

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jembatan

Jembatan didefinisikan sebagai bangunan yang menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh berbagai kondisi, seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang, dan sebagainya (Aredha Putra et al., 2018). Kriteria umum untuk perencanaan jembatan adalah sebagai berikut:

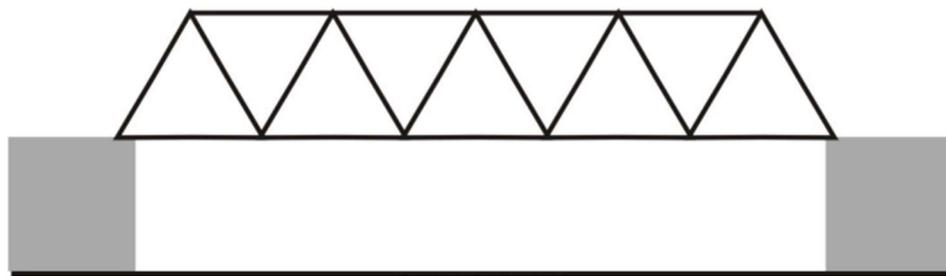
1. Kekuatan unsur struktural dan stabilitas keseluruhan
2. Kelayakan struktural
3. Keawetan
4. Kemudahan konstruksi
5. Kekakuan
6. Bentuk estetika

2.2 Definisi Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja tersusun dari rangkaian batang baja yang saling terhubung. Struktur ini mendistribusikan beban dan muatan melalui gaya tekan dan tarik di setiap titik pertemuan batang. Dengan mekanisme ini, jembatan rangka baja dapat menahan tegangan tekan dan tarik yang besar, terutama pada jembatan dengan bentang yang luas. (Aleksander, 2020).

Jembatan rangka baja terdiri dari beberapa macam, diantaranya yaitu:

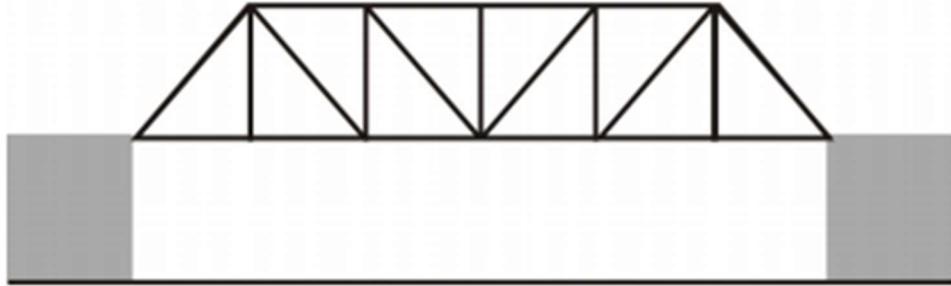
1. Tipe Warren (Warren Truss): Jenis jembatan ini ditemukan di Inggris pada tahun 1848 oleh James Warren dan Willough oleh Theo Baldemonzani. Jembatan rangka batang bergaya Warren menggunakan struktur rangka baja yang terdiri dari batang diagonal yang membentuk pola segitiga. Tidak ada batang vertikal di dalam jembatan, sehingga lebih ringan dan lebih efisien. Sangat cocok untuk jembatan dengan bentang panjang dan beban sedang hingga berat.



Gambar 2.1 Tipe Warren Truss
(Sumber: A Context For Common Historic Bridge Types (2005))

2. Tipe Pratt (Pratt Truss): Tipe jembatan ini ditemukan oleh Thomas Pratt dan Caleb Pratt pada tahun 1844. Jembatan ini memiliki rangka baja dengan elemen diagonal yang condong ke arah tengah jembatan, serta batang Struktur ini kuat dalam menahan beban tarik (diagonal) dan tekan (vertikal). Tipe ini

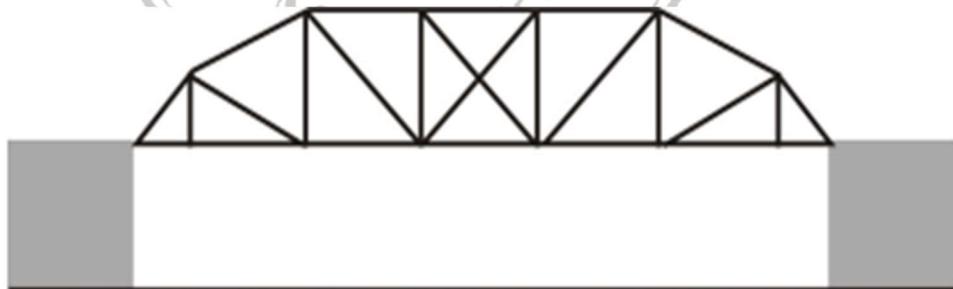
ideal untuk jembatan dengan bentang menengah dan panjang.



Gambar 2.2 Tipe Pratt

Sumber: A Context For Common Historic Bridge Types (2005)

1. Tipe Parker : Jembatan tipe ini ditemukan oleh Charles H. Parker pada tahun 1870 sebagai varian dari jembatan tipe Pratt yang telah dimodifikasi. Pada desain jembatan Parker, batang diagonal memiliki sudut lebih kecil, batang vertikal diperpanjang, dan batang diagonal dibuat lebih landai. Modifikasi ini meningkatkan kekuatan dan kekokohan struktur, menjadikannya cocok untuk jembatan dengan bentang panjang serta kapasitas beban yang besar.



Gambar 2.3 Tipe Parker

Sumber: A Context For Common Historic Bridge Types (2005)

2.3 Penetapan Kelas Jembatan

(DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM, 2007)

2.3.1 Jembatan yang Dibangun Sebelum Tahun 1969

Sebelum tahun 1969, jembatan dibangun menggunakan baja tahan lama yang dikategorikan ke dalam beberapa kelas pembebanan, seperti Kelas I, Kelas II, Kelas III, dan seterusnya. Namun, penggunaan baja tahan lama ini kini telah ditinggalkan.

2.3.2 Jembatan yang dibangun tahun 1969 – 1988

Dari tahun 1969 hingga 1988, terdapat tiga jenis jembatan yang berbeda:

- Kelas A, opsi 1,0 m + 7,0 m + 1,0 m memiliki Bina Marga Loading 100%
- Kelas B, opsi 0,5 m + 6,0 m + 0,5 m memiliki Bina Marga Loading 70%
- Kelas C, opsi 0,5 m + 4,5 m + 0,5 m memiliki Bina Marga Loading 50%.

2.3.3 Jembatan yang dibangun sesudah tahun 1988

terdapat tiga kelas jembatan yang berbeda.

- Kelas A memiliki opsi 1,0 m + 7,0 m + 1,0 m dengan beban 100% Bina Marga Loading.
- Kelas B memiliki opsi 0,5 m + 6,0 m + 0,5 m dengan beban 100% Bina Marga Loading.
- Kelas C memiliki opsi 0,5 m + 4,5 m + 0,5 m dengan beban 100% Bina Marga Loading.

2.4 Definisi Struktur Bangunan Atas Rangka Jembatan

Bangunan atas jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang terletak di bagian atas jembatan. Tugasnya adalah untuk menampung beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas, kendaraan, dan yang lainnya dan kemudian memindahkan beban tersebut ke bangunan bawah (Maharani, 2021). Karena mempengaruhi biaya konstruksi dan pemeliharaan jembatan di masa mendatang, pemilihan jenis dan tipe superstruktur jembatan sangat penting. Mengetahui jenis superstruktur membuatnya lebih mudah untuk membedakan aspek konstruksi, sedangkan tipe suprastruktur lebih berfokus pada bahan yang digunakan untuk membuatnya. Faktor-faktor berikut dipertimbangkan saat memilih jenis superstruktur jembatan dan jenisnya:

- a. Efisiensi Biaya dalam Pembangunan
- b. Informasi Lokasi
- c. Panjang bentang jembatan
- d. Daya dukung tanah
- e. Karakteristik Aliran Sungai
- f. Keindahan Desain
- g. Volume Banjir
- h. Perlintasan dengan fasilitas transportasi lainnya
- i. Lingkungan

- j. Standar Jalan dan Jembatan
- k. Perawatan Berkala
- l. Batas Deformasi yang Diizinkan
- m. Penempatan dan Struktur Penyangga

2.5 Load and Resistance Factor Design (LRFD)

LRFD adalah pendekatan desain yang lebih modern dan lebih efisien dibandingkan dengan metode desain tradisional seperti ASD (Allowable Stress Design). Dalam LRFD, kedua aspek utama dalam desain struktur — yaitu beban yang diterapkan pada struktur dan ketahanan material — diperlakukan dengan faktor yang memperhitungkan ketidakpastian atau variasi yang mungkin terjadi dalam kondisi nyata (McCormac and James, 2003).

Desain LRFD adalah metode perencanaan bangunan dengan mempertimbangkan faktor beban dan ketahanan bahan. Pada prinsipnya, tegangan yang terjadi tegangan ijin harus lebih kecil dari pada setiap elemen struktur. Dengan kata lain, beban kerja tidak boleh melebihi kapasitas komponen dibagi dengan faktor keamanan.

Jika kekuatan yang diperlukan, R_u , lebih kecil dari kekuatan rencana, ϕR_n , maka struktur dianggap memenuhi syarat. Faktor tahanan, ϕ , memiliki nilai yang bervariasi tergantung pada perilaku aksi komponen yang dianalisis. Sementara itu, R_u merupakan nilai maksimum yang diperoleh dari berbagai kombinasi beban terfaktor berdasarkan analisis struktur. Dengan demikian, perencanaan

menggunakan metode LRFD dianggap memenuhi kriteria. Oleh karena itu, konsep dasar dalam ketentuan LRFD adalah:

$$R_u \leq \phi R_n$$

Kuat perlu, nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang dicari melalui analisis struktur adalah R_u . Faktor beban dan kombinasi yang digunakan harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Pasal 2.3.2 ASCEjSEI 7-10, yaitu:

- 1.4 D

- 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (Lr atau R)

- 1.2 D ± 1.6 (Lr atau R) + (L atau 0,5W)

- 1.2 D ± 1.0 W ± L + 0,5(L atau R)

- 1.2 D ± 1.0 E + L

- 0.9 D ± 1.0 W

- 0.9 E ± 1.0 W

Catatan:

D.....beban mati

L.....beban hidup

Wangin

Rhujan

Egempa

Untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bagi setiap elemen struktur, R_u , diperlukan analisis struktur secara menyeluruh (global). Hasil dari analisis global tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi setiap elemen secara individu dan dibandingkan dengan kekuatan rencana, ϕR_n , yang dihitung berdasarkan gaya internal yang terjadi pada masing - masing elemen. Dengan

demikian, jika suatu elemen struktur menerima gaya aksial. Karena itu, faktor tahanan ϕ dapat berubah, seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut:

Gambar 2. 4 Faktor tahanan

Komponen Struktur	Faktor tahanan ϕ
Lentur	0,90
Tekanan aksial	0,90
Tarik aksial	
- tarik leleh	0,90
- tarik fraktur	0,75
Geser*)	0,90
Sambungan baut	
- Baut geser	0,75
- Baut tarik	0,75
- Kombinasi geser dan tarik	0,75
- Baut tumpu	0,75
Sambungan las	
- Las tumpul penetrasi penuh	0,90
- Las sudut / tumpul penetrasi sebagian	0,75
- Las pengisi	0,75

(Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain - AISC 2010, Wiryanto Dewobroto halaman 151)

2.6 Konsep Pembebanan

Hal utama yang perlu dilakukan dalam perencanaan struktur pada suatu konstruksi adalah melakukan estimasi beban yang akan ditanggung oleh konstruksi tersebut, yang biasa dikenal dengan pembebanan. Pada analisis jembatan rangka

baja ini, pembebanan yang bekerja pada konstruksi dihitung berdasarkan SNI 1725-2016 tentang Peraturan Pembebanan untuk jembatan.

Tabel 2.1 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe beban	Bahan	Faktor beban (γ_{MS})		
		Keadaan Batas Layan (γ_{MS})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS})	
			Biasa	Terkurangi
	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
Tetap	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan

A. Beban Mati (Dead Load)

Beban mati jembatan adalah himpunan bobot dari masing-masing anggota struktural dan non-struktural. Masing-masing komponen ini harus dianggap sebagai unit aksi yang lengkap ketika menerapkan faktor beban normal dan faktor beban yang dikurangi. Beban mati ditentukan menggunakan nilai berat isi untuk bahan bangunan tersebut, yaitu

Tabel 2.2 Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat isi	Kerapatan massa
		(kN/m ³)	(kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surface)	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton	$f_c < 35 \text{ Mpa}$	22,0-25,0
		$35 < f_c < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022 f_c$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (hard wood)	11,0	1125

(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 13)

Elemen non-struktural pada jembatan yang memberikan beban terhadap struktur utama dikategorikan sebagai beban mati tambahan. Beban ini dapat mengalami perubahan sepanjang umur jembatan akibat berbagai faktor, seperti perawatan, modifikasi, atau penambahan komponen baru.

Tabel 2. 3 faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^L)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70

Catatan⁽¹⁾: Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

B. Beban Hidup (Life Load)

Beban hidup jembatan mencakup semua beban yang berasal dari kendaraan yang bergerak, lalu lintas, atau pejalan kaki yang dianggap memengaruhi struktur jembatan. Beban hidup ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu beban lajur "D" dan beban truk "T", yang masing-masing menggambarkan jenis beban yang bekerja pada jembatan yang sedang dianalisis.

1. Beban T

Beban truk "T" merujuk pada sebuah kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada berbagai posisi di lajur lalu lintas yang direncanakan. Beban "T" ini digunakan sebagai acuan dalam perhitungan jembatan dengan bentang pendek dan untuk menentukan desain lantai kendaraan pada jembatan.

Tabel 2.4 Faktor beban untuk beban "T"

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

(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 41)

2. Beban D

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT). Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" ini

diterapkan untuk menentukan distribusi beban yang bekerja pada jembatan, sesuai dengan peraturan yang berlaku dalam perancangan struktur jembatan.

Tabel 2.5 Faktor beban untuk beban lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_D)	
		Keadaan Batas Layan (γ_D^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_D^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 39)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

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

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

Keterangan:

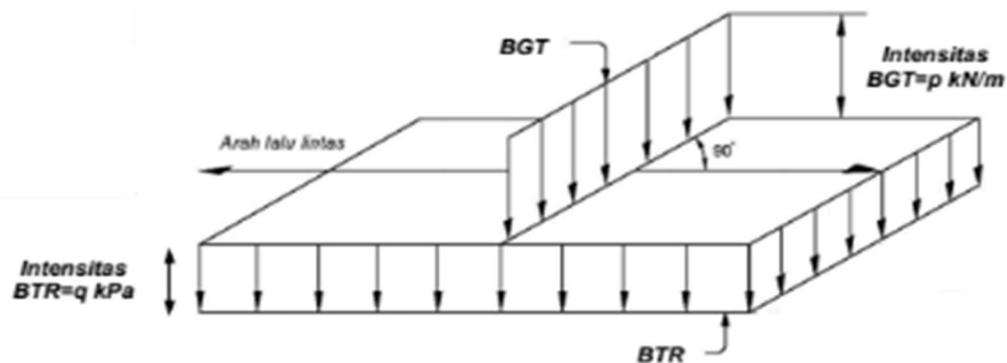
q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

$$1 \text{ Kpa} = 100 \text{ kg/m}^2$$

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas 49,0 kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, dua BGT identik ditempatkan melintang pada bentang lainnya. Distribusi beban hidup melintang digunakan untuk

menghitung momen dan geser longitudinal pada gelagar jembatan, dengan beban lajur "D" tersebar pada lebar balok (tanpa memperhitungkan parapet, kerb, dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.



Gambar 2. 5 Beban Lajur "D"
(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 39)

3. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya rem harus ditempatkan pada semua lajur rencana yang dimuat dan berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini diasumsikan bekerja secara horizontal pada ketinggian 1800 mm di atas permukaan jalan di setiap arah longitudinal, dengan memilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang nantinya akan diubah menjadi satu arah, semua lajur rencana harus dibebani secara simultan saat menghitung besar gaya rem.

4. Beban Trotoar

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk menanggung beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan di masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dilalui kendaraan, beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar akan berfungsi sebagai lajur kendaraan di masa depan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya, tanpa mempertimbangkan faktor beban dinamis.

C. Beban Angin

1. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin horizontal dianggap disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) antara 90 hingga 126 km/jam. Beban angin diasumsikan terdistribusi merata pada permukaan yang terpapar angin. Luas area yang dihitung mencakup semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing, yang diukur tegak lurus terhadap arah angin. Untuk jembatan atau bagian jembatan yang memiliki elevasi lebih dari 10.000 mm di atas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_D \left(\frac{v_{10}}{v_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

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 (km/jam)

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air diaman beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_0 = kecepatan gesekan angin (km/jam)

Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

V_{10} 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 2.6 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (km/jam)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 56)

Selain dari struktur luar yang menerima beban angin, kendaraan yang melintasi jembatan juga menimbulkan beban angin pada struktur jembatan

Tabel 2. 4 Komponen Beban Angin Pada Beban Hidup

Sudut	Komponen Tegak Lurus (MPa)	Komponen Sejajar (MPa)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan

2. Beban Angin pada Struktur (Ews)

Jika kondisi setempat memungkinkan, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam pasal 9.6.3. Jika tidak ada data yang lebih akurat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PD = PB \left(\frac{v_{DZ}}{v_B} \right)^2$$

Keterangan : PB = Tekanan angin dasar

Tabel 2.7 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

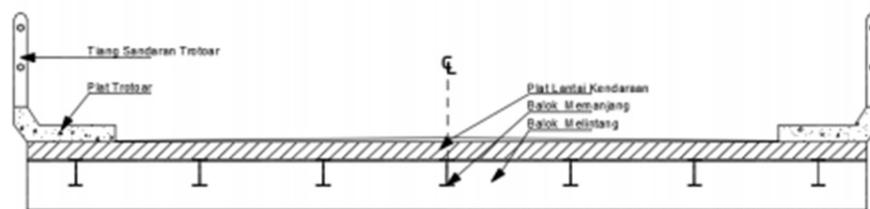
(Sumber: SNI 1725-2016 halaman 56)

2.7 Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Beban-beban lalu lintas, beban pejalan kaki, dan beban lainnya akan membentuk beban total yang diterima oleh struktur atas jembatan, yang kemudian disalurkan ke struktur di bawahnya. Struktur atas jembatan terdiri dari:

2.7.1 Perencanaan Trotoar

Trotoar berfungsi untuk menyediakan fasilitas bagi pejalan kaki di sisi jembatan, terpisah dari jalur lalu lintas di tengah jembatan, serta memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pejalan kaki. Trotoar direncanakan sebagai konstruksi pelat beton yang terletak di samping lantai jembatan dan dianggap sebagai pelat sederhana yang bertumpu pada pelat jalan.



Gambar 2. 6 Perencanaan trotoar

a. Momen

Menentukan tebal plat

Menentukan arah penulangan plat yang mana tertumpu menerus pada balok memanjang.

$$L_x \geq 0.4 L_y$$

$$L_x < 0.4 L_y$$

Plat beton bertulang lantai kendaraan dianggap terjepit elastik bebas pada tumpuan dan terletak pada ujung tumpuan maka faktor momen yang terjadi adalah sebagai berikut:

Momen pada beban mati (M_D) dan beban hidup (M_L)

$M_D = \Sigma \text{beban mati} \cdot \text{jarak (kN.m)}$

$M_L = \text{beban horizontal} \cdot \text{jarak (kN.m)}$

Kombinasi Momen:

1.4 M_D

1.2 $M_D + 1.6 M_L = M_u$

b. Penulangan Trotoar

Perencanaan trotoar diasumsikan sebagai Pelat satu arah dengan tumpuan jepit bebas.

$d' = h - p - 0,5 \text{ tulangan}$

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

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

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

Rasio penulangan (ρ) dan Rasio keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f_c}{f_y} \beta \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Dimana : $\rho = \text{Rasio tulangan}$

$M_u = \text{Momen ultimate (KN.m)}$

$b = \text{Lebar tiang (mm)}$

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

ϕ = faktor reduksi = 0,8 Tulangan pembagi

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b d^2}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 fc}$$

$$As = \rho_{pakai} b d$$

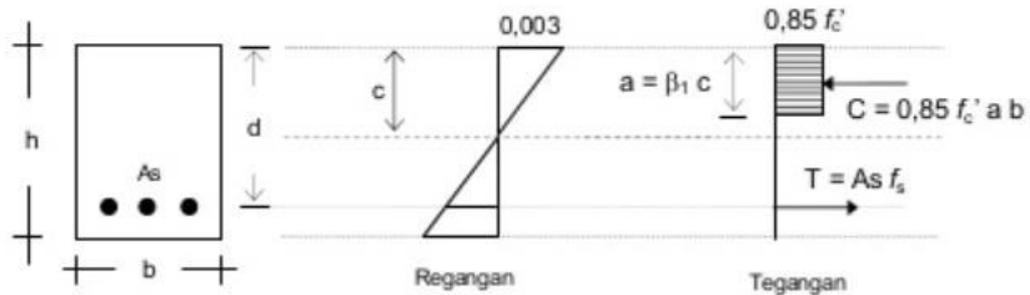
2.7.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan, yang diasumsikan tertumpu pada empat sisi oleh balok memanjang dan balok melintang. Pelat lantai kendaraan pada jembatan menggunakan plat lantai komposit. Perencanaan kekuatan pelat lantai kendaraan sebagai komponen struktur jembatan direncanakan untuk menahan lentur, geser, dan gaya aksial.

2.7.2.1 Perencanaan Pelat Lantai Terhadap lentur

a. Asumsi Perencanaan

Asumsi perhitungan penampang yang terlentur harus mempertimbangkan keseimbangan tegangan dan kompatibilitas regangan. Hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi beton yang ekuivalen, dengan tegangan beton = $0,85 f_c'$. Jarak c dari tepi ke regangan tekanan maksimum pada sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.



Gambar 2. 7 Tegangan dan Regangan Penampang Beton Bertulang

(Sumber: Dipohusodo, 1999)

Faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'_c < 30 \text{ Mpa}$$

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

β_1 pada persamaan tidak boleh diambil kurang dari 0,65

b. Perencanaan Penulangan Plat Lantai

- Tebal minimum plat lantai

Plat lantai berfungsi sebagai lantai kendaraan jembatan yang mana sesuai dengan perencanaan mempunyai tebal minimum

$$t_s > 200 \text{ (mm)}$$

$$t_s > (100 + 40 s) \text{ (mm)}$$

Dimana,

s = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (mm)

- Tulangan Minimum

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik (gan:

$$\frac{As}{bd} = \frac{1,25}{f_y}$$

Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding,

$$\frac{As}{bd} = \frac{1,0}{fy}$$

- Perencanaan tulangan lentur pelat lantai jembatan

$$\rho b = \beta_1 0,85 \frac{fc}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right)$$

$$\rho \text{ maks} = 0,75 \rho b$$

$$R_{maks} = \rho_{maks} \cdot fy \cdot \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \rho_{maks} \cdot fy}{0,85 \cdot fc} \right)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot fc}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 \cdot fc}} \right)$$

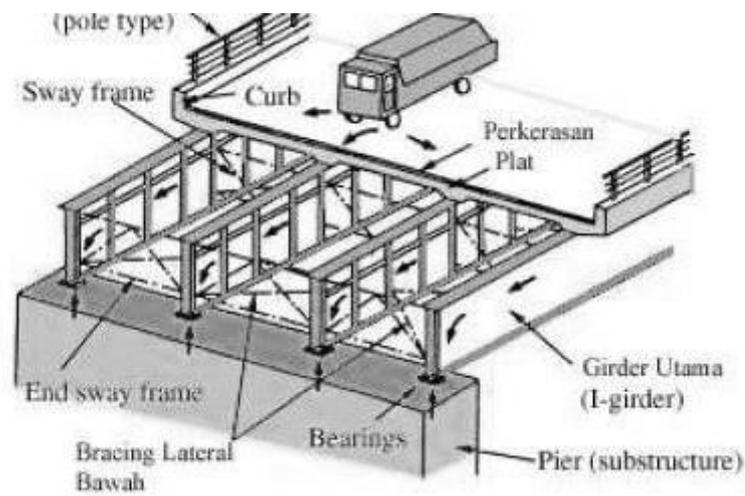
$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{fy}$$

Dengan luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho b d$$

2.7.1 Perencanaan Balok Memanjang dan Melintang

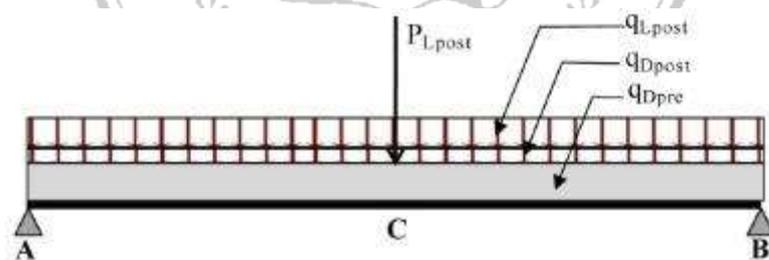
Pada struktur jembatan rangka baja, elemen komposit akan menyatu dengan balok utama penumpu pelat lantai menjadi satu kesatuan. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam struktur beton bertulang adalah penempatan pelat beton dan posisi balok yang harus tetap terjaga. Direncanakan penghubung geser (shear connector) untuk memastikan hubungan antara pelat beton dan balok memanjang serta melintang tetap terjaga. Fungsi dari penghubung geser ini adalah untuk menahan gaya geser yang terjadi pada titik perletakan.



Gambar 2. 7 Balok Jembatan
(Sumber: Chen & Duan, 2000)

2.7.3.1 Analisa Pembenanan Struktur Penampang

Analisis beban pada struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan sistem penompang (Propped system) atau tanpa sistem penompang (Unpropped system). Beban-beban yang bekerja pada balok penampang komposit harus diperhitungkan untuk menentukan distribusi gaya dan respon struktur terhadap beban tersebut.



Gambar 2. 9 Penampang Balok Komposit

(Sumber: <https://untad.academia.edu/hendraPratama>)

a. Pembebanan sebelum aksi komposit

Akibat beban mati

- Momen

$$M_{Dpre} = \frac{1}{8} q_{Dpre} l^2$$

- Gaya Lintang

$$D_{Dpre} = \frac{1}{2} q_{Dpre} l^2$$

b. Pembebanan setelah aksi komposit

Akibat beban mati

- Momen

$$M_{Dpre} = \frac{1}{8} q_{Dpre} l^2$$

- Gaya Lintang

$$D_{Dpre} = \frac{1}{2} q_{Dpre} l^2$$

Akibat beban hidup

- Beban hidup merata

$$q_{Lpost} = \left(\frac{bc}{\text{lebar jalur}} \right) \cdot (q_L \cdot 70\%)$$

- Momen

$$M_{Lpost} = \frac{1}{8} q_{Dpost} l^2$$

- Gaya Lintang

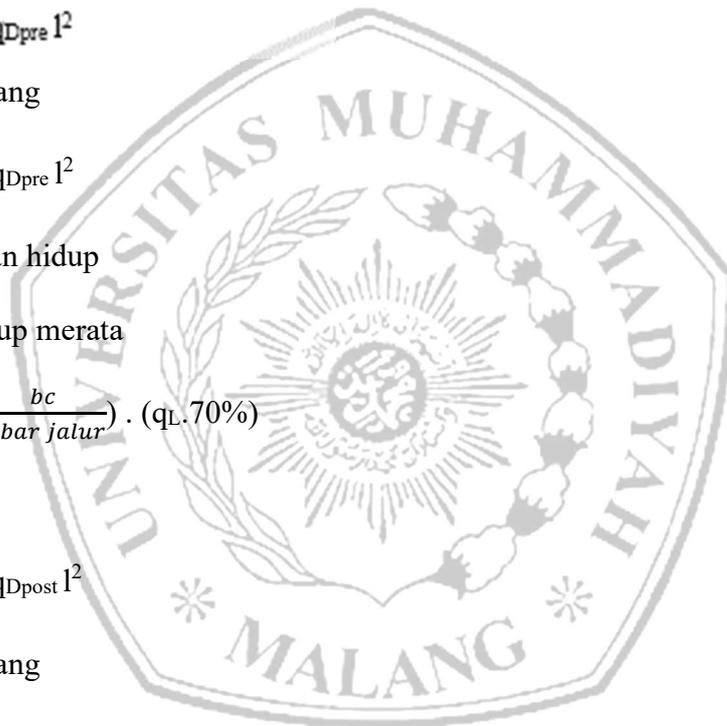
$$D_{Dpost} = \frac{1}{2} q_{Dpost} l^2$$

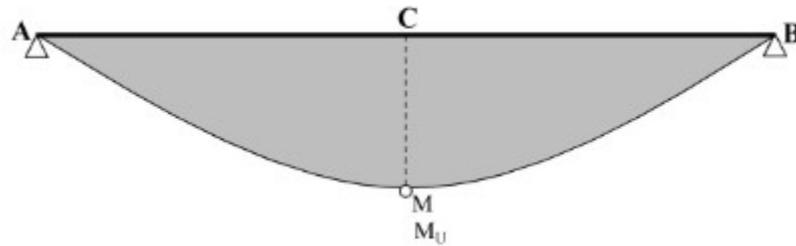
- Beban hidup garis / titik

$$P_{Lpost} = \left(\frac{bc}{\text{lebar jalur}} \right) \cdot (P_L \cdot 70\%)$$

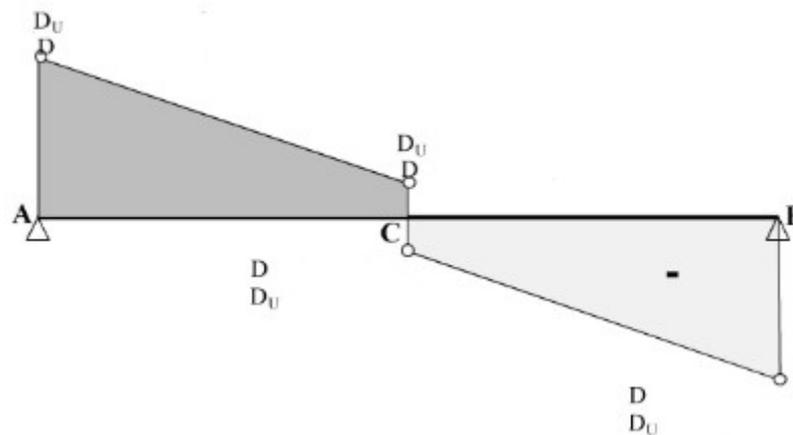
- Pengaruh kejut terhadap garis / titik

$$KP = \left\{ 1 + \left(\frac{20}{(50+15,4)} \right) \right\} + P_L$$





Gambar 2. 10 Diagram Bidang Momen Balok Jembatan
(Sumber: <https://untad.academia.edu/hendraPratama>)



Gambar 2. 11 Diagram Bidang Gaya Lintang Balok Jembatan
(Sumber: <https://untad.academia.edu/hendraPratama>)

2.7.3.2 Perencanaan Berdasarkan Prinsip Elastisitas

a. System penompang (*Propped system*)

- Tegangan tekan beton maksimum

$$f_{c,yt,i} = \frac{MD_{pre} + ML_{post}}{z_c} \cdot \frac{1}{n}$$

b. system tanpa penompang

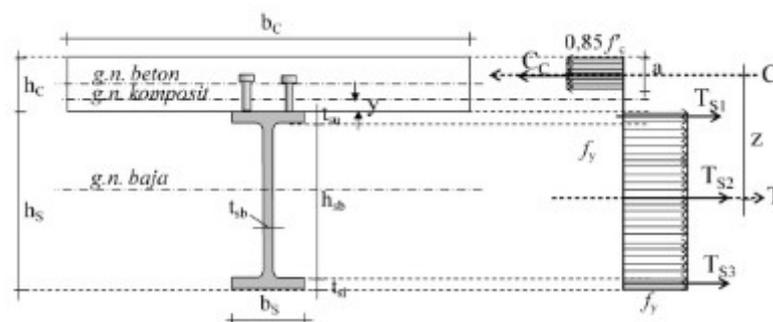
- Tegangan tekan beton maksimum

$$f_{c,yt,i} = \frac{ML_{post}}{z_c} \cdot \frac{1}{n}$$

2.7.3.3 Perencanaan Berdasar Prinsip Plastisitas

Kekuatan batas prinsip plastisitas direncanakan berdasarkan kemampuan maksimum (momen nominal) penampang balok untuk menahan beban batas (momen terfaktor) yang terjadi.

a. Kondisi I



Gambar 2. 12 Diagram tegangan prinsip plastisitas kondisi I
(Sumber: <https://untad.academia.edu/hendraPratama>)

Pada kondisi ini, sebagian atau seluruh penampang beton menerima tegangan tekan, sementara seluruh penampang baja menerima tegangan tarik. Garis netral terletak di dalam penampang beton atau tepat di atas penampang baja.

- Gaya tekan batas oleh penampang beton

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b_c \cdot h_c$$

$$C = A_c \cdot 0,85 f'_c$$

- Gaya tarik batas oleh penampang baja

$$T_{s1} = f_y \cdot t_{su} \cdot b_s$$

$$T_{s2} = f_y \cdot h_{sb} \cdot t_{sb}$$

$$T_{s3} = f_y \cdot t_{st} \cdot b_s$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

- Tinggi blok tekan beton

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_c \cdot h_c}$$

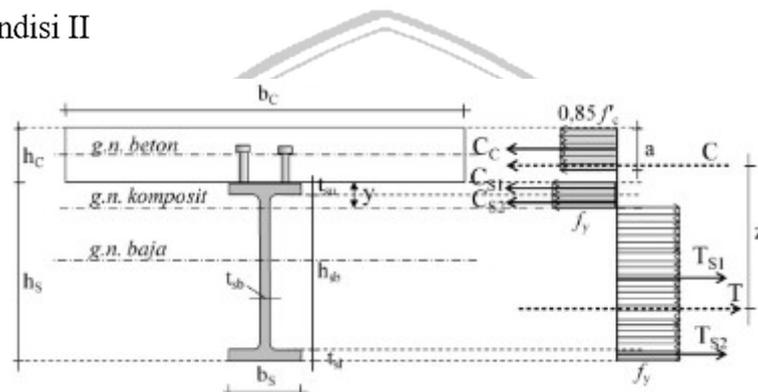
- Lengan momen

$$Z = \left(h_c - \frac{1}{2} a \right) + \frac{1}{2} h_s$$

- Momen nominal

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

b. Kondisi II



Gambar 2. 8 Diagram tegangan prinsip plastisitas kondisi II
(Sumber: <https://untad.academia.edu/hendraPratama>)

Pada kondisi ini semua penampang bagian atas menerima tegangan tekan dan penampang bawah baja menerima tegangan tarik. Garis netral jatuh dalam penampang baja.

- Gaya tekan batas oleh penampang beton

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b_c \cdot h_c$$

$$C = A \cdot 0,85 f'_c$$

$$C_{s1} = f_y \cdot b_s \cdot t_{su}$$

$$C_{s2} = f_y \cdot b_s \cdot y$$

- Gaya tarik batas oleh penampang baja

$$T_{s1} = [h_s - (t_{st} + y)] \cdot f_y \cdot b_s$$

$$T_{s2} = f_y \cdot b_s \cdot t_{st}$$

$$T_s = A \cdot f_y$$

- Tinggi blok tekan beton

$$a = \frac{c}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_c \cdot h_c} \cdot \frac{1}{4}$$

- Lengan momen

$$Z = (h_c - a) + \frac{1}{4} h_s$$

- Momen nominal

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

2.7.3.4 Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan adalah

$$\delta_{maks} = \frac{l}{360}$$

2.7.2 Perencanaan Pelengkung Busur

Hal yang paling mencolok dari struktur ini adalah pelengkung berbentuk setengah lingkaran. Jembatan pelengkung secara keseluruhan menanggung gaya horizontal yang diterima pada ujung pelengkung. Beban-beban ini sebanding dengan berat yang dipikul, serta lendutan dan gaya aksial yang bekerja pada pelengkung busur.

Rangka baja berfungsi sebagai struktur utama jembatan pelengkung, dengan perencanaan rangka baja sebagai pelengkung yang terdiri dari elemen tarik dan tekan yang direncanakan berbeda dari elemen pada umumnya. Dengan deviasi garis

lurus penghubung titik temu pada ujung tumpuan, panjang garis tersebut harus lebih besar atau sama dengan panjang garis. Penampang yang digunakan merupakan penampang kompak, dan jarak dari tepi badan penampang menuju ujung sayap harus memenuhi standar yang ditentukan.

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{6b}$$

Dimana

b = Lebar bagian luar, diukur dari ujungnya terhadap baris pengencang terdekat yang menghubungkan dengan bagian pendukung. (mm)

t = Tebal rata-rata bagian luar, atau tebal total dimana dua atau lebih bagian dihubungkan. (mm)

r = Jari-jari lengkung. (mm)

Lebar sayap yang tidak dikosong memenuhi:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{6b}$$

2.7.4.1 Komponen Struktur Tekan

Struktur rangka baja yang menerima beban tekan aksial pada dasarnya disebut sebagai komponen struktur tekan. Pada jembatan, komponen ini umumnya ditemukan pada batang tepi atas, dan kadang-kadang pada batang diagonal dan vertikal.

a. Beban tekuk kritis euler

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(L_{eff})^2}$$

Dengan

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}, I = Ar^2, \text{ maka :}$$

$$\frac{Pe}{A} = F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{eff}}{r}\right)^2}$$

Dimana :

A	= Luas penampang
F _e	= Tegangan tekuk
E	= Modulus Elastisitas
L _{eff}	= Panjang efektif
I	= Momen inersia penampang
r	= Radius girasi

b. Panjang efektif

Pada persamaan Euler panjang merupakan jarak antara titik perubahan arah tekuk atau panjang efektif. Titik perubahan arah tekuk adalah titik dimana terjadi momen sama dengan 0.

$$L_{eff} = KL$$

Dimana : K = Faktor panjang efektif

L = Panjang tak terkekang (unbraced) dari komponen

c. Kelangsingan struktur tekan

Kelangsingan komponen struktur tekan adalah

$$\frac{KL}{r} \leq 200$$

Dimana: K = Faktor panjang efektif

L = Panjang tak terkekang dari komponen

r = Radius girasi

Berdasarkan

d. Kuat tekan komponen

Kuat tekan rencana ditentukan atas keadaan batas dari tekuk lentur

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Dimana : P_n = Kuat tekan nominal

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas penampang

Tegangan kritis ditentukan apabila:

- $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, atau $\left(\frac{f_y}{f_e} \leq 2,25\right)$

Maka, $F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e}\right]$

- $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, atau $\left(\frac{f_y}{f_e} > 2,25\right)$

Maka, $F_{cr} = 0,877 f_e$

Tegangan tekuk Euler

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2020)

2.7.4.2 Komponen Struktur Tarik

Struktur rangka baja yang menerima beban tarik aksial umumnya disebut sebagai komponen struktur tarik. Pada jembatan rangka baja, komponen struktur tarik menerima gaya tarik ketika gaya lentur diabaikan atau beban dalam kondisi aksial menghasilkan gaya aksial.

A. Kelangsingan batang Tarik

Dalam komponen struktur tarik tidak ada batas kelangsingan maksimum.

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

Dimana: L = Panjang tak terkekang dari komponen

r = Radius girasi

B. Kekuatan batang tarik

Kekuatan tarik desain dari komponen struktur adalah nilai terendah yang diperoleh berdasarkan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang neto.

- Mekanisme leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = f_y A_g$$

Dimana: $\phi = 0,90$

A_g = Luas bruto

f_y = Tegangan leleh minimum

- Mekanisme keruntuhan tarik pada penampang efektif

$$P_n = f_u A_g$$

Dimana: $\phi = 0,75$

A_g = Luas bruto

f_u = Kuat tarik minimum

C. Luas efektif

Luas efektif komponen tarik yang memikul gaya tarik maka ditentukan luas efektif penampang adalah sebagai berikut:

$$A_e = A_n U$$

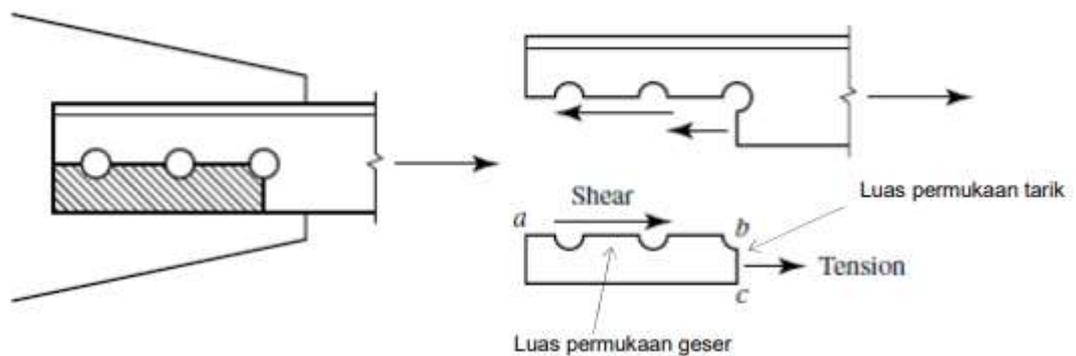
Dimana : A_e = Luas netto

A_n = luas efektif

U = faktor shear lag

D. Geser blok

Keruntuhan geser blok merupakan sebuah keruntuhan kombinasi geser dan tarik yang terjadi melewati lubang-lubang baut pada komponen struktur tarik.



Gambar 2.16. Geser Blok
(Sumber: AISC, 2005)

Keruntuhan geser blok merupakan hasil jumlah dari tarik leleh dan geser fraktur serta tahanan nominal ditentukan oleh persamaan berikut:

- Geser leleh dengan tarik fraktur

Apabila

$$f_u \cdot A_{nt} \geq f_u \cdot A_{nv}$$

Maka,

$$N_n = 0,6f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt}$$

- Geser fraktur dengan tarik leleh

Apabila

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6f_u$$

Maka,

$$N_n = 0,6f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}$$

Dimana:

A_{gv} = Luas Kotor/bruto akibat geser

A_{nv} = Luas netto akibat geser

A_{gt} = Luas kotor/bruto akibat tarik

A_{nt} = Luas netto akibat tarik

f_y = Tegangan leleh

f_u = Tegangan fraktur/putus

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2020)

2.7.3 Sambungan

Penyatuan bagian-bagian struktur yang terpisah menjadi satu kesatuan memerlukan sambungan untuk menyatukan komponen-komponen tersebut. Sambungan direncanakan untuk menahan kondisi batas tertentu. Efek gaya yang terjadi pada sambungan dan kekuatan struktur dalam kondisi yang sama akan dipertimbangkan, dengan setidaknya 75% gaya terjadi pada struktur. Secara umum, komponen sambungan terdiri dari sambungan baut dan sambungan las.

2.7.5.1 Sambungan Baut

Sambungan baut berdasarkan pada (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2020)

Kekuatan satu baut ditinjau dari:

- Kekuatan Geser

$$R_n = F_u A_b$$

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u harus memenuhi:

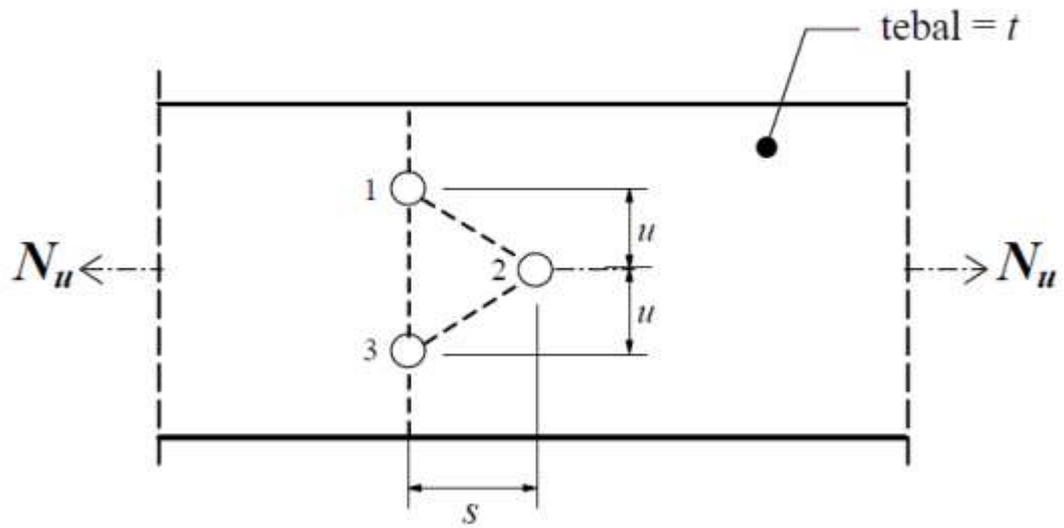
$$R_u \leq \phi R_n$$

Dengan:

ϕ = faktor reduksi kekuatan (0,75)

R_n = kuat nominal baut (berdasarkan nilai kekuatan geser, tarik, tumpu diambil nilai terkecil)

- Tinjauan Pelat



Gambar 2.17. Robekan Baut Terhadap Plat Sambung
(Sumber: AISC, 2005)

Potongan 1-3: $A_n = A_g - ndt$

$$\text{Potongan 1-2-3: } A_n = A_g - ndt + \sum \frac{s^2 t}{4u}$$

Dengan: A_g = luas penampang bruto (mm^2)

t = tebal penampang (mm)

d = diameter lubang (mm)

n = banyaknya lubang dalam garis potongan

s = jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen

struktur

u = jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen

struktur

2.7.5.2 Sambungan Las

Tabel 2. 5 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal, t [mm]	Tebal minimum las sudut, t_w [mm]
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5

Sumber: SNI 1726:2015 Spesifikasi Baja

Kuat rencana persatuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut:

- Berdasarkan bahan las

$$\phi f R_{nw} = 0,75t(0,6 f_{uw})$$

- Berdasarkan bahan dasar

$$\phi f R_{nw} = 0,75t(0,6 f_u)$$

Las sudut memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

Dengan: $\phi f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

f_{uw} = tegangan tarik putus logam las (Mpa)

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar (Mpa)

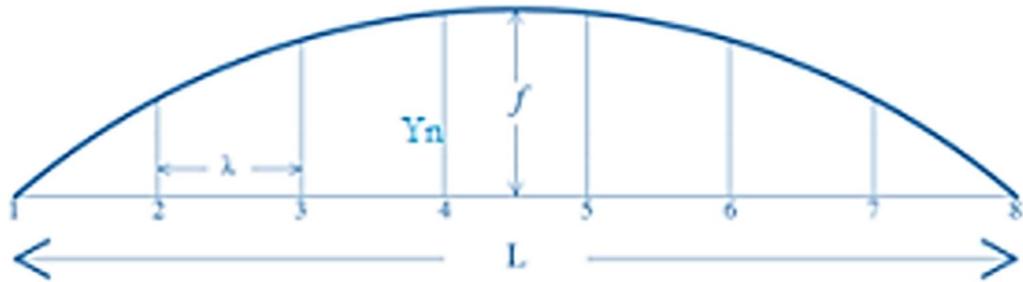
t = adalah tebal rencana las (mm)

2.7.5.3 Perencanaan Dimensi Konstruksi Pemikul Utama

- Tinggi Fokus

Syarat tinggi fokus jembatan pelengkung berdasarkan rumus Hool &Kinne :

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$



Gambar 2. 9 Tinggi Fokus Jembatan Pelengkung

