misalnya : bagian-bagian yang dipisahkan oleh sambungan siar muai yang memberikan keleluasan untuk bergerak dalam arah lateral secara sendiri-sendiri)</p>
CATATAN (2)	<p>Tipe A : jembatan daktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah)</p> <p>Tipe B : jembatan daktail (bangunan atas terpisah dengan bangunan bawah)</p> <p>Tipe C : jembatan tidak daktail (tanpa sendi plastis)</p>

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 44

### 3. Tekanan tanah lateral akibat gempa

Gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah (tekanan tanah dinamis) dihitung dengan menggunakan faktor harga dari sifat bahan, koefisien geser dasar C diberikan dalam gambar 2.7 (hal.25) dan faktor kepentingan I diberikan dalam Tabel 12 (hal. 27). Faktor tipe struktur S untuk perhitungan  $k_h$  harus diambil sama dengan 1,0. Pengaruh dari percepatan tanah arah vertikal bisa diabaikan diberikan pada table 2.13. (hal.27)



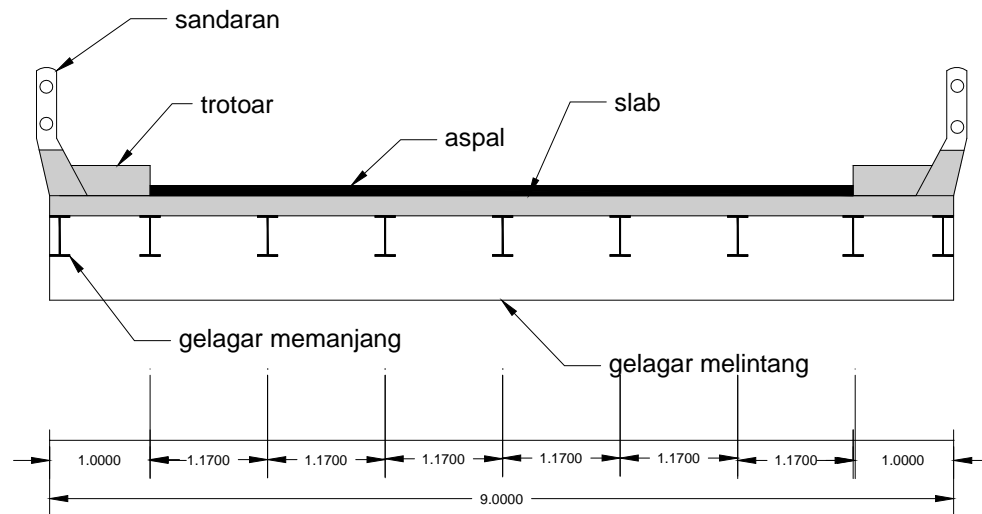
### 9. Kombinasi pada keadaan batas ultimit

Tabel 2.14 Kombinasi beban umum untuk keadaan batas kelayanan dan ultimit

Aksi	Kelayanan						Ultimit					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen :												
Berat sendiri												
Beban mati tambahan												
Susut rangk												
Pratekan	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pengaruh beban tetap pelaksanaan												
Tekanan tanah												
Penurunan												
Aksi Transien :												
Beban lajur "D" atau beban truk "T"	X						X					
		O	O	O	O			O	O	O	O	
Gaya rem atau gaya sentrifugal	X	O	O	O	O		X	O	O	O		
Beban pejalan kaki		X						X				
Gesekan perletakan	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O		O
Pengaruh suhu	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O		O
Aliran / hanyutan / batang kayu dan hidrostatik / apung	O		O	X	O	O	O		X		O	O
Beban angin			O	O	X	O	O		O	X		O
Aksi Khusus :												
Gempa												X
Beban tumbukan												
Pengaruh getaran	X	X										
Beban pelaksanaan						X						X

Sumber : RSNI T-02-2005 hal. 51

### C. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)



Gambar 2.9 Penampang melintang jembatan

#### 1. Beban Trotoar, *Kerb* dan Sandaran

Konstruksi trotoar harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m<sup>2</sup>. Pengaruh beban hidup trotoar pada kekuatan gelagar, diperhitungkan beban sebesar 60% beban hidup trotoir (Supriyadi, dkk., 2007).

*Kerb* yang terdapat pada tepi – tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horizontal kearah melintang jembatan sebesar 500 kg/m yang bekerja pada puncak *kerb* yang bersangkutan atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan apabila *kerb* yang bersangkutan lebih tinggi dari 25 cm. Tiang – tiang sandaran pada setiap trotoar harus diperhitungkan untuk menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoar.

a. Cek kekakuan/lendutan (manual)

$$\leq \bar{\Delta} = \frac{L}{800}$$

dengan :

$\Delta$  = Lendutan yang terjadi (mm)

$\bar{\Delta}$  = Lendutan ijin (mm)

$$= \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$L$  = Bentang (mm)

$q$  = Beban merata (N/mm)

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$I$  = Momen inersia (mm<sup>4</sup>)

## 2. Perencanaan Gelagar Melintang

Gelagar melintang dan pelat beton direncanakan komposit. Seluruh beban yang bekerja diatas plat lantai di terima oleh struktur komposit gelagar melintang-pelat beton yang kemudian menyalurkannya ke rangka utama jembatan. Gelagar ini direncanakan dengan panjang bentang 9 m dengan jarak antar gelagar melintang 4 m .

## 3. Pelat komposit

Pada perencanaan ini balok jembatan menggunakan bahan dari profil baja. Untuk balok komposit pelat beton yang berada di atas balok baja menahan beban. Lekatan antara beton dengan baja dapat dipertinggi dengan memasang penghubung geser (*shear connector*) di atas *flange* baja. Berikut keuntungan menggunakan balok komposit:

1. Menghemat penggunaan baja kurang lebih 20%
2. Tinggi balok baja dapat lebih rendah

## 3. Meningkatkan kekuatan pelat lantai

1. Bentang balok dapat lebih besar
2. Pelat beton yang bersatu dengan balok baja hanya selebar  $b_e$  (lebar efektif)

yang ditentukan sebagai berikut :

Untuk gelagar tengah                      b. Untuk gelagar tepi

$$- b_e = L/5 \qquad \qquad \qquad - b_e = (L/10)+c$$

$$- b_e = 12*t_{min} \qquad \qquad \qquad - b_e = 6*t_{min}$$

$$- b_e = A \qquad \qquad \qquad - b_e = (a/2)+c$$

dengan :

- $A$                       = Jarak antar gelagar (mm)  
 $t_{min}$                     = Tebal pelat lantai minimum (mm)  
 $L$                         = Panjang gelagar (mm)  
 $C$                         = Jarak bebas tepi plat

Dengan rumus :

$$M_u \qquad \qquad \qquad \leq \phi M_n$$

a. *Shear Connector*/ penampang geser

*Shear connector* digunakan untuk menahan gaya geser horizontal memanjang yang terjadi pada bidang pertemuan platbeton dengan balok baja sesuai SNI 03-1729-2002 kekuatan shear connector adalah :

$$Q_n = 0,5 * A_{sc} * \sqrt{f'_c} * \sqrt{E_c} \leq A_{sc} * f_u$$

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} \text{ Mpa}$$

dengan :

- $A_{sc}$                     = Luas penampang paku/ stud ( $\text{mm}^2$ )  
 $E_c$                         = Modulus elastis beton (MPa)  
 $f_u$                         = Tegangan putus

jika paku/ *stud* ditanam pada balok komposit yang menggunakan dek baja maka nilai  $Q_n$  di atas harus dikalikan dengan sebuah faktor reduksi ( $R_p$ ) yang besarnya tergantung cara pemasangan dek baja terhadap balok penumpunya, seperti pada penjelasan di atas.

- BMS 1992: memanjang  $s \leq 600$  mm atau  $s \leq 4 \cdot H_s$

dengan:

$H_s$  = Tinggi paku/ *stud* (mm)

$d_s$  = Diameter paku/ *stud* (mm)

$s$  = Jarak paku/ *stud* (mm)

Untuk aksi komposit penuh, gaya horizontal ditentukan oleh kapasitas tekan beton atau kapasitas tarik baja :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \quad (\text{N})$$

$$C_s = A_s \cdot f_y \quad (\text{N})$$

$$n = \left( \frac{c}{Q_n \cdot R_p} \right)$$

## 5. Gelagar memanjang

Gelagar memanjang berfungsi menahan semua beban yang bekerja di atasnya kemudian menyalurkannya ke gelagar melintang. Jarak antar gelagar memanjang direncanakan 1,17 m.

## D. Kekuatan penampang

Struktur atas merupakan struktur dari jembatan yang terletak di bagian atas dari jembatan. Struktur jembatan bagian atas meliputi :

### 1. Kekuatan Unsur Terhadap Tarik

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor,  $N_u$ , harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \quad \dots(1) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

dengan  $N_n$  adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di beberapa persamaan di bawah ini:

1. kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto :

$$N_n = A_g f_y \quad \dots(2) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

2. kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif :

$$N_n = A_e f_u \quad \dots(3) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

3. kuat tarik nominal berdasarkan perencanaan *rupture* pada penampang:

a. kuat geser ruptur nominal :

$$N_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad \dots(4) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

b. kuat tarik ruptur nominal :

$$N_n = A_{et} f_u \quad \dots(5) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

c. kuat tarik dan geser ruptur nominal :

1). untuk  $A_{et} f_u \leq 0,6 A_{ev} f_u \quad \dots(6)$

$$N_n = 0,6 A_{gv} f_y + A_{et} f_u \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

2). untuk  $0,6 A_{ev} f_u \leq A_{et} f_u \quad \dots(7)$

$$N_n = 0,6 A_{nv} f_u + A_{gt} f_y \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 12})$$

dengan :

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$A_{gt}$  = luas penampang bruto terhadap tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A_{gv}$  = luas penampang bruto terhadap geser ( $\text{mm}^2$ )

$A_{et}$  = luas penampang efektif terhadap tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A_{ev}$  = luas penampang efektif terhadap geser ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan leleh (MPa)

$f_u$  = tegangan tarik putus (MPa)

Nilai  $\phi$  dalam persamaan (1) diambil sebesar 0,9 untuk hubungan dengan persamaan (2), dan  $\phi$  diambil sebesar 0,75 untuk hubungan dengan persamaan (3), (4), (5), (6) dan (7).

Tabel 2.15 Faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit

Situas	Faktor Reduksi Kekuatan, <b>I</b>
a. Lentur b. Geser	0,90
c. Aksial tekan	0,90
d. Aksial tarik	0,85
1. terhadap kuat tarik leleh	
2. terhadap kuat tarik fraktur	0,90
e. Penghubung geser	0,75
f. Sambungan baut	0,75
g. Hubungan las	0,75
1. Las tumpul penetrasi penuh	
2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,90 0,75

Sumber: (RSNI T-03-2005 hal. 10)

## 2. Komponen Struktur Batang Tekan

Batang-batang tekan yang banyak dijumpai yaitu kolom dan batang-batang tekan dalam struktur rangka batang. Komponen struktur tekan dapat terdiri dari profil tunggal atau profil tersusun yang digabung dengan menggunakan

pelat kopel. Syarat kestabilan dalam mendesain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan, mengingat adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan langsing (SNI 03-1729-2002).

Struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor harus memenuhi :

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 17})$$

Kuat tekan akibat tekuk lentur ( $N_n$ ) ditentukan sebagai berikut :

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A_g \cdot f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 19})$$

$$N_n = \frac{0,88}{\lambda_c^2} \cdot A_g \cdot f_y \quad \text{untuk } \lambda_c > 1,5$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$L_k = k_c \cdot L$$

dengan :

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan leleh (MPa)

$\lambda_c$  = parameter kelangsingan

$k_c$  = faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka dapat













dilihat pada Gambar 2.13

$E$  = modulus elastisitas bahan baja (MPa).

$L$  = panjang batang (mm)

$L_k$  = panjang batang tekuk (mm)



	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	 = Rotasi terjepit, translasi terjepit  = Rotasi terjepit, translasi bebas  = Rotasi bebas, translasi terjepit  = Rotasi bebas, translasi bebas			 = Rotasi terjepit, translasi bebas  = Rotasi bebas, translasi bebas		

Sumber : RSNI T-03-2005

Gambar 2.10 Faktor panjang tekuk

### 3. Komponen Struktur Lentur

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat (sumbu x) dan dengan metode elastis, harus memenuhi :

$$M_u \leq \phi M_n \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 30})$$

dengan :

$M_u$  = momen lentur terfaktor (Nmm)

$M_n$  = momen lentur nominal (Nmm)

Momen lentur nominal harus memenuhi syarat dibawah ini :

#### a. Penampang kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p$ , kuat lentur nominal

penampang :

$$M_n = M_p \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 31})$$

$$M_p = f_y \cdot Z$$

b. Penampang tidak kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 32})$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot S$$

c. Penampang langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi  $\lambda < \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_r \cdot \left( \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 32})$$

1) Untuk pelat badan yang memenuhi  $\lambda < \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = K_g \cdot S \cdot f_{cr} \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 34})$$

$$K_g = 1 - \left[ \frac{a_r}{1200 + 300 \cdot a_r} \right] \cdot \left[ \frac{h}{t_w} \cdot \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right] \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 34})$$

$f_{cr}$  ditentukan dengan syarat :

a) Komponen struktur yang memenuhi  $\lambda < \lambda_p$

$$f_{cr} = f_y \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 35})$$

b) Komponen struktur yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$

$$f_{cr} = C_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\lambda_G - \lambda_p}{2 \cdot (\lambda_r - \lambda_p)}\right) \cdot f_y \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 36})$$

c) Komponen struktur yang memenuhi  $r < \lambda_G$

$$f_{cr} = f_c \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G}\right)^2 \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 36})$$

$$f_c = \frac{C_b \cdot f_y}{2} \leq f_y$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\max}}{2,5 \cdot M_{\max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3$$

dengan :

$M_p$  = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami

Tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang (Nmm)

$M_r$  = momen batas tekuk (Nmm)

$S$  = modulus penampang elastis (mm<sup>3</sup>)

$Z$  = modulus penampang plastis (mm<sup>3</sup>)

didapat dari asumsi  $Z = 1,1 \cdot S$

$\rho$  = parameter kelangsingan untuk penampang kompak.

$r$  = parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak.

$\lambda_G$  = faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap, yang didapat dari

$\frac{b_f}{2 \cdot t_f}$  dimana  $b_f$  adalah lebar pelat sayap (mm) dan  $t_f$  adalah tebal pelat sayap (mm)

$f_r$  = tegangan tekan residual pada pelat sayap,

= 70 Mpa untuk penampang digilas (panas)

= 110 Mpa untuk penampang dilas

$f_r$  = tegangan kritis (MPa)

$a_r$  = perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan

$C_b$  = faktor pengali momen

$M_{\max}$  = momen maksimum absolut pada bentang yang ditinjau serta  $M_A$ ,  $M_B$ , dan  $M_C$  adalah masing-masing momen absolut pada  $\frac{1}{4}$  bentang, tengah bentang, dan  $\frac{3}{4}$  bentang komponen struktur yang ditinjau.

#### 4. Komponen Struktur Geser

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor harus memenuhi

$$V_u \leq V_n \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 31})$$

Kuat geser nominal ( $V_n$ ) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan dibawah ini :

- a. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi :

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 40})$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

$$V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y$$

- b. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi :

$$1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} < \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 40})$$

$$V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y \cdot \left(1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}}\right) \cdot \frac{1}{(h/t_w)}$$

- c. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi :

$$1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} < \left(\frac{h}{t_w}\right) \quad (\text{RSNI T-03-2005 hal. 40})$$

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot k_n \cdot E}{(h/t_w)^2}$$

dengan :

$h$  = tinggi bersih sayap plat (mm)

$t_w$  = tebal plat badan (mm)

## E. Sambungan Baut

Hubungan dan sambungan dalam unsur utama hanya boleh digunakan baut mutu tinggi dalam sambungan gesek.

### 1. Luas lubang

Dalam menghitung pengurangan akibat lubang rancangan, luas penuh dari lubang dalam bidang sumbunya harus digunakan, ada 2 jenis yaitu :

#### a. Lubang tidak selang seling

Untuk lubang yang tidak selang-seling, luas yang dikurangi adalah jumlah maksimum luas lubang dalam tiap penampang melintang tegak lurus pada arah aksi rencana unsur.

#### b. Lubang selang-seling

Untuk lubang selang seling, luas yang dikurangi harus yang terbesar dari:

- pengurangan untuk lubang tidak selang-seling (mm).
- Jumlah luas semua lubang dalam tiap garis selang-seling yang menerus melintang unsur, dengan pengurangan untuk tiap jarak baris dalam rangkaian lubang sebesar berikut:

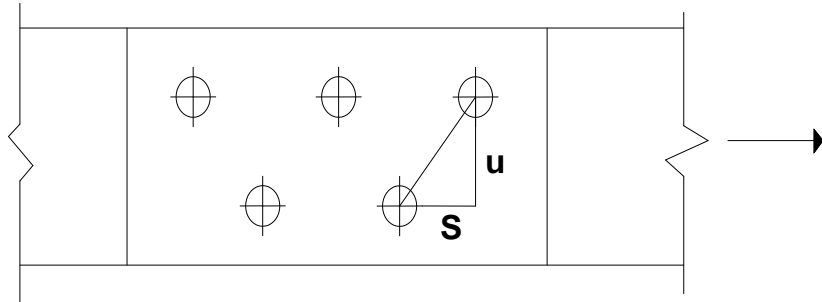
$$\frac{s^2 * t}{4 * u}$$

dengan :

s = Jarak antar sumbu lubang pada arah sejajar gaya ( mm )

u = Jarak antar sumbu lubang pada arah tegak lurus gaya ( mm )

t = Tebal bahan yang dilubangi ( mm )



Sumber: (SNI 03-1729-2002 hal. 98)

Gambar 2.11 Lubang selang seling

## b. Perencanaan Baut

1. Menurut SNI 03-1729-2002 tipe-tipe baut dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 2.16 Tipe-tipe baut

Tipe baut	Diameter (mm)	Proof stress (MPa)	Kuat tarik min. (MPa)
A307	6,35-104	-	60
A325	12,7-25,4	585	825
A325	28,6-38,1	510	725
A490	12,7-38,1	925	1035

Sumber : (SNI 03-1729-2002 hal. 11)

### 1. Tahanan nominal baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor  $R_u$ , sesuai persyaratan SNI 03-1729-2002 harus memenuhi :

$$R_u < \phi \cdot R_n \quad (\text{SNI 03-1729-2002 hal. 99})$$

Dengan :

$R_u$  = kuat nominal baut

$\phi$  = factor reduksi kekuatan (0,75)

#### a. Tahanan geser nominal baut

$$V_d = m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b \quad N \quad (\text{SNI 03-1729-2002 hal. 100})$$

dengan :

$r_l$  = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_l$  = 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$f_u^b$  = kekuatan tarik putus baut (Tabel 2) (MPa)

$m$  = jumlah bidang geser melalui bagian baut

$A_b$  = luas batang bruto penampang baut tak berulir ( $\text{mm}^2$ )

#### b. Tahanan tarik nominal baut

$$T_d = m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b \quad N \quad (\text{SNI 03-1729-2002 hal. 100})$$

dengan :

$f_u^b$  = kekuatan tarik minimum baut (Tabel 2)(MPa)

$A_b$  = luas batang bruto penampang baut tak berulir ( $\text{mm}^2$ )

#### c. Tahanan tumpu nominal baut

$$R_d = 2,4 \cdot d_b \cdot f_u \cdot t_p \quad N \quad (\text{SNI 03-1729-2002 hal. 101})$$

dengan :

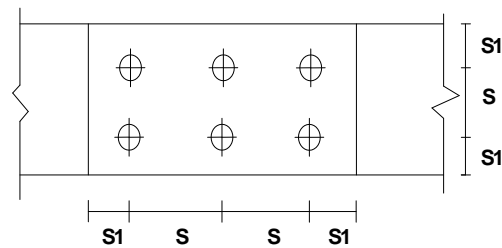
$f_u$  = tegangan tarik putus terendah dari baut atau pelat (MPa)

$t_p$  = tebal pelat

$A_b$  = luas batang bruto penampang baut tak berulir ( $\text{mm}^2$ )

### c. Letak baut

Tata letak baut dalam SNI pasal 13.4 jarak antar pusat lubang baut harus diambil tidak kurang dari 3 kali diameter nominal baut, dan jarak antar baut tepi dengan ujung pelat harus sekurang-kurangnya 1,5 diameter nominal baut. Dengan jarak maksimum antar pusat lubang baut tidak boleh melebihi 15 kali tebal pelat lapis tertipis dalam sambungan atau 200 mm, sedangkan jarak tepi maksimum harus tidak melebihi  $(4t_p+100 \text{ mm})$  atau 200 mm



Sumber: (SNI 03-1729-2002 hal. 111)

Gambar 2.12 Jarak baut

$$3d_b < S < 15 t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5d_b < S_1 < (4t_p+100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$