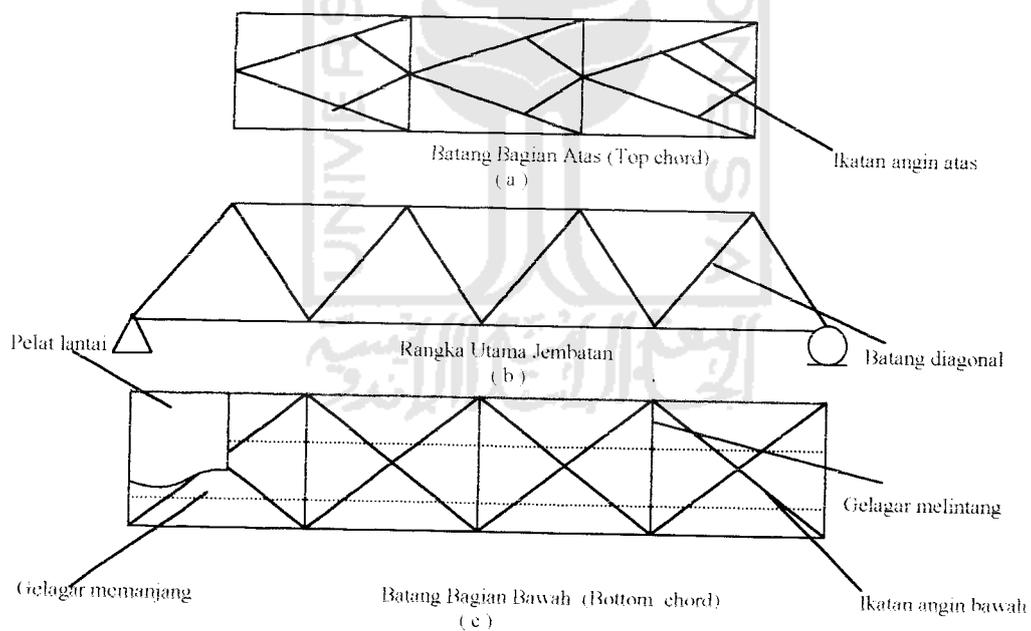


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Komponen Struktural Jembatan Rangka Baja

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



Gambar 3.1 Bagian-bagian Struktural Jembatan Rangka Baja Australia

a. Pelat lantai

Pelat lantai adalah komponen struktural jembatan yang secara langsung mendukung beban lalu-lintas. Pelat ini didukung oleh balok-balok gelagar.

b. Gelagar

Terdapat dua macam gelagar pada struktur jembatan yaitu gelagar memanjang dan gelagar melintang.

c. Rangka

Rangka merupakan 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 sehingga mengalami tarikan aksial (gaya tarik) dan tekanan aksial (gaya tekan) dapat dilihat pada Gambar 3.1(b). Terdapat dua buah rangka pada masing-masing bentang jembatan yang keduanya diikat secara lateral oleh gelagar melintang dan ikatan angin.

d. Ikatan Angin

Ikatan angin berfungsi menahan gaya arah lateral pada rangka yang diakibatkan oleh gaya angin. Struktur ini berupa rangka batang, diletakkan pada batang atas dan batang bawah rangka utama. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 (a) dan (c).

3.2 Pembebanan menurut AASHTO-LRFD *Bridge Specification*

Kombinasi beban yang digunakan menurut LRFD-AASHTO untuk jembatan Krasak adalah :

- Batas Kekuatan II (*Strength Limit II*) : $1,0DC+1,35BR+1,35IM+1,35LL\pm 0,4WL$
- Batas Layan I (*Service Limit I*) : Defleksi beban kendaraan ditengah bentang $\leq L/800$ dimana L adalah panjang bentang

Dengan DC (*Dead load component structure*), BR(*Braking force*), IM(*Dinamic Load*), LL(*Vehicular live load*), WL(*Wind load on Structure*)

3.2.1 Beban Gravity

Beban gravity adalah beban-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 (Puckett-Barker, 1997)

1. Beban tetap (*Permanent Load*)

Beban-beban yang termasuk beban tetap menurut beban AASHTO 1994 yang digunakan dalam penelitian numeris ini adalah beban mati dari komponen struktur dan perlengkapan nonstruktur (DC)

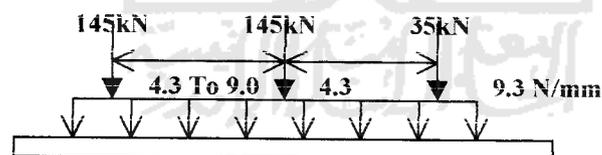
2. Beban sementara (*Transient Loads*) menurut AASHTO 1994

Beban sementara digunakan untuk perencanaan gelagar, terdiri dari :

a. Beban Rencana Kendaraan terdiri dari 3 konfigurasi yaitu,

- Truck rencana

Konfigurasi pertama adalah beban truck rencana diilustrasikan pada Gambar 3.2,

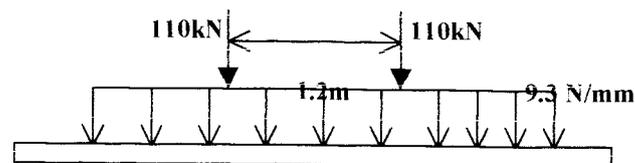


Gambar 3.2 Beban rencana AASHTO untuk truck

- Tandem rencana

Konfigurasi ke-2 adalah beban tandem rencana dan diilustrasikan pada Gambar 3.3,

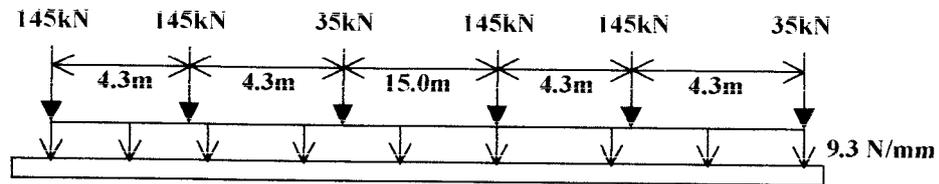
terdiri dari 2 sumbu dengan berat 110 kN masing-masing jaraknya 1200 mm.



Gambar 3.3 Beban rencana AASHTO untuk tandem

- Beban jalur rencana

Merupakan konfigurasi beban yang 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

e. Macam kehadiran (*Multiple Presence*)

Pada Jembatan Krasak rangka baja Australia dengan lebar 9 m digunakan dua arah jalur lalu-lintas. Untuk itu digunakan faktor macam kehadiran (*multiple presence factor*) sebesar 1,00.

f. Beban Dinamik (*Dynamic Load*)

Beban hidup dapat bersifat statik dan dapat pula memiliki efek dinamik dan diperhitungkan pada perencanaan jembatan jalan raya yaitu :

$$UL+1 = UL (1 + IM) \dots\dots\dots(3.1)$$

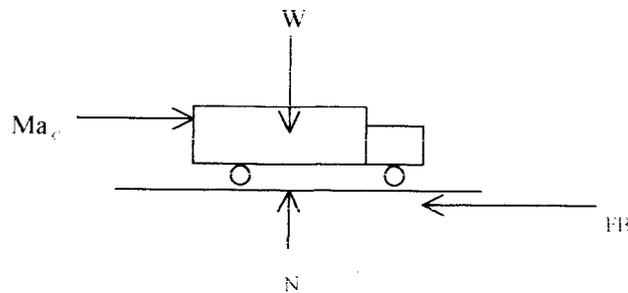
Dengan IM adalah efek beban hidup ditambah dengan syarat dari beban dinamik,

UL adalah efek beban hidup, IM adalah fraksi dari Tabel 3.1

Tabel 3.1 Faktor Efek Dinamik

Komponen	IM (%)
Join dek-semua kondisi batas	75
Semua komponen lain	
Kondisi batas fatigue dan fracture	15
Semua kondisi batas yang lain	33

g. Gaya rem



Gambar 3.5 Gaya-gaya yang Bekerja pada saat pengereman

Dari Gambar 3.5 gaya rem (FB) adalah :

$$FB = b.W \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$b = \frac{1}{2} \left(\frac{V^2}{gs} \right)$$

Dengan v adalah kecepatan rencana kendaraan (m/s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), W adalah berat kendaraan (kN), s adalah jarak pengereman (m), Ma_B adalah energi kinetik karena pengaruh massa dan kecepatan truk. Untuk kecepatan rencana $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ dan jarak pengereman 122 m didapat b adalah 25%.

3.2.2 Beban lateral

Beban lateral yang bekerja pada rangka jembatan Krasak yang diperhitungkan adalah gaya angin. Gaya Angin menurut pembebanan AASHTO-LRFD 1994 dapat dilihat pada Tabel 3.2. Gaya angin juga ada pada kendaraan sebesar 1.46 N/m dengan lokasi pada 1.8 m dari permukaan jalan.

Tabel 3.2 Beban Angin yang Bekerja pada Rangka Baja

Komponen struktur	Beban Angin Tekan (Mpa)	Beban Angin Hisap (Mpa)
Rangka,kolom, lengkung	0.0024	0.0012
Balok	0.0024	N / A
Permukaan rata yang luas/besar	0.0019	N / A

3.3 Analisis Jembatan Rangka menurut LRFD-AASHTO 1994

3.3.1 Asumsi untuk Analisis Jembatan Rangka menurut LRFD-AASHTO 1994

Dalam Analisis jembatan rangka baja, gaya aksial pada batang diasumsikan sebagai berikut (Ram Chandra 1990):

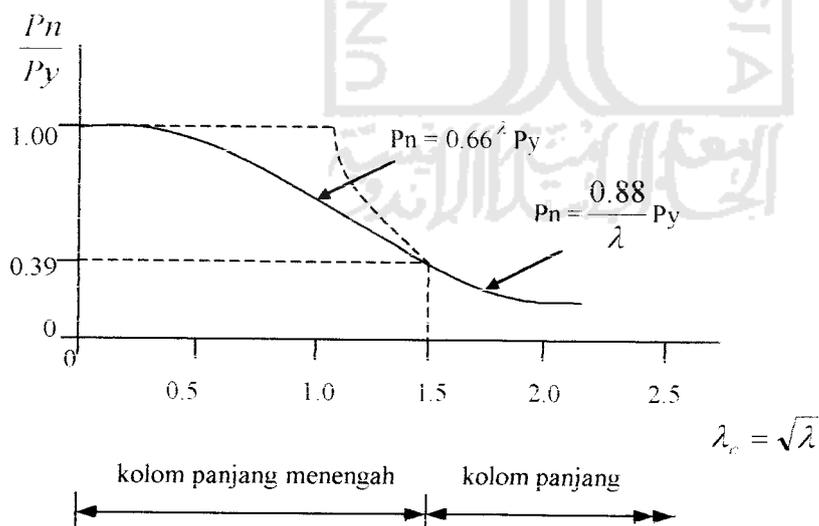
- 1 Semua batang dari jembatan rangka adalah lurus dan bebas berotasi pada joint
- 2 Semua joint dari jembatan rangka terdapat pada pertemuan pusat gaya berat batang
- 3 Semua beban termasuk berat sendiri dari batang di tempatkan pada joint

3.3.2 Kapasitas Nominal Batang Tekan

Dalam perencanaan batang tekan terdapat dua kriteria yaitu :

a. Kriteria Tekuk Keseluruhan (*Global Buckling*)

Untuk rumus-rumus kolom pada kriteria tekuk keseluruhan secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Kurva untuk desain kolom

Dari Gambar 3.6 dinyatakan bahwa :

Fungsi kerampingan λ_c diambil sebagai parameter kerampingan (sebagai ganti KL/r) menurut spesifikasi LRFD. Parameter kerampingan λ_c didefinisikan sebagai :

$$\lambda = \lambda_c^2 = \left(\frac{KL}{\pi r} \right)^2 \frac{F_y}{E} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\lambda_c = 1.5 ; \lambda = \lambda_c^2 = 1.5^2 = 2.25$$

LRFD bertujuan memberikan keamanan yang konstan bagi semua kolom. Bila kekuatan tersebut bervariasi menurut kerampingan, tentulah variasi ini harus dicakup dalam kekuatan nominal P_n .

Kekuatan nominal P_n dari kolom kriteria tekuk keseluruhan :

- Untuk kolom panjang menengah ($\lambda \leq 2.25$), Kekuatan nominal (P_n) yaitu :

$$P_n = 0.66^2 F_y A_s \dots\dots\dots(3.4)$$

- Untuk kolom panjang ($\lambda \geq 2.25$), kekuatan nominal (P_n) adalah :

$$P_n = \frac{0.88 F_y A_s}{\lambda} \dots\dots\dots(3.5)$$

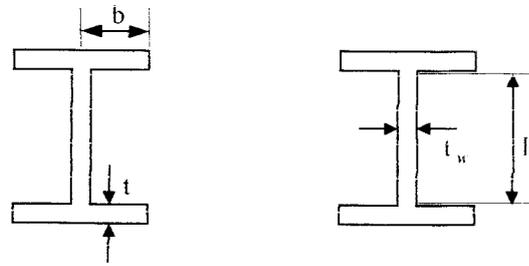
Kekuatan tekan (P_r) dari kolom ditentukan dengan mengalikan kekuatan nominal (P_n) dengan faktor ketahanan untuk kompresi (Φ_c).

$$P_r = \Phi_c P_n \dots\dots\dots(3.6)$$

Batas rasio kriteria tekuk keseluruhan terdiri dari :

- Batas Rasio Ketebalan

Rasio batas lebar-tebal profil dapat dilihat pada Gambar 3.7



$$\frac{b}{t} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Gambar 3.7 Rasio batas lebar-tebal profil I

Untuk Rasio batas tebal / lebar menggunakan rumus :

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana k adalah koefisien tekuk plat badan, b adalah lebar dari plat (mm), t adalah tebal plat (mm).

$$\frac{h}{t_w} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana k adalah koefisien tekuk plat sayap, h adalah tinggi dari badan (mm), t_w adalah tebal badan (mm).

Untuk jembatan rangka baja Australia di Jembatan Krasak yang menggunakan profil I dengan nilai $k = 0.56$ pada sayap dan $k = 1.49$ pada badan.

- Batas rasio kelangsingan

Jika kolom menjadi terlalu ramping, maka hanya akan mempunyai kekuatan yang kecil.

- Batang yang dianjurkan untuk batang utama adalah $(KL / r) \leq 120$
- Batang yang dianjurkan untuk pengaku adalah $(KL / r) \leq 140$

b. Kriteria Tekuk Lokal (*Local Buckling*)

Untuk kolom yang tidak memenuhi syarat Rasio batas tebal/lebar masuk dalam kriteria tekuk lokal. Tekuk lokal akan mengurangi efisiensi penampang ($Q < 1$), Q adalah faktor bentuk untuk memperhitungkan reduksi. Untuk elemen tanpa pengaku (*flens local buckling*) Q dinyatakan dengan Q_s menurut LRFD, untuk profil I dengan rumus :

$$Q_s = 1.415 - 0.00437 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \dots \dots \dots (3.9)$$

Untuk elemen dengan pengaku (*web local buckling*) Q dinyatakan dengan Q_a , untuk profil I dengan rumus :

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A_{brutto}} \dots \dots \dots (3.10)$$

dimana $A_{eff} = A_{brutto} - \Sigma(b - bE).t$

Untuk tekuk yang terjadi pada sayap dan badan maka :

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

Kekuatan nominal P_n untuk kolom kriteria tekuk lokal :

- Untuk kolom panjang menengah ($\lambda \sqrt{Q} \leq 2.25$), Kekuatan nominal (P_n) yaitu :

$$P_n = 0.66^{Q_s} Q F_y A_s \dots \dots \dots (3.11)$$

- Untuk kolom panjang ($\lambda \sqrt{Q} \geq 2.25$), kekuatan nominal (P_n) adalah :

$$P_n = \frac{0.88 F_y A_s}{\lambda} \dots \dots \dots (3.12)$$

3.3.3 Kapasitas Batang tarik

Kekuatan suatu batang tarik dapat diungkapkan menurut keadaan-keadaan batas yang menentukan (Puckett-Barker), yang dapat berupa :

1. Pelelehan penampang melintang brutto batang pada tempat yang jauh dari titik sambungan.
2. *Fracture* dari luas bersih efektif (yakni melalui lobang-lobang) pada sambungan.

Batang tarik terdiri dari dua kriteria yaitu :

- a. Kriteria leleh yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\Phi_y \cdot P_{ny} = \Phi_y \cdot F_y \cdot A_g \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana Φ_y adalah faktor resistan dari tabel, 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. Kriteria *fracture* dinyatakan dengan persamaan :

$$\Phi_u \cdot P_{nu} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_e \dots \dots \dots (3.14)$$

Dimana Φ_u adalah faktor resistan karena *fracture* pada batang tarik yg didapat dari tabel, P_{nu} adalah kekuatan tarik nominal untuk retakan (N), F_u adalah kekuatan tarik (Mpa), A_e adalah luas efektif (mm^2)

Untuk mereduksi permasalahan yang terkait dengan defleksi dan vibrasi berlebihan, maka ditentukan suatu kriteria kekakuan. Kriteria ini didasarkan atas rasio kelangsingan.

Syarat rasio maksimum kelangsingan untuk batang tarik dari Tabel 3.3

Tabel 3.3 Rasio maksimum kelangsingan

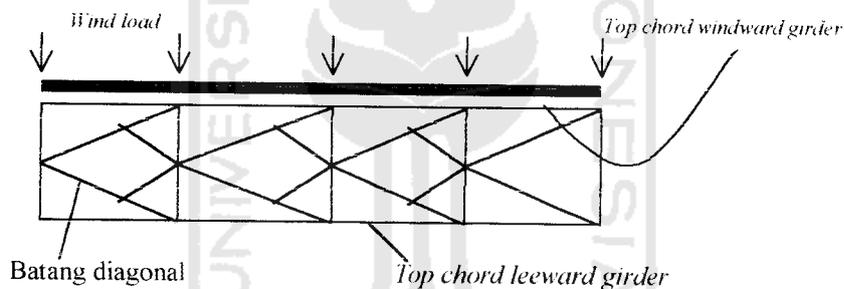
Batang tarik	Max (L / r)
Batang utama	
➤ Subject to stress reversals	140
➤ Not subject to stress reversals	200
Batang pengaku	240

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

3.3.4 Analisis Batang Pengekang (*Lateral Bracing*)

a. Batang Pengekang Lateral Atas (*Top lateral bracing*)

Dalam analisis diasumsikan bahwa batang diagonal tertentu yang akan mengalami gaya tarik sesuai dengan arah angin (Gambar 3.8).



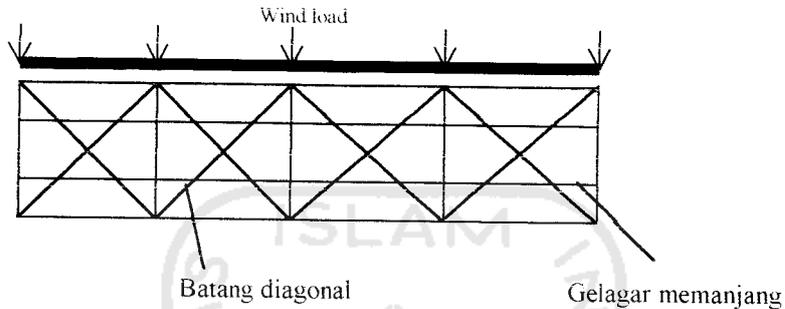
Gambar 3.8 Distribusi angin pada *Top lateral bracing*

Top lateral bracing berlaku sebagai *Simply supported horizontal girder* sehingga batang atas yang terkena angin arah depan (*Top chord windward girder*) akan mengalami tekan dan batang atas yang terkena angin isap (*Top chord leeward girder*) akan mengalami tarik.

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 akan mengalami gaya apapun (*Dummy*). Batang diagonal didesain dengan beban lateral maksimum dari *loaded span* dan *unloaded span* (Gambar 3.9).



Gambar 3.9 Distribusi angin pada *Bottom lateral bracing*

3.3.5 Kekuatan Baut

Jembatan rangka baja Krasak menggunakan sambungan baut.

Persyaratan keamanan yang diberikan LRFD untuk sambungan baut adalah :

$$\Phi \cdot R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\Phi \cdot R_n \geq P_u \dots\dots\dots (3.16)$$

Dimana Φ adalah faktor resitan, 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)

Pada Struktur Rangka jembatan Australia digunakan Baut A490 dengan ulir terpisah dari bidang geser, lihat Tabel 3.4

$$\Phi \cdot R_n = \Phi \cdot (0.60 F_u^b) = 0.65 (0.60 F_u^b) m \cdot A_b \dots\dots\dots (3.17)$$

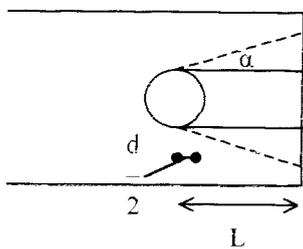
Dimana $\Phi = 0.65$, f_u^b adalah kekuatan tarik bahan baut, m adalah banyaknya bidang geser yang terlibat, A_b adalah luas penampang lintang pada arah melintang tangkai tak berulir dari baut tersebut.

Tabel 3.4 Kekuatan desain dari baut berkekuatan tinggi A490

Penyambung	f_u^b (ksi)	Kekuatan tarik (ksi)	Kekuatan geser (ksi) $\Phi=0.65$
Baut A490, bila ulir terpisah dari bidang geser	150	$\Phi(0.75 f_u^b)$ $0.75(112.5)=84.4$	$\Phi(0.60 f_u^b)$ $0.65(90.0)= 58.5$

b. Kekuatan tumpu desain

Kekuatan desain ΦR_n berdasarkan kekuatan tumpu pada lubang baut menurut LRFD untuk kondisi biasa (lubang standar atau lubang beralur pendek), jarak ujung tidak kurang dari $1.5d$, dengan jarak baut dari pusat ke pusat tidak kurang dari $3d$ dengan dua baut atau lebih pada garis gaya (Gambar 3.10)



Gambar 3.10 Kekuatan tumpu berkaitan dengan jarak ujung

Dari Gambar 3.10 dinyatakan bahwa :

$$R_n = 2t \left[L - \frac{d}{2} \right] \tau_u^p \text{ bila } \tau_u^p \approx 0.70 F_u \dots \dots \dots (3.18)$$

Dengan demikian,

$$R_n = 2t \left[L - \frac{d}{2} \right] (0.70 F_u) \dots \dots \dots (3.19)$$

$$R_n = 1.40 F_u d t \left[\frac{L}{d} - \frac{1}{2} \right] \dots\dots\dots(3.20)$$

yang dapat didekati sebagai:

$$R_n = F_u d t \left[\frac{L}{d} \right] = L t F_u \dots\dots\dots(3.21)$$

Pada lobang standar dan bercelah pendek maka :

$$\Phi . R_n = \Phi (2.4 d t F_u) \dots\dots\dots(3.22)$$

Dimana d adalah diameter nominal baut, t adalah ketebalan bagian yang disambung, Fu adalah kekuatan tarik baja yang membentuk bagian yang disambungkan.

3.3.6 Keadaan batas pada LRFD-AASHTO 1994

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

$$\Phi . R_n \geq \eta \sum \gamma_i . Q_i \dots\dots\dots(3.23)$$

Dimana Φ adalah faktor resistan, R_n adalah nominal resistan η adalah pengali beban yang berhubungan dengan daktilitas, redundan, dan kepentingan operasional, γ_i adalah faktor 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.

- Klasifikasi penampang lintang

Bentuk tampang lintang diklasifikasikan sebagai tampang kompak, nonkompak, atau langsing tergantung dari rasio lebar-tebal pada elemen tekan dan pengaku.

Tampang kompak adalah tampang yang dapat mencapai Momen Plastis (M_p) sebelum tekuk torsi lateral (*lateral torsional buckling*) atau tekuk lokal (*local buckling*) pada sayap atau badan terjadi.

Tampang nonkompak adalah tampang yang dapat menghasilkan momen lebih besar dari M_y , tapi lebih kecil dari Momen Plastis (M_p), sebelum tekuk lokal (*local buckling*) terjadi pada elemen kompresi atau tekan terjadi.

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

- Keadaan Batas

Keadaan batas pada kekuatan (*Strenght Limit State*)

a. Untuk tampang kompak

$$M_r = \Phi_f \cdot M_n \dots \dots \dots (3.24)$$

Dimana Φ_f adalah faktor resistensi

$$M_n = M_p \dots \dots \dots (3.25)$$

b. Untuk tampang nonkompak

$$F_r = \Phi_f \cdot F_n \dots \dots \dots (3.26)$$

Dimana F_n = ketahanan nominal dari tampang nonkompak

Untuk ketahanan nominal lendutan pada profil I dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Keadaan Batas Kekuatan (*Strength Limit State*) Profil I Nonkomposit pada daerah lendutan positif dan negatif

	Compact	Non compact	Slender
Nominal Flexural resisten	$M_n = M_p$	$F_n = R_b \cdot F_{yc}$	$F_n \leq R_b \cdot F_{yc}$
Web slenderness	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	With longitudinal stiffeners $\frac{2D_c}{t_w} \leq 6.77 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$	If $L_b > L_r$ $\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_b \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$
Compression flange slenderness	$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	Without longitudinal stiffeners $\frac{2D_c}{t_w} \leq 11.63 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$ $\frac{b_f}{2t_f} \leq 1.38 \sqrt{\frac{E}{f_c} \sqrt{\frac{2D_c}{t_w}}}$	$\frac{b_f}{2t_f} \leq 2.52 \sqrt{\frac{E}{F_{yc} \sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}}}}$
Compression flange bracing	$L_b \leq \left[0.124 - 0.0759 \left(\frac{M_1}{M_p} \right) \right] \left(\frac{r_y E}{F_{yc}} \right)$	$L_b \leq L_p = 1.76 r' \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L_r = \sqrt{\frac{2\pi^2 I_{yc} \cdot d \cdot E}{S_{xc} \cdot F_{yc}}}$ $L_p < L_b \leq L_r$ $L_b > L_r$

Pada Struktur jembatan rangka baja Krasak digunakan Batas Kekuatan

(*Strenght limit II*). Resistan faktor dari kondisi kekuatan batas diberikan dari Tabel 3.6

Tabel 3.6 Faktor resistan untuk kondisi kekuatan batas

Keterangan model	Faktor resistan
Lendutan	$\Phi_f = 1.00$
Kompresi aksial pada baja	$\Phi_c = 0.90$
Tarik, Leleh di tampang lintang	$\Phi_y = 0.95$

b. Keadaan batas layan (*Service Limit*)

Pada rangka jembatan Krasak digunakan Batas layan I (*Service limit I*) untuk beban kendaraan atau beban hidup. Keadaan batas layan (*Service Limit*) adalah terhadap defleksi dengan syarat nilai defleksi ditengah bentang $\leq L/800$ dimana L adalah panjang bentang jembatan.