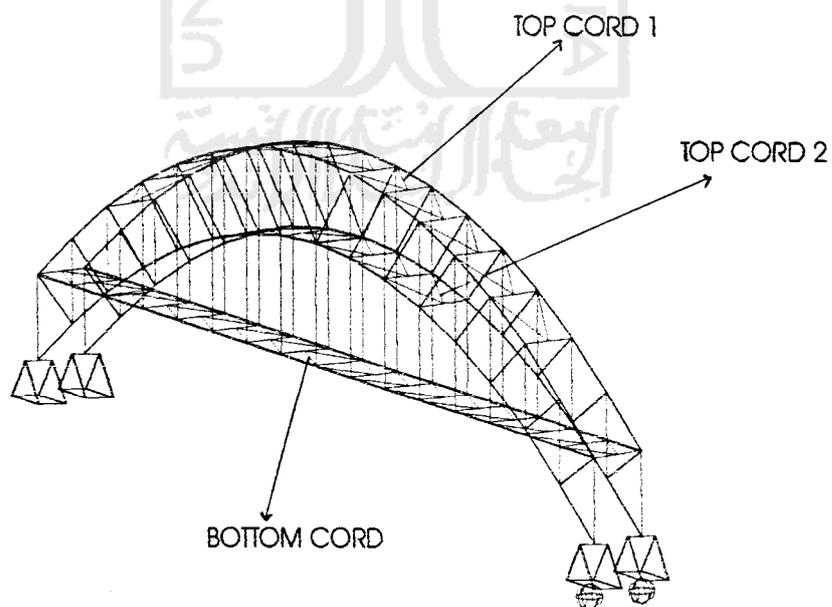


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Komponen Struktural Jembatan Rangka Baja

Bagian-bagian struktural dari jembatan rangka baja tipe *arch bridge* adalah : pelat lantai, gelagar memanjang, gelagar melintang, rangka dan ikatan angin. Susunan komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Gambar struktur jembatan rangka baja *arch bridge*.

Secara umum komponen struktural jembatan sebagai berikut :

1. Lapis permukaan (*wearing surface*) adalah komponen yang berhubungan langsung dengan pengguna lalu-lintas. Ketebalan lapisan ini bervariasi dari 5 – 10 cm.
2. Plat lantai (*deck*) adalah komponen fisik pendukung jalan raya menyebrangi halangan/hambatan . Plat lantai pada umumnya terbuat dari beton atau plat baja kaku. Fungsi pokok dari plat adalah mendistribusikan beban yang melewati jembatan pada tampang melintang plat tersebut.
3. Gelagar adalah komponen pokok yang berfungsi mendistribusikan beban longitudinal dan umumnya direncanakan dengan prinsip tahan lendutan. Gelagar terbagi atas dua macam yaitu : gelagar memanjang dan gelagar melintang.
4. Rangka adalah struktur utama yang mendukung seluruh beban yang bekerja pada struktur jembatan rangka baja, baik beban eksternal maupun beban akibat berat sendiri yang diterima batang-batang pada rangka.
5. Ikatan angin adalah komponen yang berfungsi menahan gaya arah lateral pada rangka yang diakibatkan oleh gaya angin.

3.2. Pembebanan menurut AASHTO LRFD Bridge Specification

3.2.1. Beban Grafitasi

Beban grafitasi adalah beban yang disebabkan oleh berat objek pada jembatan. Beban-beban seperti beban tetap dan beban berjalan, dan keduanya bekerja ke arah bawah terhadap pusat bumi.

3.2.2. Beban tetap (Permanent load)

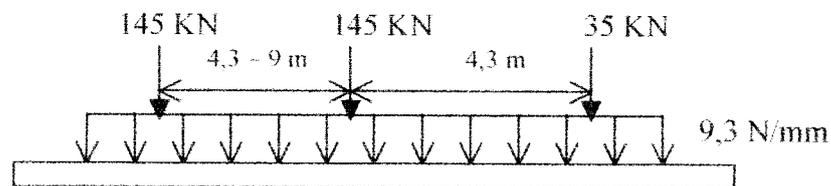
Beban-beban yang termasuk beban tetap menurut AASHTO yaitu :

1. Beban mati dari komponen struktur dan perlengkapan nonstruktur (DC).
2. Beban mati dari permukaan aus dan kegunaanya (DW).
3. Beban mati dari timbunan tanah (EV).
4. Beban tekanan tanah (EH).
5. Beban tambahan tanah (ES).
6. Pengereman (DD).

3.2.3. Beban tidak permanen (Transient loads)

- Beban rencana kendaraan

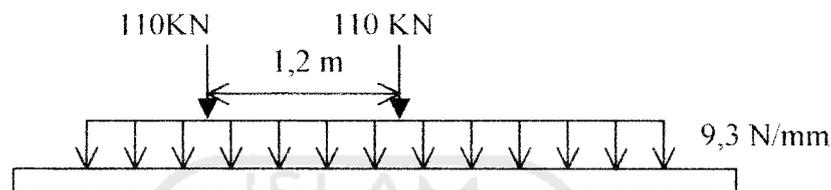
a. Truk rencana



Gambar 3.2. Beban rencana AASHTO untuk truk.

b. Tandem rencana

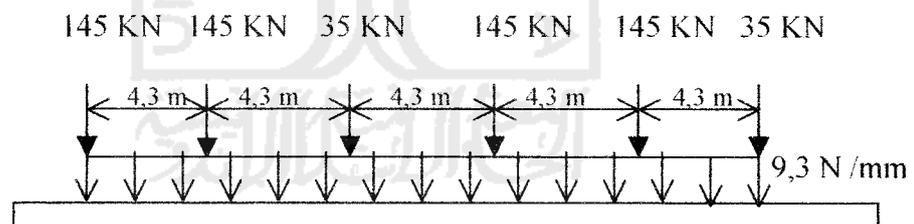
Konfigurasi ke-2 adalah beban tandem rencana dan diilustrasikan pada gambar 3.3, terdiri dari 2 sumbu dengan berat 110 KN masing-masing jaraknya 1200 mm.



Gambar 3.3. Beban rencana AASHTO untuk tandem.

c. Beban jalur rencana

Merupakan konfigurasi beban yang ketiga terdiri dari beban distribusi merata sebesar 9,3 N/mm dan diasumsikan menempati bagian 3000 mm secara melintang (gambar 3.4.)



Gambar 3.4. Beban rencana AASHTO untuk beban jalur.

3.3. Analisis Jembatan Rangka menurut LRFD-AASHTO 1994

Dalam menganalisis jembatan rangka baja ini, diambil langkah-langkah sebagai berikut :

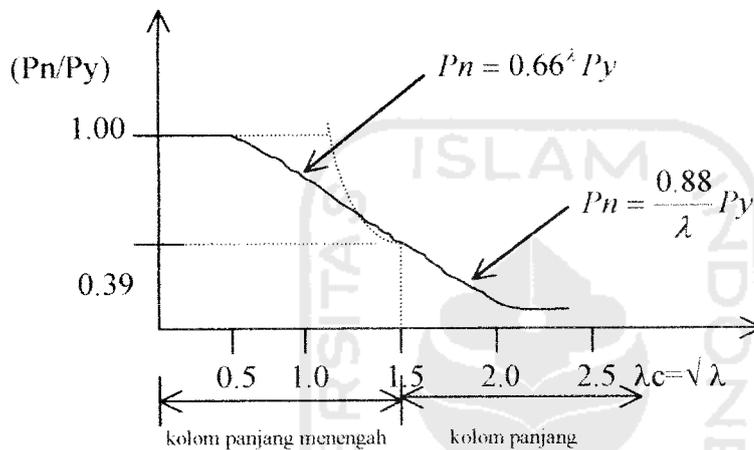
1. Gaya aksial pada batang diasumsikan, semua joint ada pada pertemuan pusat gaya berat batang, dan semua beban ditempatkan pada **joint**.

2. Menentukan kapasitas nominal batang tekan

Dalam perencanaan batang tekan terdapat dua kriteria yaitu :

a. Kriteria tekuk keseluruhan (*Overall Buckling*)

Untuk rumus-rumus kolom pada kriteria tekuk keseluruhan secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 3.5. berikut :



Gambar 3.5. Kurva untuk desain kolom.

Dari gambar 3.5. dinyatakan bahwa fungsi kerampingan λ_c sebagai parameter kerampingan (Pengganti KL/r). Menurut spesifikasi LRFD didefinisikan :

$$\lambda = \lambda_c^2 = \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \frac{F_y}{E} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\lambda_c = 1,5 ; \lambda = \lambda_c^2 = 2,25$$

Dengan keamanan konstan bagi kolom, bila kekuatan bervariasi menurut kelangsingannya, variasi ini harus mencakup dalam kekuatan nominal (P_n), dengan kekuatan nominal sebagai berikut :

- Kolom panjang menengah ($\lambda < 2,25$) : $P_n = 0.66^{\lambda} F_y A_s \dots\dots\dots(3.2)$

- Kolom panjang ($\lambda \geq 2,25$) : $P_n = \frac{0.88F_y}{\lambda} A_s$ (3.3)

Kekuatan tekan (Pr) dari kolom : $P_r = \Phi_c \cdot P_n$ (3.4)

Dengan $\Phi_c = 0.90$, adalah faktor ketahanan untuk batang tekan.

b. Kriteria tekuk lokal (*local buckling*)

Untuk kolom dengan rasio lebar/tebal terlalu besar masuk dalam kriteria tekuk lokal. Batas rasio kriteria tekuk lokal sebagai berikut :

- Batas Rasio ketebalan, menggunakan rumus :

$$\frac{b}{t} \leq k \frac{E}{F_y}$$
(3.5)

k = koefisien tekuk plat badan, t = tebal plat (mm), b = lebar plat (mm).

$$\frac{h}{t_w} \leq k \frac{E}{F_y}$$
(3.6)

k = koefisien tekuk plat sayap, h = tinggi badan (mm), t_w = tebal badan.

Nilai k ditetapkan sesuai dengan bentuk profil yang digunakan.

- Batas Rasio kelangsingan (*slenderness ratio*), Jika kolom terlalu ramping, maka dianjurkan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Batang utama adalah $(KL/r) \leq 120$
- Batang pengaku adalah $(KL/r) \leq 140$

3. Menentukan kapasitas batang tarik

Kekuatan batang tarik ditentukan berdasarkan dua macam kegagalan yaitu kegagalan karena pelepasan dan kegagalan fracture, yaitu :

- Berdasarkan pelepasan : $\Phi_y \cdot P_n = \Phi_y \cdot F_y \cdot A_g$ (3.7)

Dengan $\Phi_y = 0.95$, adalah Faktor resistan, P_{ny} adalah kekuatan tarik nominal untuk leleh (N), F_y adalah kekuatan leleh (Mpa), A_g adalah luas penampang lintang brutto (mm^2).

b. Berdasarkan kondisi fracture : $\Phi_u P_{nu} = \Phi_u F_u A_e \dots\dots\dots(3.8)$

Dengan $\Phi_u = 0.80$, adalah Faktor resistan karena fracture pada batang tarik, P_{nu} adalah kekuatan tarik nominal untuk retakan (N), F_u adalah kekuatan tarik (Mpa), dan A_e adalah luas efektif (mm^2), luas efektif untuk jenis sambungan sebagai berikut :

a. Luas efektif pada sambungan baut

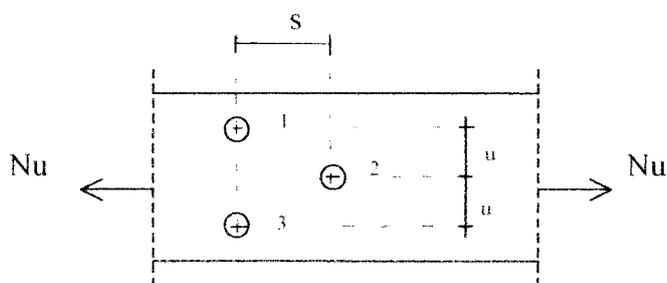
Luas efektif pada sambungan baut dijelaskan dengan persamaan :

$$A_e = U A_n \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan persamaan A_e adalah luas efektif untuk sambungan baut, U adalah koefisien reduksi akibat eksentrisitas antara pusat elemen dengan pusat elemen penghubung, Koefisien reduksi memperhitungkan eksentrisitas lubang. Dan nilai U tergantung pada bentuk profil dan jenis sambungan yang digunakan. Nilai koefisien reduksi untuk sambungan baut :

$$U = 1 - \left(\frac{x}{L} \right) \dots\dots\dots(3.10)$$

Dengan x adalah jarak eksentrisitas, L adalah jarak antara lubang awal dengan lubang akhir pada satu baris, dengan penjelasan keterangan dapat dilihat pada gambar pada lampiran 5. Dan luas penampang bersih (A_n) akibat lubang baut, secara lengkap dijelaskan pada Gambar 3.6, halaman berikut :



Gambar 3.6. Pola lobang penampang pada elemen tarik.

Luas penampang bersih pada :

a. Potongan 1-3 : $A_{n1} = A_g - ndt$ (3.11)

b. Potongan 1-2-3 : $A_{n2} = A_g - ndt + \sum \left(\frac{s^2 t}{4u} \right)$ (3.12)

Dengan A_g adalah penampang brutto (mm^2), t adalah tebal penampang, d adalah diameter lubang (mm), n adalah banyaknya lubang, s adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur (mm), u adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur (mm). Nilai penampang bersih diambil yang terkecil, dan dalam satu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15 % luas penampang utuh.

Syarat rasio maksimum kelangsingan untuk batang tarik dari tabel 3.1. berikut :

Tabel 3.1. Rasio maksimum kelangsingan.

Batang tarik	Max (L/r)
Batang utama	
➤ Subject to stress reversals	140
➤ Not subject to stress reversals	200
Batang pengaku	240

Dengan L adalah panjang batang dan r adalah jari-jari girasi terkecil.

4. Menganalisis batang pengekang (*lateral bracing*), dengan kriteria sebagai berikut :

a. Batang pengekang lateral atas (*Top lateral bracing*)

Analisis diasumsikan bahwa batang diagonal tertentu yang akan mengalami gaya tarik sesuai dengan arah angin.

b. Batang pengekang lateral bawah (*Bottom lateral bracing*)

Beban maksimum lateral (beban angin pada *unloaded span* dan *loaded span*) digunakan dalam perhitungan untuk mencari gaya batang pengekang lateral bawah. Dalam analisis batang diagonal tertentu mengalami tarik tergantung dari arah angin dan batang diagonal yang lain tidak mengalami gaya apapun. Batang diagonal didesain dengan beban lateral maksimum dari *loaded span* dan *unloaded span*.

5. Perhitungan kekuatan baut

Persyaratan keamanan untuk sambungan baut adalah :

$$\Phi \cdot R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\Phi \cdot R_n \geq P_u \dots\dots\dots (3.14)$$

Dengan Φ adalah faktor resistan, R_n adalah resistansi nominal, γ_i adalah faktor kelebihan beban, Q_i adalah beban-beban, P_u adalah beban terfaktor.

- a. Kekuatan geser desain (tanpa ulir pada bidang geser)

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f m f_u^b A_b \dots \dots \dots (3.15)$$

Dengan $\phi_f = 0,80$, adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur, f_u^b adalah tegangan tarik putus baut, A_b adalah luas bruto penampang baut pada tak berulir, m = banyaknya tampang yang dipasang baut. Untuk kuat geser nominal baut yang punya beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

- b. Kekuatan tumpu desain

Kekuatan desain ΦR_n bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1.5 kali diameter lubang, jarak antara lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.4 \phi_f d_b t_p f_u \dots \dots \dots (3.16)$$

kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut :

$$R_d = \phi_f R_n = 2.00 \phi_f d_b t_p f_u \dots \dots \dots (3.17)$$

dengan keterangan $\phi_f = 0.80$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur, d_b adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir, t_b

adalah tebal plat, dan f_u adalah tegangan tarik putus yang terendah dari pelat.

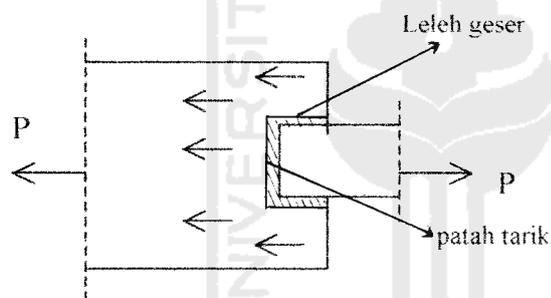
7. Perhitungan Blok Geser (*Block Shear*)

Menurut perencanaan LRFD, ada dua kondisi perencanaan kekuatan pada blok geser, yang ditentukan sebagai berikut :

1. Jika $F_u A_{nt} \geq 0.6 F_u A_{nv}$ terjadi pelelehan geser dan patah tarik, digunakan persamaan dibawah ini :

$$\Phi R_n = \Phi (0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}) \dots \dots \dots (3.18)$$

Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 3.7. berikut :

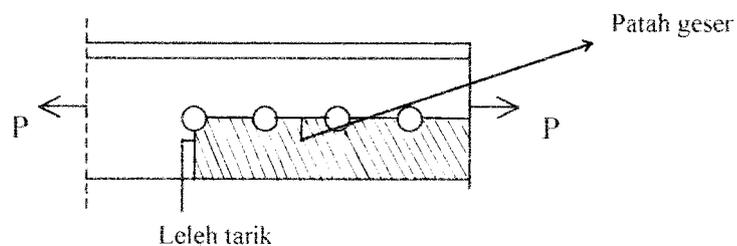


Gambar 3.7. blok shear pelelehan geser dan patah tarik.

2. $0.6 F_u A_{nv} > F_u A_{nt}$ terjadi pelelehan tarik dan patah geser, digunakan persamaan dibawah ini :

$$\Phi R_n = \Phi (0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}) \dots \dots \dots (3.19)$$

Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 3.8. berikut :



Gambar 3.8. Blok shear Pelelehan tarik dan patah geser.

Dengan $\Phi = 0.80$, A_{gv} adalah luas brutto untuk geser, A_{gt} adalah luas brutto untuk tarik, A_{nv} adalah luas netto untuk geser, A_{nt} adalah luas netto untuk tarik. Selain itu perlu diperiksa kuat blok plat ujung terhadap geser pada baut dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi F_n = \phi(0.6 f_u) A_{nv} \dots\dots\dots(3.20)$$

8. Perhitungan keadaan batas pada LRFD-AASHTO 1994

Jembatan struktur baja harus didesain sehingga kinerja saat pembebanan tidak diatas keadaan batas yang telah ditentukan oleh LRFD.

Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Phi.R_n \geq \eta \sum \gamma_i Q_i \dots\dots\dots(3.21)$$

Dengan Φ adalah faktor resistan, R_n adalah nominal resistan, η adalah pengali beban yang berhubungan dengan daktalitas, redudan, dan kepentingan operasional, γ_i adalah factor beban, Q_i adalah efek beban.

a. Kondisi batas kekuatan (*Strength limit*)

Kondisi batas kekuatan diatur oleh kekuatan statis dari material atau stabilitas yang diberikan oleh penampang lintang. Dengan klasifikasi penampang lintang :

- Tampang Kompak adalah tampang yang mencapai momen plastis (M_p) sebelum tekuk torsi lateral (*lateral torsional buckling*) atau tekuk lokal (*local buckling*) pada sayap atau badan terjadi.
- Tampang non kompak adalah tampang yang dapat menghasilkan momen lebih besar dari M_y , tapi lebih kecil dari momen plastis (M_p), sebelum tekuk lokal terjadi pada elemen tekan.

- Tampang langsing adalah tampang yang bagian elemen tekan terlalu langsing sehingga akan terjadi tekuk lokal sebelum M_y tercapai.

Keadaan batas pada kekuatan (*strength limit state*) untuk masing-masing penampang :

- Tampang Kompak : $M_r = \Phi_f \cdot M_n$ dengan $M_n = M_p$ (3.22)
- Tampang non kompak : $F_r = \Phi_f \cdot F_n$ (3.23)

Dengan $\Phi_f = 1.00$, adalah faktor resistensi, dan F_n adalah ketahanan nominal dari tampang non kompak. Untuk ketahanan nominal lendutan berdasarkan profil yang akan digunakan. Dan faktor resisten dari kondisi kekuatan batas diberikan pada tabel pada *AASHTO-LRFD Bridge Design Specifications*.