

BAB III

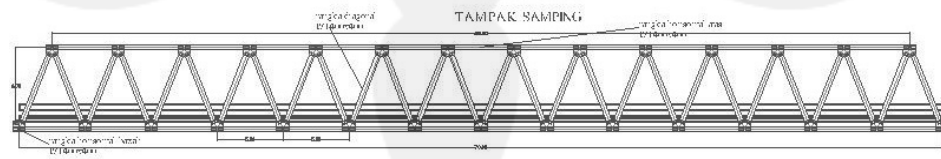
LANDASAN TEORI

3.1. Tinjauan Umum

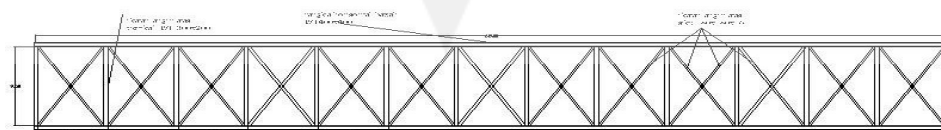
Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007) dalam Perencanaan Jembatan Katungau Kalimantan Barat, seorang perencana merasa yakin bahwa dengan mengumpulkan data dan informasi tentang lokasi jembatan dan beban-beban yang bekerja telah cukup memadai untuk melakukan perencanaan. Pada kenyataannya, sering dijumpai bahwa setelah memperoleh data-data yang memadai, cukup sulit untuk menghubungkannya dengan rumus atau persamaan-persamaan yang telah ada. Oleh karenanya, bagaimana mungkin perencana akan menganalisis dan merancang serta melakukan proses perhitungan bila rumus-rumus yang diinginkan tidak ada, untuk itu perlu dipahami adanya suatu proses desain (*design process*) sebelum perencana melakukan perhitungan dan pemilihan struktur.

3.2. Desain awal

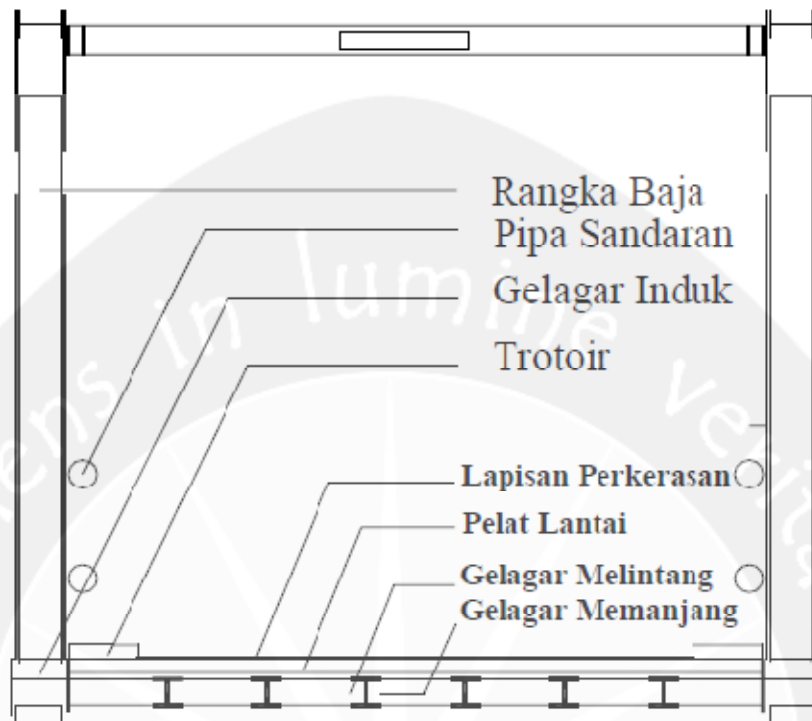
Pradesain Struktur Atas Jembatan sebagai berikut:



Gambar 3.1. Tampak Samping Struktur Atas Jembatan Bentang 70 Meter



Gambar 3.2. Tampak Atas Jembatan Bentang 70 Meter



Gambar 3.3. Potongan Melintang Jembatan

1. Jenis jembatan : rangka baja
2. Bentang total : 350 m, terdiri dari:
Bentang utama : 350 meter (70 m + 70 m + 70 m + 70 m + 70 m)
3. Klasifikasi jalan : jalan kolektor, kelas II A
4. Lebar jembatan : 9,00 m terdiri dari:
 - a. Lebar lantai jembatan : $2 \times 3,5$ m
 - b. Lebar lantai trotoir : 2×1 m
5. konstruksi atas :
 - a. gelagar memanjang : profil WF
 - b. gelagar melintang : profil WF
 - c. rangka baja : profil WF
 - d. ikatan angin atas : profil siku sama kaki

- e. ikatan angin bawah : profil siku sama kaki
- f. *shear connector* : profil WF

3.3. Rumus-rumus perhitungan

3.3.1. Pelat lantai kendaraan

1. Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Menurut PPPJRR 1987 pembebanan pelat lantai kendaraan meliputi :

- a. Beban hidup (beban T),
- b. Beban mati.

2. Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

- a. Tinggi Efektif

$$d = h - s - 0,5 \times (\phi_{tp}) \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan :

d = tinggi efektif (mm),

s = tebal selimut (mm),

h = tinggi penampang (mm),

ϕ_{tp} = diameter tulangan pokok (mm).

- b. Momen Ultimit

$$M_u = (1,2 \times M_{deadload}) + (1,6 \times M_{liveload}) \dots\dots\dots(3.2)$$

c. Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - \frac{1}{2} \times a) \dots\dots\dots(3.4)$$

$$C_c = T_s = A_s \times f_y \dots\dots\dots(3.5)$$

$$A_s = \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$Jarak = \frac{A_s \text{ tul} \times 1000}{A_s} \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

M_n = momen nominal (Nmm),

M_u = momen ultimit (Nmm),

f'_c = kuat tekan karakteristik beton (N/mm²),

d = tinggi efektif (mm),

a = tinggi gaya tekan (mm),

b = lebar penampang (mm),

A_s = luas penampang tulangan (mm²),

ϕ_{tp} = diameter tulangan pokok (mm).

3.3.2. Rangka

1. Komponen struktur tarik

Syarat desain komponen struktur tarik: $T_u = \phi T_n$.

Ada 3 macam kondisi keruntuhan yang mungkin terjadi:

a. Leleh: $\phi T_n = 0,9 \times A_g \times f_y$ (3.8)

b. Fraktur: $\phi T_n = 0,75 \times A_n \times U \times f_u$ (3.9)

c. Geser blok:

1) Geser leleh – tarik fraktur ($f_u \times A_{nt} \geq 0,6 \times f_u \times A_{nv}$)

$$\phi T_n = 0,75 \times (0,6 \times f_y \times A_{gv} + f_u \times A_{nt}) \text{(3.10)}$$

2) Geser fraktur – tarik leleh ($f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_u \times A_{nv}$)

$$\phi T_n = 0,75 \times (0,6 \times f_u \times A_{nv} \times f_y \times A_{gv}) \text{(3.11)}$$

dengan:

T_n = tahanan nominal (Newton),

A_g = luas penampang kotor (mm²)

f_y = tegangan leleh (MPa)

A_n = luas netto penampang (mm²)

f_u = tegangan putus (Mpa)

A_{gv} = luas kotor akibat geser

A_{nv} = luas bersih akibat geser

A_{gt} = luas kotor akibat tarik

A_{nt} = luas bersih akibat tarik

2. Komponen struktur tekan

Syarat desain komponen struktur tekan: $N_u \leq \phi_c \times N_n$ (3.12)

Dengan $\phi = 0,85$

N_u = beban terfaktor

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur = $A_g \times f_{cr}$

Daya dukung nominal N_n :

$$N_n = A_g \times f_{cr} = A_g \times \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dengan besarnya ω ditentukan oleh λ_c , yaitu:

Untuk $\lambda_c < 0,25$ maka $\omega = 1$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \text{ maka } \omega = \frac{1,43}{1,67 - 0,67\lambda_c} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\text{Untuk } \lambda_c > 1,2 \text{ maka } \omega = 1,25 \times \lambda_c^2 \dots\dots\dots(3.15)$$

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur = $A_g \times f_{cr}$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \dots\dots\dots(3.16)$$

λ_c = parameter kelangsingan batang tekan

3. Gelagar Memanjang dan Melintang

a. Gelagar Memanjang

$$\text{Syarat desain: } \phi M_n > M_u \text{ dengan } \phi = 0,9 \dots\dots\dots(3.17)$$

Cek profil (penampang kompak atau tidak kompak)

| | λ_p | λ_r | |
|--|---------------------------|--------------------------------|-------------|
| $\lambda_f = \frac{b}{2t_f}$ | $\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ | $\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ |(3.18) |
| $\lambda_w = \frac{d - 2(t_f + r_o)}{t_w}$ | $\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$ | $\frac{2550}{\sqrt{f_y}}$ | |

Penampang kompak jika $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$

$$Z_x = b \times t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \times t_w (d - 2t_f)^2 \dots\dots\dots(3.19)$$

Untuk penampang kompak $M_p = M_n$

$$M_p = f_y \times Z_x \dots\dots\dots(3.20)$$

$$M_p = M_n, \text{ jika } M_n > M_u \dots\dots\dots(3.21)$$

Untuk penampang tidak kompak

$$M_p = f_y \times Z_x \dots\dots\dots(3.22)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times S_x, \text{ dimana } S_x = \frac{I_x}{d/2} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \times M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \times M_r \dots\dots\dots(3.24)$$

dengan:

M_n = kuat lentur nominal (Nmm)

M_u = momen lentur akibat beban terfaktor (Nmm)

M_r = momen batas tekuk

M_p = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh

λ_p = batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang kompak

λ_r = batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang tidak kompak

Selain memikul momen lentur, suatu balok umumnya juga memikul geser.

Syarat desain kuat geser suatu balok adalah

$$V_u < 0,9 \times V_n \dots\dots\dots(3.25)$$

$$V_n = 0,6 \times f_{yw} \times A_w \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\text{berlaku jika } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_{yw}}} \dots\dots\dots(3.27)$$

f_{yw} = kuat leleh badan

A_w = luas penampang badan = $d \times t_w$

b. Gelagar melintang

Syarat desain $\phi M_n > M_u$ dengan $\phi = 0,9$(3.28)

M_u adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh, yaitu diambil sama dengan $f_y S$ dan S adalah modulus penampang elastis. M_p adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh, yaitu harus diambil lebih kecil dari $f_y Z$ atau $1,5 M_y$ dan Z adalah modulus penampang elastis. M_r adalah momen batas tekuk diambil sama dengan $S(f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa.

Tabel 3.1. Bentang untuk pengekang lateral

| Profil | L_p | L_r |
|-------------------------------|--|---|
| Profil-I dan kanal ganda | $1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$, adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah | $r_y \left(\frac{X_1}{f_L}\right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$, dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \left(\frac{S}{GJ}\right)^2 \frac{I_w}{I_y}$, dengan I_w adalah konstanta punter lengkung. J adalah konstanta puntir torsi. |
| Profil kotak pejal / berongga | $0,13Er_y \sqrt{\frac{JA}{M_p}}$ | $2Er_y \sqrt{\frac{JA}{M_r}}$ |

Sumber: SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung

1) Bentang Pendek

Syarat $L \leq L_p$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur

$$\text{adalah: } M_n = M_p \dots\dots\dots(3.29)$$

2) Bentang menengah

syarat: $L_p \leq L \leq L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah:

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p + M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \dots\dots\dots(3.30)$$

3) Bentang Panjang

syarat: $L_r \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur

$$\text{adalah: } M_n = M_{cr} \leq M_p \dots\dots\dots(3.31)$$

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_a + 4M_b + 3M_c} \leq 2,3$$

Dengan M_{max} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau, serta M_a , M_b , M_c adalah masing-masing momen pada 1/4 bentang, tengah bentang dan 3/4 bentang komponen struktur pada bentang yang ditinjau.

Tabel 3.2. Momen kritis untuk tekuk lateral

| Profil | M_{cr} |
|-------------------------------|---|
| Profil – I dan kanal ganda | $C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w}$ |
| Profil kotak pejal / berongga | ${}^2 C_b E \sqrt{\frac{JA}{L/r_y}}$ |

Sumber: SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung

4. Perhitungan sambungan

a. Sambungan baut

Baut mutu tinggi / *High Tension Bolt (HTB)*

Sambungan baut mutu tinggi mengandalkan gaya tarik awal yang terjadi karena pengencangan awal. Gaya tersebut dinamakan *proof load*. Gaya tersebut akan memberikan friksi, sehingga sambungan baut mutu tinggi hingga taraf gaya tertentu dapat merupakan tipe friksi. Sambungan jenis ini baik untuk gaya bolak-balik. Untuk taraf gaya yang lebih tinggi, sambungan tersebut merupakan tipe tumpu. Diameter yang paling sering digunakan pada konstruksi jembatan adalah 7/8 inci dan 1 inci.

Tabel 3.3. spesifikasi baut dan paku keling

| Baut | Mutu | d_b (mm) | Proof Stress (MPa) | Kuat Tarik Min f_u (MPa) |
|--------|--------|-------------|--------------------|----------------------------|
| A307 | Normal | 6,35 - 10,4 | - | 60 |
| A325 | Tinggi | 12,7 - 25,4 | 585 | 825 |
| | | 28,6 - 36,1 | 510 | 725 |
| A490 | Tinggi | 12,7 - 38,1 | 825 | 1035 |
| Keling | Normal | | | 370 |

Sumber : RSNI-T-03-2005-perencanaan-struktur-baja-untuk-jembatan

Tabel 3.4. Data-data teknis baut HTB

| Baut | Mutu | Tegangan geser ijin (kg/cm ²) | Tegangan tarik ijin (kg/cm ²) |
|------|--------|---|---|
| A307 | Normal | 960 | 1600 |
| A325 | Tinggi | 1225 | 3080 |
| A490 | Tinggi | 1540 | 3780 |

Sumber : RSNI-T-03-2005-perencanaan-struktur-baja-untuk-jembatan

Tahanan baut

$$\text{Geser: } \phi R_n = \phi \times m \times r_1 \times f_u^b \times A_b \dots\dots\dots(3.32)$$

$$\text{Tumpu: } \phi R_n = \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \dots\dots\dots(3.33)$$

$$\text{Tarik: } \phi R_n = \phi \times f_u^b \times A_b \dots\dots\dots(3.34)$$

$$P_u = 1,2P_{dl} + 1,6P_{ul} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\text{Jumlah total baut: } \frac{P_u}{\phi R_n} \dots\dots\dots(3.36)$$

dengan:

ϕ = faktor reduksi = 0,75,

R_n = kuat nominal baut (kg),

f_u^b = kuat tarik baut = 825 MPa (untuk baut mutu tinggi jenis A325),

m = jumlah bidang geser,

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir (mm²),

P = gaya yang bekerja pada profil (N),

n = jumlah baut.

$r_1 = 0,50$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,40$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

d_b = diameter baut pada daerah tak berulir

t_p = tebal pelat

b. Sambungan las

$$\text{Persyaratan sambungan las: } \phi R_{nw} \geq R_u$$

Macam sambungan las:

1) Las tumpul

a) bila sambungan dibebani gaya tarik atau tekan aksial, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,9 \times t_e \times f_{yw} \dots\dots\dots(3.37)$$

b) bila sambungan dibebani gaya geser, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,80 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \dots\dots\dots(3.38)$$

Dengan f_y dan f_u adalah kuat leleh dan kuat tarik putus

2) Las sudut

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \dots\dots\dots(3.39)$$

3) Las baji dan pasak

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times f_{uw} \times 0,6 \times A_w \dots\dots\dots(3.40)$$

dengan:

A_w = luas geser efektif las

f_{uw} = kuat tarik putus logam las

Tabel 3.5. Ukuran minimum las sudut

| Tebal pelat (mm) | Ukuran minimum las sudut (mm) |
|---------------------|-------------------------------|
| $t \leq 7$ | 3 |
| $7 \leq t \leq 10$ | 4 |
| $10 \leq t \leq 15$ | 5 |
| $15 \leq t$ | 6 |

Sumber: SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung

Pembatasan ukuran maksimum las sudut:

- 1) Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen,
- 2) Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen

5. Ikatan angin

Pembebanan Ikatan Angin dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Beban mati (berat sendiri)
- b. Muatan angin (150 kg/m^2)
- c. Beban hidup.

