

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Jembatan Rangka Baja

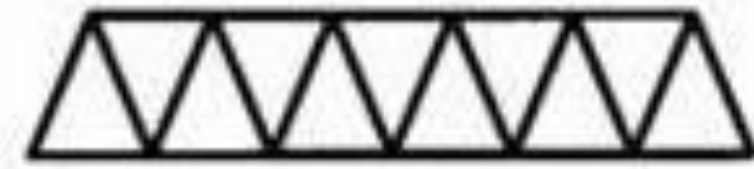
Jembatan rangka baja adalah struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang–batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lain. Beban atau muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan kepada batang–batang baja struktur tersebut, sebagai gaya–gaya tekan dan tarik, melalui titik–titik pertemuan batang (titik buhul). Garis netral tiap–tiap batang yang bertemu pada titik buhul harus saling berpotongan pada satu titik saja, untuk menghindari timbulnya momen sekunder. (Asiyanto 2008).

### 2.2 Tipe-Tipe Jembatan Rangka Batang

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

#### a. Tipe Warren (*Warren Truss*)

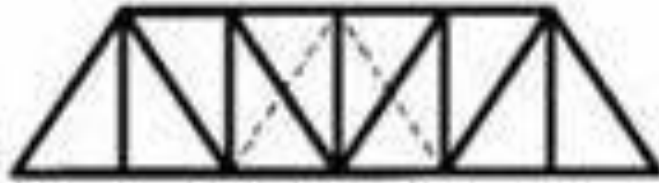
Tipe jembatan ini ditemukan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani pada tahun 1848 di Britania Raya. Jembatan rangka batang tipe warren ini tidak memiliki batang vertikal pada bentuk rangkanya yang membentuk segitiga sama kaki atau segitiga sama sisi. Sebagian batang diagonalnya mengalami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



**Gambar 2.1** Tipe *warren truss*

#### b. Tipe Pratt (*Pratt Truss*)

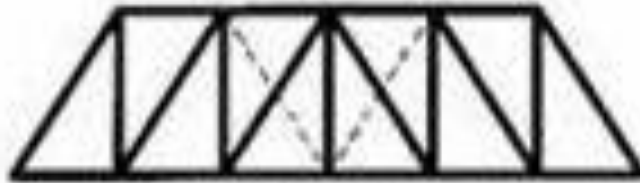
Tipe jembatan rangka batang ini ditemukan oleh Thomas dan Caleb Pratt pada tahun 1844. Jembatan ini memiliki elemen diagonal yang mengarah ke bawah dan bertemu pada titik tengah batang jembatan bagian bawah.



**Gambar 2.2** Tipe *pratt truss*

**c. Tipe Howe (Howe Truss)**

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



**Gambar 2.3** Tipe *howe truss*

**2.3 Bagian – Bagian Jembatan Tipe Warren Truss**

Pada dasarnya semua jembatan terdiri dari dua bagian utama, yaitu struktur bagian atas atau *upperstructure* dan struktur bagian bawah atau *substructure*. Dalam hal ini yang akan dibahas lebih lanjut adalah struktur bagian atas. Struktur bagian atas dari jembatan itu sendiri meliputi :

- a. Pelat lantai kendaraan, trotoar dan pipa sandaran
- b. Gelagar memanjang dan melintang
- c. Rangka utama
- d. Ikatan angin
- e. Perletakan (sendi-rol)

## 2.4 Sifat dan Karakteristik Material Baja

### 2.4.1 Sifat mekanis baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perancangan harus memenuhi persyaratan minimum.

**Tabel 2.1** Sifat Mekanis Baja Struktural.

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ [MPa]	Tegangan leleh minimum, $f_y$ [MPa]	Peregangan minimum [%]
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber : RSNIT – 03 – 2005 hal. 8)

Bahan–bahan yang digunakan dalam perancangan bangunan atas jembatan rangka baja sebagai berikut :

- a) Baja
  - Mutu baja yang digunakan untuk struktur rangka adalah baja profil WF dengan  $E = 200.000$  MPa,  $G = 80000$  MPa,  $\mu = 0,3$  dan jenis baja disesuaikan dengan kebutuhan.
  - Mutu baja yang digunakan untuk penulangan pelat lantai kendaraan dan penulangan lainnya menyesuaikan dengan kebutuhan.
- b) Beton
  - Kuat mutu beton ( $f_c'$ ) yang dipakai adalah 30 MPa.

### 2.4.2 Faktor beban dan kekuatan

Faktor beban dan kekuatan meliputi faktor reduksi kekuatan,  $\phi$  diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.2** Faktor Reduksi Kekuatan Untuk Keadaan Batas Ultimit

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

(Sumber : RSNI T – 03 – 2005 hal. 10)

## 2.5 Pembebanan Jembatan

Pada perancangan jembatan ini, semua beban dan gaya yang bekerja pada konstruksi dihitung berdasarkan: “Peraturan Pembebanan untuk jembatan (SNI – 1725 – 2016).” Beban-beban yang dipakai dalam perhitungan adalah :

**Tabel 2.3** Kombinasi Beban Dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	BF	EU <sub>s</sub>	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya Iayan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Iayan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Iayan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Iayan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Faktor (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : - $\gamma_p$  dapat berupa  $\gamma_{EQ}$ ,  $\gamma_{TC}$ ,  $\gamma_{TV}$ ,  $\gamma_{ES}$  tergantung beban yang ditinjau

- $\gamma_{EQ}$  adalah faktor beban hidup kondisi gempa

### 2.5.1 Beban Permanen

Beban permanen adalah beban utama dalam perhitungan tegangan perancangan jembatan. Beban primer terdiri dari :

#### a. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri suatu konstruksi adalah berat dari bagian konstruksi dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk berat elemen nonstruktural dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural yang dianggap tetap. Pada tabel 2.4 merupakan faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri sebagai berikut:

**Tabel 2.4** Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 14)

#### b. Beban Mati Tambahan / Utilitas (MA)

Beban mati tambahan/utilitas adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada tabel 2.5 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang.

**Tabel 2.5** Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 14)

### 2.5.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perancangan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

#### a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen. Jumlah beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” sebagai berikut:

**Tabel 2.6** Faktor Beban Untuk Beban Lajur “D”

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

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 39)

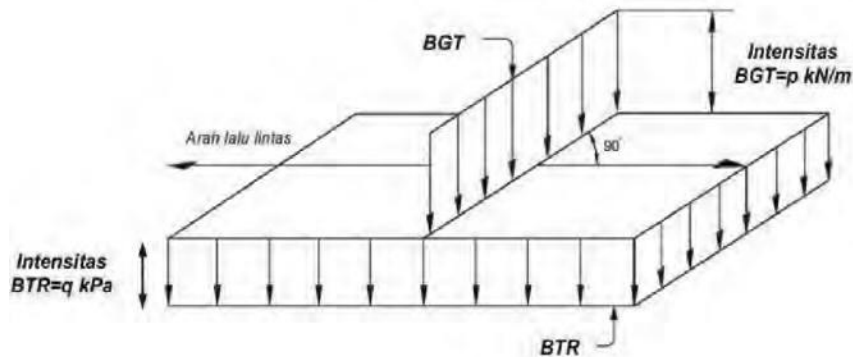
Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total  $L$  yang dibebani seperti berikut :

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

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

$$\text{Dimana : } 1 \text{ kPa} = 100 \text{ kg/m}^2$$

Beban garis (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $P = 49,0$  kN/m. Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 2.4** Beban lajur “D”

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 39)

#### b. Beban Truk “T”

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

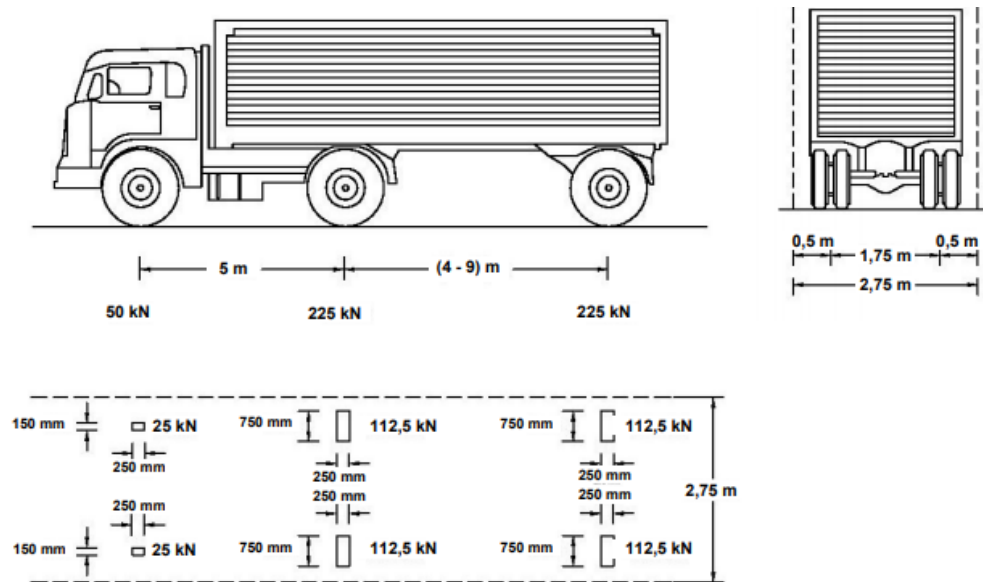
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti tabel berikut ini.

**Tabel 2.7** Faktor Beban Untuk Beban Truk “T”

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

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 41)

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam gambar 2.6. Berat dari masing-masing gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kotak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



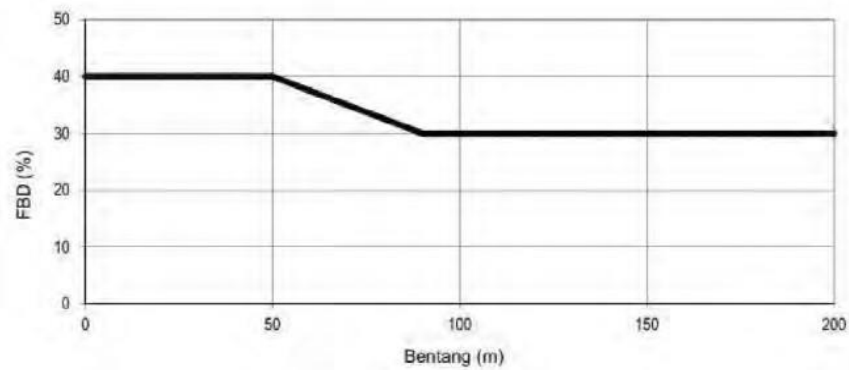
**Gambar 2.5** Pembebanan truk “T”

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 41)

### c. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan beban utimit. BTR dari lajur “D” tidak dikalikan dengan FBD. Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi Panjang bentang ekuivalen seperti gambar 2.6. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen sama dengan panjang bentang sebenarnya.





**Gambar 2.6** Faktor beban dinamis untuk beban “T” dan pembebanan lajur “D”

#### d. Gaya Rem

Penempatan gaya rem diletakkan disemua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Perhitungan gaya rem tergantung dari faktor kepadatan lajur yang ditentukan, jika jembatan menggunakan jalur satu arah maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

#### e. Pembebanan untuk Pejalan Kaki

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi jalur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perancangan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

### 2.5.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan angin, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana dihitung berdasarkan analisa statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

#### A. Beban Angin

##### 1. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan :

$V_{DZ}$  : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_{10}$  : kecepatan angin pada elevasi 1000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.

Z : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung (  $Z > 10000$  mm )

$V_o$  : kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 2.8, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_o$  : Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan dalam tabel 2.8 (mm)

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang

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

**Tabel 2.8** Nilai  $V_0$  Dan  $Z_0$  Untuk Berbagai Variasi Kondisi

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$z_0$ (mm)	70	1000	2500

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 56)

## 2. Beban Angin Pada Struktur (EW<sub>s</sub>)

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

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2.2)$$

Keterangan :

$P_B$  : Tekanan angin dasar

**Tabel 2.9** Tekanan Angin Dasar

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

(Sumber : SNI – 1725 - 2016, hal : 56)

## 2.6 Perancangan Jembatan Rangka Baja

### 2.6.1 Perancangan Pelat Lantai Kendaraan

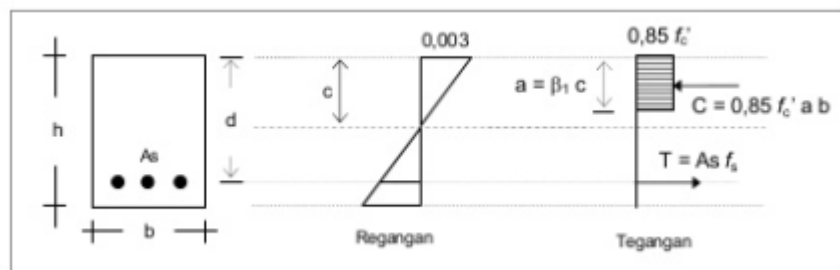
#### a) Asumsi perancangan

Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsistensi 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 dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh. Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang di asumsikan bahwa tegangan beton =  $0,85 f_c'$  terdistribusi merata pada daerah ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejauh  $a = \beta_1 c$  dari tepi tertekan terluar tersebut.

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



**Gambar 2.7** Tegangan dan regangan pada penampang beton bertulang

Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa.}$$

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

$\beta_1$  pada persamaan tidak boleh diambil kurang dari 0,65

perancangan kekuatan pada penampang terhadap momen lentur harus berdasarkan kekuatan nominal yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan  $\phi$ .

#### b) **Tebal minimum pelat lantai kendaraan**

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

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \quad (2.3)$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \quad (2.4)$$

Dimana :

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

#### c) **Tulangan minimum**

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut :

- Pelat lantai yang ditumpu kolom,

$$\frac{A_s}{b d} = \frac{1,25}{f_y} \quad (2.5)$$

- Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding,

$$\frac{A_s}{b d} = \frac{1,0}{f_y} \quad (2.6)$$

- Pelat talapak,

$$\frac{A_s}{b d} = \frac{1,0}{f_y} \quad (2.7)$$

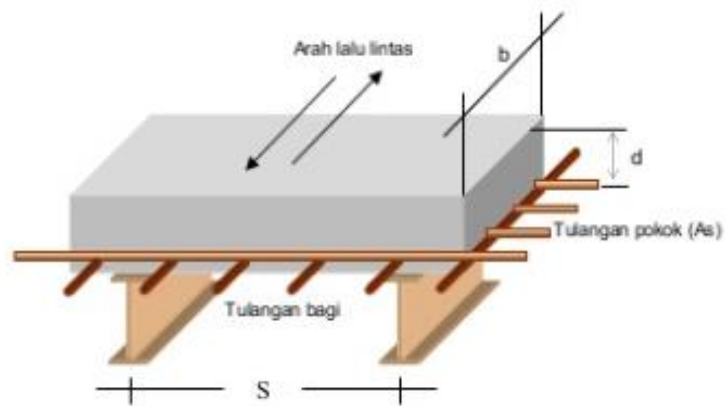
Apabila pelat lantai ditumpu seperti halnya sebagai pelat dua arah, luas minimum tulangan dalam masing-masing arah harus diambil dua pertiga dari harga-harga di atas. Jika tidak, tulangan yang disebarkan harus dipasang sesuai dengan penyebaran tulangan untuk pelat lantai.

**d) Penyebaran tulangan bagi untuk pelat lantai**

Tulangan harus dipasang (tulangan bagi) pada bagian bawah dengan arah menyilang terhadap tulangan. Apabila tulangan pokok tegak lurus arah lalu lintas, maka :

$$\text{Persentase} = \frac{110}{\sqrt{s}} \quad (2.8)$$

Maksimum 67% dan minimum 30% dari tulangan pokok.



**Gambar 2.8** Letak tulangan pokok dan tulangan bagi

**2.6.2 Perancangan Gelagar Memanjang dan Melintang**

Dalam Perancangan jembatan rangka baja terdapat gelagar memanjang dan melintang. Gelagar memanjang menerima beban dari pelat lantai kendaraan. Sedangkan gelagar melintang meneruskan beban yang diterima gelagar memanjang ke struktur utama. Dalam perancangan ini direncanakan sebagai gelagar desain sebelum komposit dan sesudah komposit memakai baja WF. Adapun prosedur perhitungan gelagar memanjang dan melintang.

- Menghitung gaya dalam (momen dan geser) dengan mengasumsikan balok sederhana diatas dua tumpuan dengan beban yang bekerja pada gelagar memanjang maupun melintang akibat dari beban luar maupun berat sendiri gelagar.
- Menentukan propertis material dan penampang dari elemen struktur.
- Menganalisa penampang atau gelagar apakah mampu menahan beban yang dipikul baik saat sebelum komposit maupun setelah komposit

- **Desain sebelum komposit**

A. Analisa momen plastis

Suatu komponen struktur yang dianalisis dengan metode plastis harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Kontrol penampang kompak atau tidak kompak :

- Pada sayap (*flens*)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} \quad (2.9)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (2.10)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \quad (2.11)$$

- Pada badan (*web*)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (2.12)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (2.13)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (2.14)$$

2. Klasifikasi keadaan batas

Pada tahap ini, penampang akan di klasifikasikan keadaan batasnya yang mengacu pada hasil kontrol penampang kompak dan tidak kompak. Yang kemudian di klasifikasi memenuhi  $L \leq L_p$  dimana  $L$  adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan.

3. Menghitung parameter keadaan batas (momen kapasitas)

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.15)$$

B. Analisa kekuatan geser

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi :

1. Perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $h/t_w$  memenuhi

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (2.16)$$

Dimana :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (2.17)$$

2. Kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut :

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \quad (2.18)$$

3. Menghitung parameter keadaan batas (momen kapasitas)

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.19)$$

### C. Kontrol lendutan yang terjadi

Defleksi/ lendutan merupakan deformasi elemen lentur akibat menerima beban yang tegak lurus dengan sumbu batangnya yang mengakibatkan elemen tersebut melengkung/ melendut. Dibawah ini adalah rumus lendutan untuk perletakan sederhana (sendi-rol).

1. Bila struktur memikul beban merata (q)

$$\Delta x = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.20)$$

2. Bila struktur memikul beban terpusat (P)

$$\Delta x = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.21)$$

Balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus, lendutan maksimumnya adalah 1/800 bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1.000 bentang.

## • Desain setelah komposit dengan analisa plastis

### A. Kekuatan lentur gelagar komposit

1. Perhitungan lebar efektif ( $b_p$ ) beton

Lebar efektif pelat beton ( $b_e$ ) harus diambil dari jumlah lebar efektif untuk setiap sisi sumbu balok, masing-masing yang tidak melebihi :

- 1/5 x panjang bentang gelagar untuk bentang sederhana atau 1/7 panjang bentang gelagar untuk bentang menerus
- jarak pusat-pusat antara badan gelagar, dan
- 1/12 x tebal minimum lantai



2. Penampang kompak

Untuk penampang komposit dalam daerah momen positif dengan gelagar tanpa menggunakan pengaku badan memanjang dan tanpa lubang pada pelat sayap profil baja yang tertarik serta sumbu garis netral momen plastis berada di atas bagian badan, harus direncanakan memenuhi persyaratan pada persamaan dibawah ini :

$$\frac{2h_{cp}}{t_w} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.22)$$

Dimana :

$H_{cp}$  : tinggi badan profil baja yang tertekan pada perhitungan plastis (mm)

$t_w$  : ketebalan badan profil pelat baja, dinyatakan dalam milimeter (mm)

3. Menentukan distribusi tekanan plastis

Kekuatan tekanan pada pelat lantai (C) diambil nilai yang paling kecil dari persamaan berikut ini :

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot b_p \cdot t_p + (A \cdot f_y)_C \quad (2.23)$$

Dimana :

$b_p$  : lebar pelat lantai efektif (mm)

$t_p$  : ketebalan pelat lantai (mm)

A : luas daerah pelat lantai beton yang tertekan (mm<sup>2</sup>)

$F_y$  : tegangan leleh baja tulangan yang tertekan pada pelat (MPa)

Atau persamaan berikut ini :

$$C = (A \cdot f_y)_{bf} + (A \cdot f_y)_{tf} + (A \cdot f_y)_w \quad (2.24)$$

Dimana :

$(A \cdot f_y)_{bf}$  : tekanan daerah pelat baja serat bawah (N)

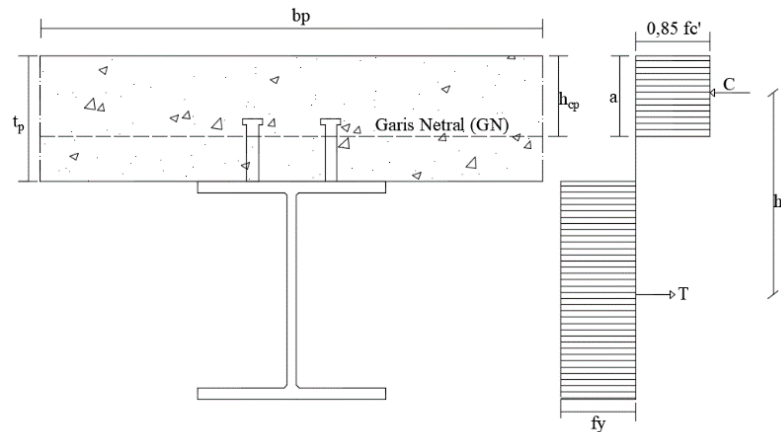
$(A \cdot f_y)_{tf}$  : tekanan daerah pelat baja serat atas (N)

$(A \cdot f_y)_w$  : tekanan daerah pelat baja pada badan (N)

4. Kedalaman daerah tekan pada pelat lantai (a) yang dinyatakan dalam milimeter (mm) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{C - (A \cdot f_y)_C}{0,85 \cdot f_c \cdot b_p} \quad (2.25)$$

Jika nilai  $a \leq t_p$  maka garis netral berada pada pelat beton. Sebaliknya jika nilai  $a > t_p$  maka garis netral berada pada baja.



**Gambar 2.9** Distribusi tegangan plastis

5. Kuat lentur nominal dari penampang struktur komposit  $M_s$ , harus ditentukan dari rumus sebagai berikut :

- Untuk  $h_{cp} \leq h'$

$$M_s = M_p \quad (2.26)$$

- Untuk  $h' \leq h_{cp} \leq 5h'$

$$M_s = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - M_p}{4} \left( \frac{h_{cp}}{h'} \right) \quad (2.27)$$

Dimana :

$M_p$  : kekuatan lentur nominal penampang yang ditentukan dengan teori plastis sederhana (Nm)

$M_y$  : momen kapasitas pada saat terjadi leleh pertama pada gelagar baja komposit akibat momen positif,  $f_y.Z$ , (Nm)

#### B. Kontrol lendutan yang terjadi

Defleksi/ lendutan merupakan deformasi elemen lentur akibat menerima beban yang tegak lurus dengan sumbu batangnya yang mengakibatkan elemen tersebut melengkung/ melendut. Dibawah ini adalah rumus lendutan untuk perletakan sederhana (sendi-rol).

1. Bila struktur memikul beban merata (q)

$$\Delta x = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.28)$$

2. Bila struktur memikul beban terpusat (P)

$$\Delta x = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.29)$$

Balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus, lendutan maksimumnya adalah 1/800 bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1.000 bentang.

### C. Perancangan hubungan geser

Untuk perhitungan gaya geser horizontal menggunakan rumus :

1. Kehancuran beton

$$V_L^* = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_c \quad (2.30)$$

2. Leleh tarik dari penampang baja

$$V_L^* = A_s \cdot f_y \quad (2.31)$$

Dimana :

$f_c'$  : kuat tekan beton (MPa)

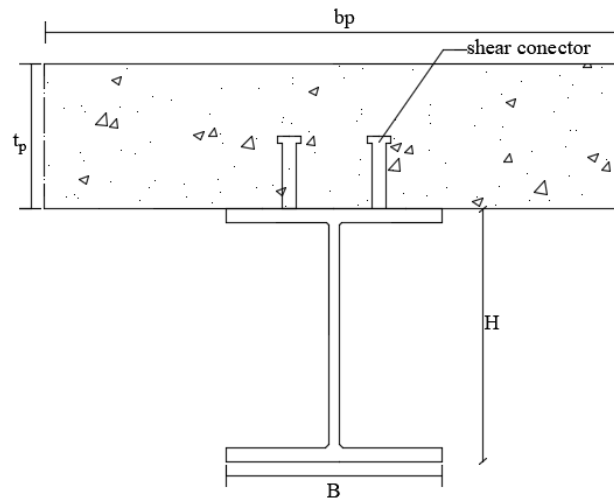
$f_y$  : tegangan leleh profil baja (MPa)

$b_p$  : lebar pelat efektif (mm)

$t_p$  : tebal pelat (mm)

$A_s$  : luas penampang lintang baja (mm)

Dari dua rumus diatas diambil nilai gaya geser yang terkecil.



**Gambar 2.10** Perancangan *shear conector*

3. Perhitungan kekuatan stud dan jumlah stud

1. Kekuatan geser satu stud

Kekuatan geser nominal satu angkur steel headed stud yang ditanam pada suatu pelat beton solid atau pada suatu pelat komposit harus di tentukan sebagai berikut :

$$Q_n = 0,5A_{sc}\sqrt{f_c' \cdot E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \quad (2.32)$$

Dimana :

$Q_n$  : kekuatan geser stud (N)

$A_{sc}$  : luas satu stud ( $\text{mm}^2$ )

$E_c$  : modulus elastisitas beton (MPa)

2. Jumlah stud

$$n = \frac{V_L^*}{\phi \cdot 0,55 \cdot Q_n} \quad (2.33)$$

Dimana :

$n$  : jumlah stud

Untuk penempatannya pada profil baja, penghubung geser mempunyai syarat sebagai berikut :

- Stud harus memiliki paling sedikit 50 mm dari selimut beton lateral
- Diameter stud tidak boleh lebih besar dari 2,0 kali tebal pelat sayap bila tidak terdapat tegangan tarik.

- Jarak memanjang antara penghubung tidak boleh lebih besar dari setiap nilai berikut ini (RSNI T-03-2005) :
  1. 600 mm
  2. Dua kali tebal lantai
  3. Empat kali tinggi penghubung

### 2.6.3 Perancangan Rangka Utama

Rangka utama adalah gelagar yang di pasang di kedua sisi jembatan dan terletak ke arah memanjang. Rangka utama berfungsi untuk menerima semua pengaruh beban jembatan melalui gelagar melintang. Beban-beban yang bekerja pada rangka utama dapat berupa beban mati, beban hidup, dan beban angin. Beban hidup adalah salah satu beban yang bersifat bergerak. Pada struktur jembatan yang berbentuk rangka batang, beban hidup berupa kendaraan-kendaraan yang melintas di atas lantai jembatan melalui roda-rodanya yang disebut dengan tekanan roda kendaraan atau *tonase* (P). Tekanan roda yang bekerja pada lantai kendaraan selanjutnya ditransfer melalui gelagar melintang, memanjang, dan induk yang pada akhirnya ditahan oleh tumpuan di pangkal jembatan (abutment). Jika jembatan tipe rangka menerima beban hidup, maka gaya-gaya batang akan selalu berubah-ubah karena adanya beban hidup yang bergerak. Hal ini akan menyulitkan dalam penentuan batang maksimum, karena adanya perubahan letak susunan beban hidup tersebut. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan “**metode garis pengaruh**” yang menggunakan beban berjalan  $P = 1$  satuan. Akibat beban P yang posisinya berubah-ubah sepanjang bentang dapat ditentukan besarnya gaya-gaya batang pada setiap posisi, sehingga dapat digambarkan grafik besarnya gaya batang yang disebut dengan gambar garis pengaruh batang yang ditinjau.

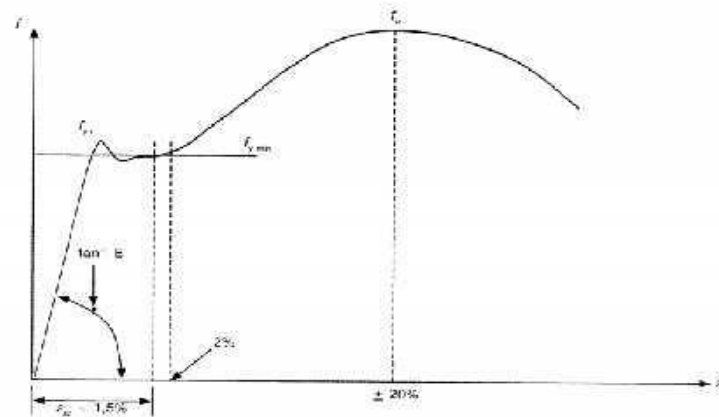
### 2.6.4 Perancangan Ikatan Angin

Ikatan angin adalah salah satu sisi komponen jembatan yang fungsi utamanya memberikan kekuatan konstruksi dalam bidang horizontal. Ikatan angin dapat terletak diatas atau dibawah. Ikatan angin yang terletak diatas disebut ikatan

angin atas dan yang terletak dibawah disebut ikatan angin bawah. Pada perancangan jembatan kali ini hanya akan merencanakan ikatan angin atas.

### 2.6.5 Teori Desain Struktur Baja dengan Metode LRFD

Sifat mekanis baja merupakan yang sangat penting dalam desain konstruksi. Sifat ini di peroleh dari uji tarik baja, uji melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan bersama ini dilakukan pembebanan dan panjangnya sehingga diperoleh tegangan dan regangannya.

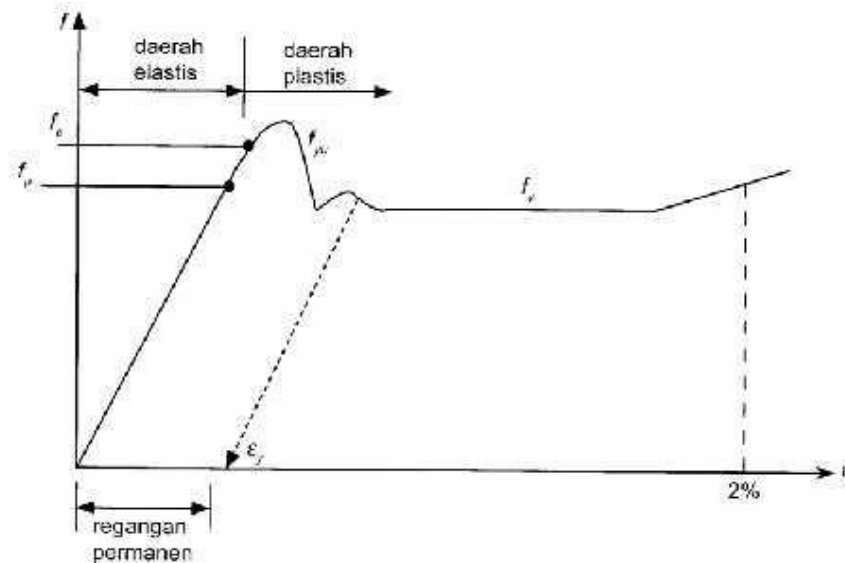


**Gambar 2.11** Kurva hubungan tegangan ( $f$ ) vs regangan ( $\epsilon$ )

(Sumber : Perancangan Struktur Baja dengan Menggunakan Metode LRFD Agus Setiawan, hal 19)

Hasil uji ini di tunjukan dalam diagram regangan dan tegangan. Titik  $f_{yu}$  (Titik Limit Perporsonial) pada diagram hubungan linier antara tegangan dan regangan, apabila dilakukan pembebanan tidak melewati titik ini baja masih bersifat elastis artinya apabila beban dihilangkan maka baja masih dapat kembali keadaan semula, tetapi apa bila dibebankan terus sampai melampaui titik tersebut maka baja tidak bersifat elastis lagi melainkan bersifat plastis sehingga baja tidak dapat kembali ke keadaan sebelum pembebanan.

Ada dua filosofi yang digunakan dalam perancangan struktur baja yaitu perancangan berdasarkan tegangan kerja/ *Allowabel Stress Design* (ASD) dan perancangan konstruksi batas/ *Load And Resistance Factor Design* (LRFD).



**Gambar 2.12** Kurva tegangan - regangan yang diperbesar

(Sumber: *Perancangan Struktur Baja dengan Menggunakan Metode LRFD Agus Setiawan*, hal 19)

Berdasarkan grafik tersebut maka ada beberapa hal yang mendasari penulis menerapkan metode LRFD dalam penyelesaian skripsi yaitu :

1. Rasional LRFD selalu menarik perhatian, dan menjadi suatu perangsang yang menjanjikan penggunaan bahan yang lebih ekonomis dan lebih baik untuk beberapa kombinasi beban dan konfigurasi structural. LRFD juga cenderung memberikan struktur yang lebih aman bila di bandingkan dengan ASD dalam mengkombinasikan beban-beban hidup dan mati dan memperlakukan mereka dengan cara yang sama.
2. LRFD akan memudahkan pemasukan informasi baru mengenai beban beban dan variasi-variasi bila informasi tersebut telah diperoleh. Pengetahuan kita mengenai beban-beban beserta variasi mereka masih jauh dari mencukupi. Bila dikehendaki, pemisahan pembebanan dari resistennya akan memungkinkan perubahan yang satu tanpa perlu mempengaruhi yang lainnya.
3. Perubahan-perubahan dalam berbagai faktor kelebihan beban dan faktor resistensi lebih muda dilakukan ketimbang mengubah tegangan ijin dari ASD.

### 2.6.6 Desain Struktur Baja dengan Metode LRFD

Suatu desain struktur harus menyediakan cadangan kekuatan yang diperlukan untuk menanggung beban layanan yakni struktur harus memiliki kemampuan terhadap kemungkinan kelebihan beban (*overload*). Kelebihan beban dapat terjadi akibat perubahan fungsi struktur dan dapat juga terjadi akibat terlalu rendahnya taksiran atas efek-efek beban yang mungkin akan terjadi.

Disamping itu, harus ada kemampuan terhadap kemungkinan kekuatan material yang lebih rendah (*under strength*). Terjadinya penyimpangan dalam dimensi batang, meskipun dapat mengakibatkan suatu batang memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan yang telah diperhitungkan. Secara umum, persamaan untuk persyaratan keamanan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (2.34)$$

Dimana :

$\phi$  : faktor resistensi (faktor reduksi kekuatan)

$R_n$  : kekuatan nominal (kekuatan)

Dimana ruas kiri dari persamaan tersebut mewakili resistensi, atau kekuatan dari komponen atau sistem, sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diharapkan akan ditanggung. Pada sisi kekuatan, harga nominal resistensi  $R_n$  dikalikan dengan faktor resistensi (*reduksi kekuatan*) untuk mendapatkan kekuatan design. Pada sisi beban dari persamaan diatas, berbagai faktor-faktor kelebihan beban  $\gamma_i$  untuk mendapatkan jumlah  $\sum \gamma_i Q_i$  dari beban-beban terfaktor. Karena struktur jembatan ini secara umum terdiri dari gaya aksial untuk rangka dan gaya lentur untuk gelagar-gelagar lantai kendaraan, maka dapat diuraikan sebagai berikut :

#### 2.6.6.1 Perancangan komponen struktur tarik

Material baja pada dasarnya difungsikan untuk memikul gaya tarik atau gaya tekan. Untuk elemen struktur yang mempunyai dimensi langsing dan mutu bahan yang tinggi, pemakaian material tersebut hanya efisien terhadap tarik. Adanya elemen struktur baja yang terlihat sangat langsing dibandingkan elemen lainnya, maka dapat diduga akan difungsikan sebagai batang tarik.



A. Persyaratan kuat tarik dan kuat tarik rencana

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

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2.35)$$

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

- a. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto :

$$N_n = A_g f_y \quad (2.36)$$

- b. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif :

$$N_n = A_e f_u \quad (2.37)$$

- c. Kuat tarik nominal berdasarkan perancangan rupture pada penampang :

1. Kuat geser ruptur nominal :

$$N_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad (2.38)$$

2. Kuat tarik ruptur nominal :

$$N_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad (2.39)$$

3. Kuat tarik dan geser ruptur nominal :

- a) Untuk  $A_{et} f_u \geq 0,6 A_{ev} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{gv} f_y + A_{ev} f_u \quad (2.40)$$

- b) Untuk  $0,6 A_{ev} f_u \geq A_{et} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{nv} f_u + A_{gt} f_y \quad (2.41)$$

Dimana :

$A_g$  : 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).

### B. Penampang efektif

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut :

$$A_e \leq AU \quad (2.42)$$

Dimana :

A : luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

U : faktor reduksi =  $1 - (x / L) \leq 0,90$

x : eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan (mm)

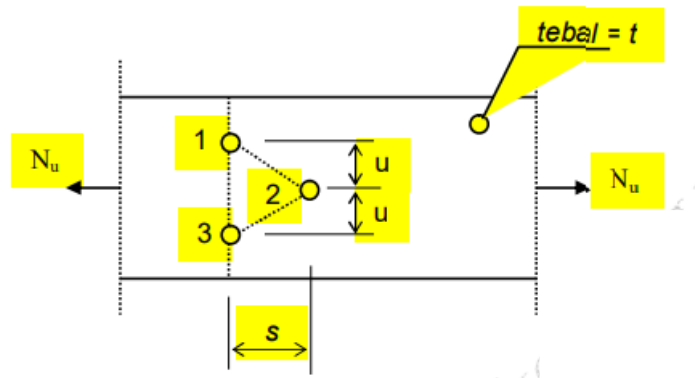
L : panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik (mm).

### C. Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh baut sebagai berikut :

$$A = A_{nt} \quad (2.43)$$

Luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3



**Gambar 2.13** Gaya tarik disalurkan oleh baut

$$\text{Potongan 1-3 : } A_{nt} = A_g - ndt \quad (2.44)$$

$$\text{Potongan 1-2-3 : } A_{nt} = A_g - ndt + \sum \frac{s^2 t}{4u} \quad (2.45)$$

Dimana :

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

t : tebal penampang (mm)

- d : diameter lubang baut (mm)
- n : banyaknya lubang dalam satu garis potongan.
- s : jarak antara sumbu lubang antara dua lubang yang bersebelahan pada arah sejajar sumbu komponen struktur (mm)
- u : jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur (mm)

### 2.6.6.2 Perancangan Komponen Struktur Tekan

Batang tekan merupakan komponen struktur yang memikul beban tekan sentris yang terletak tepat di titik berat penampang atau kolom, dengan gaya aksial saja. Parameter dalam menentukan batang tekan pada bagian material hanya  $f_y$  yang terpenting, sedangkan  $f_u$  tidak pernah tercapai. Tidak hanya itu, parameter yang lain yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri yang terdiri dari luas penampang, pengaruh bentuk penampang terhadap kekuatan lentur dan panjang batang serta kondisi tambatan atau tumpuan.

#### A. Perancangan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor ( $N_u$ ) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$1. \quad N_u \leq \phi N_n \quad (2.46)$$

Dimana :

$\phi$  : faktor reduksi aksial tekan 0,85

$N_n$  : kuat tekan nominal komponen struktur tekan (N).

#### 2. Perbandingan kelangsingan :

▪ kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 2.10)  $< \lambda_r$

▪ kelangsingan komponen struktur tekan  $\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140$

#### 3. Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar nilai $\lambda$ yang ditentukan dalam tabel 2.10 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

**Tabel 2.10** Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

Jenis Elemen		$\lambda$	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$l_p$ (kompak)	$l_r$ (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	$b/t$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur	$b/t$	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_y - f_r)/k_e}}$ [e][f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	$b/t$	-	$\frac{290}{\sqrt{f_y/k_e}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	$b/t$	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.	$b/t$	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	$d/t$	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (lanjutan)

Jenis Elemen		$l$	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$l_p$ (kompak)	$l_r$ (tak-kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut-baut atau las	$b/t$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$b/t$	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$h/t_w$	$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}}$ [g]

Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur	$h/t_w$	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125 [c]$  $\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left( 1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right)$  Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125 [c]$  $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left( 2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left( 1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right) [g]$
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya.	$b/t$ $h/t_w$	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
Penampang bulat berongga	$D/t$	[d]	
• Pada tekan aksial		-	$22.000/f_y$
• Pada lentur		$14.800/f_y$	$62.000/f_y$
<p>[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap <math>f_{yf}</math> sebagai <math>f_y</math>.</p> <p>[b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.</p> <p>[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona tinggi diperlukan kapasitas rotasi lebih besar</p> <p>[d] Untuk perancangan plastis gunakan <math>9.000/f_y</math>.</p> <p>[e] <math>f_r</math> = tegangan tekan residual pada pelat sayap. = 70 MPa untuk penampang dirol. = 115 MPa untuk penampang dilas.</p> <p>[f] <math>k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}</math>; <math>0,35 \leq k_e \leq 0,763</math></p> <p>[g] <math>f_y</math> adalah tegangan leleh minimum (MPa)</p>			

## B. Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

Kuat tekan nominal akibat tekuk-lentur,  $N_n$ , dari komponen struktur tekan dengan elemen-elemen penampangannya mempunyai rasio lebar-tebal ( $\lambda_r$ ) lebih kecil dari yang ditentukan dalam Tabel 2.10, ditentukan sebagai berikut :

- Untuk  $\lambda_c \leq 1,5$

$$N_n = \left( 0,66^{\lambda_c^2} \right) A_g f_y \quad (2.47)$$

- Untuk  $\lambda_c > 1,5$

$$N_n = \frac{(0,88)}{\lambda_c^2} A_g f_y \quad (2.48)$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.49)$$

$$L_k = k_c L \quad (2.50)$$

Dimana :

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



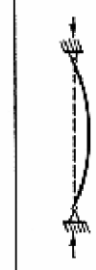
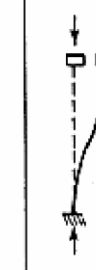
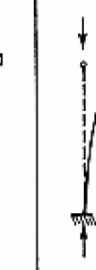
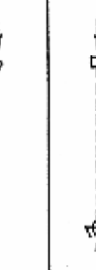




$f_y$  : tegangan leleh (MPa)

$\lambda_c$  : parameter kelangsingan

$k_c$  : faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka dapat dilihat pada Gambar 2.14.

$L$  : panjang teoritis kolom (mm)

$E$  : modulus elastisitas bahan baja (MPa)

	Kolom Tiek Bergoyung			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 bebas, translasi terjepit	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi bebas, translasi bebas		

Gambar 2.14 Faktor Panjang Efektif

### 2.6.6.3 Perancangan Komponen Struktur Lentur

Balok lentur pada umumnya merujuk pada penempatan struktur secara horizontal, dan dibebani pada arah vertikal secara tegak lurus. Penempatan beban secara tegak lurus akan mengakibatkan balok jadi melengkung, hal itu disebut mekanisme lentur. Jika pembebanan relatif kecil, mekanisme lentur tidak mengubah konfigurasi bentuk balok secara permanen. Jadi ketika bebannya

hilang, balok akan kembali pada kondisinya yang semula. Jika itu terjadi maka perilaku itu disebut elastis. Sedangkan analisa struktur secara plastis memanfaatkan kemampuan struktur secara penuh hingga beban batas akhir (ultimate load) sehingga timbul bentuk plastis dengan kekuatan struktur sampai pada tegangan lelehnya. Analisis plastis pada umumnya digunakan untuk menentukan besarnya beban runtuh pada suatu struktur serta perilaku keruntuhannya.

A. Perancangan untuk lentur analisa plastis

Suatu komponen struktur yang dianalisis dengan metode plastis harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- Berpenampang kompak sesuai dengan tabel 2.10.
- Memenuhi  $L \leq L_p$ , dimana L adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan
- Memenuhi kuat tekuk lentur pelat badan
- Memenuhi persyaratan berikut ini :

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2.51)$$

Dimana :

$M_u$  : momen lentur (Nmm);

$M_n$  : kuat lentur nominal penampang (Nmm).

B. Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal

- Kelangsingan penampang  
Pengertian penampang kompak, tak kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen-elemen tekannya yang ditentukan pada Tabel 2.10
- Penampang kompak  
Untuk penampang-penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = M_p \quad (2.52)$$

Dimana :

$M_p$  : Momen lentur plastis (Nmm).

- Penampang tidak kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2.53)$$

Dimana :

$M_r$  : Momen batas tekuk (Nmm).

$\lambda$  : Parameter kelangsingan.

$\lambda_p$  : Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang kompak.

$\lambda_r$  : Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak.

- Penampang langsing

Untuk penampang-penampang yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = M_r (\lambda_r - \lambda)^2 \quad (2.54)$$

### C. Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

#### 1. Batasan momen

- Untuk pelat badan yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$  dengan  $\lambda = h/t_w$  kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = K_g S_f f_{cr} \quad (2.55)$$

- Momen kritis  $M_{cr}$  ditentukan dapat diambil sebagai berikut :

- a. Untuk profil-I dan kanal ganda :

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w} \quad (2.56)$$

- b. Untuk profil kotak pejal atau berongga :

$$M_{cr} = 2C_b E \frac{\sqrt{JA}}{L / r_y} \quad (2.57)$$

Dimana :

$E$  : modulus elastisitas baja (MPa).



- $I_y$  : momen inersia pada sumbu-y ( $\text{mm}^4$ )  
 $G$  : modulus geser baja (MPa)  
 $L$  : panjang bentang diantara dua pengekang lateral (mm)  
 $I_w$  : konstanta warping ( $\text{mm}^6$ )  
 $J$  : konstanta torsi ( $\text{mm}^4$ )  
 $r_y$  : jari-jari girasi pada sumbu-y (mm)

- Faktor pengali momen  $C_b$  ditentukan oleh persamaan

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (2.58)$$

Dimana :

$M_{\max}$  adalah 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.

## 2. Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L \leq L_p$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \quad (2.59)$$

## 3. Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L_p \leq L \leq L_r$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = C_b \left[ M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (2.60)$$

## 4. Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L \geq L_r$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (2.61)$$

**Tabel 2.11** Panjang bentang untuk pengekang lateral

Profil	$L_p$	$L_r$
Profil-I dan kanal ganda	$1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ <p>dengan</p> $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$	$r_y \sqrt{\frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}}$ <p>dengan</p> $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\rho}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \frac{S}{GJ} \frac{I_w}{I_y}$
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

D. Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

1. Kuat geser pelat badan

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi :

Memenuhi persyaratan berikut ini :

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.62)$$

Dimana :

$V_u$  : gaya geser terfaktor (N).

$V_n$  : kuat geser nominal pelat badan (N).

$\phi$  : faktor reduksi.

2. Kuat geser nominal

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

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (2.63)$$

Dimana :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (2.64)$$

Maka kuat geser nominal pelat badan adalah

$$V_n = 0,6f_y A_w \quad (2.65)$$

Dimana :

$A_w$  adalah luas kotor pelat badan

### 2.6.7 Perancangan Sambungan Baut

Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan stuktur secara keseluruhan.

Syarat-syarat sambungan :

1. Harus kuat, aman tetapi cukup hemat.
2. Ditempat yang mudah terlihat, seharusnya dibuat seindah mungkin.
3. Mudah dalam pelaksanaan pemasangan di lapangan.
4. Pada satu titik sambungan sebaiknya dihindari penggunaan alat penyambung yang berbeda-beda.

#### A. Klasifikasi sambungan

##### 1. Sambungan kaku

Pada struktur rangka kaku, sambungan dianggap memiliki kekakuan untuk mempertahankan sudut-sudut diantara komponen-komponen struktur yang disambung. Deformasi pelat penyambung harus sedemikian rupa sehingga tidak berpengaruh terhadap dsitribusi gaya maupun terhdap deformasi keseluruhan struktur.

##### 2. Sambungan tidak kaku

Pada struktur sederhana, sambungan pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas momen. Sambungan dapat berubah bentuk agar memberikan rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung.

#### B. Perancangan baut

##### 1. Luas baut dan tarikan minimum

Luas baut metrik umum diberikan dalam Tabel 2.12. Tarikan baut minimum diperlukan untuk baut metrik dalam sambungan geser diberikan dalam Tabel 2.13.

**Tabel 2.12** Luas baut

Diameter Nominal Baut	Luas Baut mm <sup>2</sup>		
	$A_e$	$A_s$	$A_o$
M16	144	157	201
M20	225	245	314
M24	324	353	452
M30	519	561	706
M36	759	817	1016

**Tabel 2.13** Gaya tarik baut minimum

Diameter nominal baut [mm]	Gaya tarik minimum [kN]
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

## 2. Kekuatan nominal baut

- Kekuatan geser nominal baut

Kekuatan geser  $V_f$  dari baut harus dihitung sebagai berikut :

$$V_f = 0,62 f_{uf} k_r (n_n A_c + n_x A_o) \quad (2.66)$$

Dimana :

$f_{uf}$  : kekuatan tarik minimum baut (MPa).

$k_r$  : faktor reduksi untuk memperhitungkan panjang sambungan lebih  
Lj yang dibaut untuk semua sambungan lain  $k_r = 1,0$ .

$n_n$  : jumlah bidang geser melalui bagian baut

$A_e$  : luas diameter lebih kecil pada baut (mm<sup>2</sup>)

$n_x$  : jumlah bidang geser melalui bagian baut

$A_o$  : luas batang polos nominal pada baut (mm<sup>2</sup>)

- Kekuatan tarik nominal baut

Kekuatan tarik nominal baut  $N_{tf}$  harus dihitung sebagai berikut :

$$N_{tf} = A_s f_{uf} \quad (2.67)$$

Dimana :

$A_s$  : luas tegangan tarik baut ( $\text{mm}^2$ )

- Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis

Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis  $V_b$  harus diambil nilai terkecil dari kedua persamaan berikut :

$$V_b = 3,2 d_f t_p f_{up} \quad (2.68)$$

Atau

$$V_b = a_e t_p f_{up} \quad (2.69)$$

Dimana :

$d_f$  : diameter baut (mm).

$t_p$  : tebal pelat lapis (mm)

$f_{up}$  : kekuatan tarik pelat lapis (MPa)

$a_e$  : jarak minimum dari ujung lubang ke ujung pelat lapis diukur dalam arah komponen gaya ditambah setengah diameter baut (mm)

- Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek

Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek  $V_{sf}$  harus dihitung sebagai berikut :

$$V_{sf} = \mu n_{ei} N_{ti} k_h \quad (2.70)$$

Dimana :

$\mu$  : faktor gelincir

$n_{ei}$  : tebal pelat lapis (mm)

$n_{ti}$  : kekuatan tarik pelat lapis (MPa)

$k_h$  : faktor untuk berbagai jenis baut

= 1,00 untuk lubang standar

= 0,85 untuk lubang sela pendek dan kebesaran

= 0,70 untuk lubang sela panjang

### 3. Keadaan batas ultimit baut

- Baut dalam geser

Baut yang memikul gaya geser rencana  $V_f^*$  harus memenuhi :

$$V_f^* \leq \phi V_f \quad (2.71)$$

Dimana :

$\phi$  : faktor reduksi kekuatan

$V_f$  : Kekuatan tarik nominal baut (N)

- Baut dalam tarik

Baut yang memikul gaya tarik rencana  $N_{tf}^*$  harus memenuhi :

$$N_{tf}^* \leq \phi N_{tf} \quad (2.72)$$

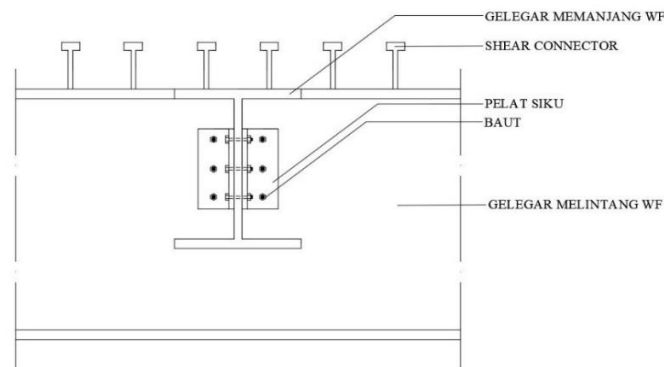
Dimana :

$\phi$  : faktor reduksi kekuatan

$N_{tf}$  : Kekuatan tarik nominal baut (N)

### 4. Jenis Sambungan pada Jembatan

- Sambungan Pada Gelagar Memanjang dan Gelagar Melintang

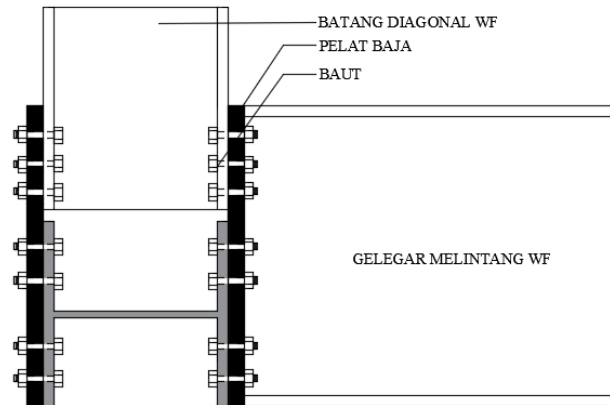


**Gambar 2.15** Sambungan gelagar memanjang dengan gelagar melintang

Sambungan pada gelagar memanjang dan gelagar melintang menggunakan sambungan tidak kaku. Pada tipe sambungan ini, baut hanya dirancang untuk menahan gaya reaksi vertikal/ gaya geser saja. Adapun yang akan di analisa pada sambungan baut ini antara lain :

- a. Kekuatan geser nominal baut
- b. Kekuatan tumpuan nominal pelat pelapis
- c. Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek

- Sambungan gelagar melintang dan rangka utama

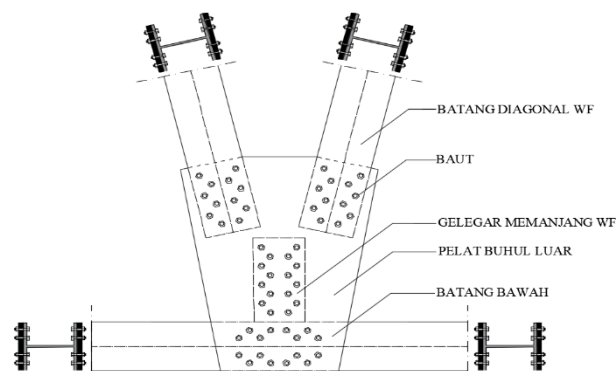


**Gambar 2.16** Sambungan gelagar melintang dengan rangka utama

Sambungan gelagar melintang dengan rangka utama menggunakan sambungan tidak kaku. Sambungan tidak kaku adalah salah satu sambungan yang dapat digunakan pada sambungan gelagar melintang dengan rangka utama. Sambungan tidak kaku yang digunakan adalah *End plate connection* dimana di akhir gelagar melintang diberi *end-plate* dengan mengelas antara ujung profil dengan *end-plate*. Pada tipe sambungan ini, baut hanya dirancang untuk menahan gaya reaksi vertikal/ gaya geser saja. Adapun yang akan di analisa pada sambungan baut ini antara lain :

- Kekuatan geser nominal baut
- Kekuatan tumpuan nominal pelat pelapis
- Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek

- Sambungan Pada Rangka Utama



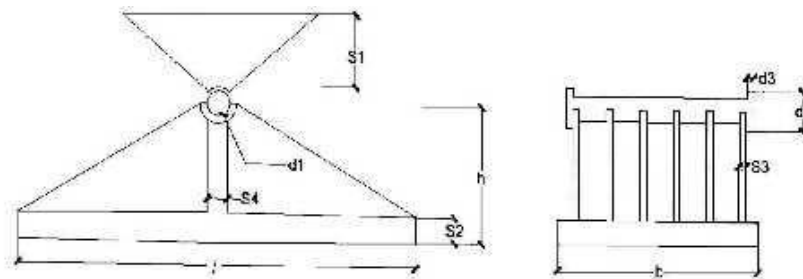
**Gambar 2.17** Sambungan rangka utama

Sambungan pada rangka utama menggunakan sambungan tidak kaku. Pada tipe sambungan ini, baut yang dirancang untuk menahan gaya aksial saja. Adapun analisa pada sambungan baut ini antara lain :

- Kekuatan geser nominal baut
- Kekuatan tumpuan nominal pelat pelapis
- Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek

## 2.6.8 Perancangan Perletakan

### 2.6.8.1 Perletakan sendi



**Gambar 2.18** Konstruksi perletakan sendi

Untuk menghitung perletakan sendi digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

- Panjang empiris dihitung dengan rumus

$$\ell = L + 40 \quad (2.73)$$

Dimana :

$L$  = Panjang jembatan (m)

$\ell$  = Panjang perletakan (cm)

- Tebal bantalan

$$S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3.Pu.\ell}{b.\phi.fy}} \quad (2.74)$$

Dimana :

$P_u$  = Besar gaya (kg)

$b$  = Lebar perletakan

$\phi$  = faktor resistansi untuk sendi rol 0,90

$f_y$  = Mutu baja (MPa)



- c. Selanjutnya untuk ukuran  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $h$  dan  $W$  dapat dihitung dengan melihat tabel Muller Breslaw, sebagai berikut :

**Tabel 2.16** Muller Breslaw

$\frac{h}{s_2}$	$\frac{h}{a \cdot s_3}$	W
3	4	0,2222. a. $h^2$ . $S_3$
4	4,2	0,2251. a. $h^2$ . $S_3$
5	4,6	0,2286. a. $h^2$ . $S_3$
6	5	0,2315. a. $h^2$ . $S_3$

(Sumber : H.J. Struyk, K.H.C.w. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan : halaman 249)

- d. Jumlah rusuk (a), maka  $S_2$  dan  $S_3$  dapat diambil dengan table diatas, dimana W adalah momen tahanan, perbandingan  $h/ S_2$  hendaknya dipilih antara 3 dan 5, tebal  $S_4$  biasanya diambil =  $h/6$ , dan  $S_5 = h/4$

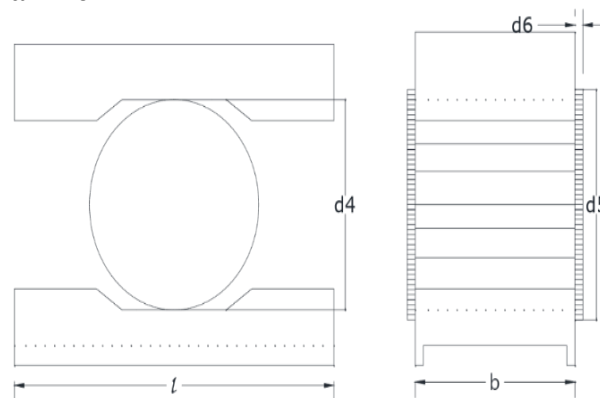
$$M_{\max} = \frac{1}{8} P_u \ell \longrightarrow W = \frac{M_{\max}}{\phi \cdot f_y} \quad (2.75)$$

- e. Jari-Jari garis tengah sendi (H.J. Struyk, K.H.C.w. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan:249)

$$r = \frac{1}{2} \cdot d_1 \quad (2.76)$$

$$r = \frac{0,8 \cdot P_u}{\phi \cdot f_y \cdot \ell} \quad (2.77)$$

### 2.6.8.2 Perletakan Rol



**Gambar 2.19** Konstruksi Perletakan Rol

Untuk menghitung perletakan rol digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

- a. Panjang empiris dihitung dengan rumus

$$\ell = L + 40 \quad (2.78)$$

Dimana :

L = Panjang jembatan (m)

$\ell$  = Panjang perletakan (cm)

- b. Tebal bantalan

$$S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3.Pu.\ell}{b.\phi.fy}} \quad (2.79)$$

Dimana :

Pu = Besar gaya (kg)

$\phi$  = faktor resistansi untuk sendi rol 0,90

b = Lebar perletakan

$f_y$  = Mutu baja (MPa)

Selanjutnya untuk ukuran  $d_3$ ,  $d_4$ , dan  $d_5$  dapat menggunakan rumus :

- c. Jari-Jari garis tengah sendi

$$r = \frac{1}{2} \cdot d_4 \quad (2.80)$$

$$r = \frac{0,8.Pu}{\phi.fy.\ell} \quad (2.81)$$

- d. Diameter Rol

$$d_4 = 0,75 \cdot 10^6 \cdot \frac{Pu}{\phi.\ell.\sigma_y} \longrightarrow$$

$\sigma_y$  = tegangan tarik putus baja

- e. Tinggi total rol

$$d_5 = d_4 + 2.d_6 \quad (2.82)$$

$d_6$  adalah tebal bibir rol