

**PENAMPANG BAJA PADA BALOK MENERUS  
BERDASARKAN SNI 03-1729-2002  
(STUDI LITERATUR)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana**

**Oleh :**

**MUHAMMAD TAUFIQ PANJAITAN**

**NIM : 08. 811. 0019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2010**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

# PENAMPANG BAJA PADA BALOK MENERUS BERDASARKAN SNI 03-1729-2002 (STUDI LITERATUR)



Oleh:

MUHAMMAD TAUFIQ PANJAITAN  
NIM: 08.811.0019

Disetujui:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

  
Ir. H. Edy Hermanto, MT

  
Ir. Nurmaidah, MT

Mengetahui:

Dekan,

Ka. Program Studi,

  
Ir. Hj. Haniza AS, MT

  
Ir. H. Edy Hermanto, MT

Tanggal Lulus: 12 Agustus 2010

UNIVERSITAS MEDAN AREA

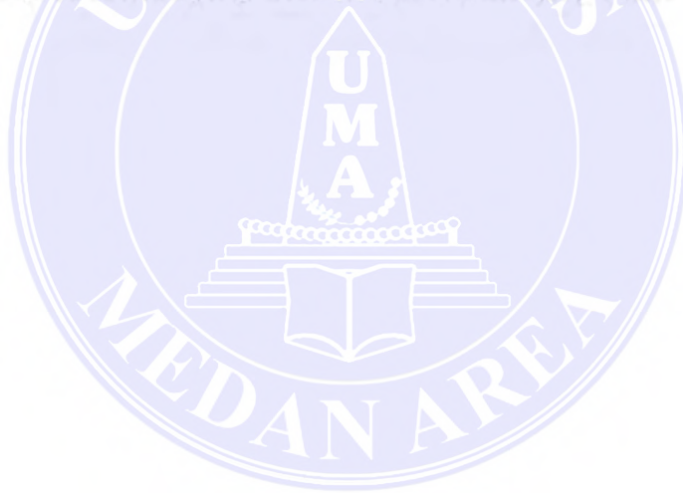
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

## ABSTRAK

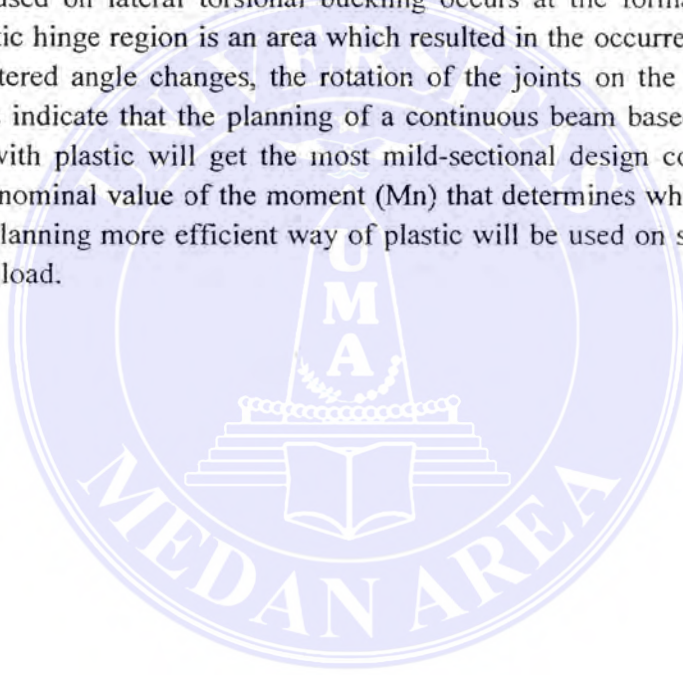
Balok menerus adalah bagian dari struktur yang merupakan gabungan dari beberapa balok sederhana yang digabungkan dengan satu hubungan yang mampu menahan momen. Hubungan ini akan menguntungkan karena efek kontinuitas dari pembebanan pada bentang yang satu akan disalurkan ke bentang yang lain sehingga momen lentur yang dialami akan semakin kecil. Hal ini akan menguntungkan dalam perencanaannya. Konsep perencanaan elastis dan plastis pada stuktur baja khususnya balok menerus telah mengalami penyempurnaan dari peraturan terdahulu yakni PPBBI menjadi SNI 03-1729-2002. Perubahan yang diberikan dapat dilihat dari metode perencanaan yang difokuskan pada tekuk puntir lateral yang terjadi pada daerah terbentuknya sendi plastis. Daerah sendi plastis merupakan daerah terjadinya momen plastis yang mengakibatkan perubahan sudut terpusat, rotasi sendi pada daerah pembebanan tersebut. Tugas Akhir ini memperlihatkan bahwa perencanaan terhadap balok menerus berdasarkan SNI 03-1729-2002 dengan cara plastis akan mendapatkan hasil perancangan penampang yang paling ringan dibandingkan dengan cara elastis selama nilai momen nominal ( $M_n$ ) yang bekerja yang menentukan dalam perancangan. Dengan perencanaan cara plastis akan lebih efisien digunakan pada struktur yang memikul pembebanan yang besar.





## ABSTRACT

Continuous beam is part of the structure is a combination of several simple beam combined with a relationship that can withstand the moment. This relationship will benefit from the effects of loading on the continuity of the landscape that will be channeled to one another so that the landscape experienced by the bending moment will be smaller. This will be beneficial in planning. The concept of elastic and plastic design of steel structures, particularly on a continuous beam has been revised from the previous regulations PPBBI become SNI 03-1729-2002. Given the changes can be seen from the planning methods that are focused on lateral torsional buckling occurs at the formation of joint plastas. Plastic hinge region is an area which resulted in the occurrence of plastic moment centered angle changes, the rotation of the joints on the loading area. Final figures indicate that the planning of a continuous beam based on SNI 03-1729-2002 with plastic will get the most mild-sectional design compared with elastic for a nominal value of the moment ( $M_n$ ) that determines who work in the design. By planning more efficient way of plastic will be used on structures that carry a large load.



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBARAN JUDUL</b>	
<b>LEMBARAN PENGESAHAN PEMBIMBING</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	ix
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	1
1.3 Permasalahan.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Umum .....	4
2.2 Konsep Dasar LRFD .....	5
2.3 Desain LRFD Struktur Baja.....	6
2.3.1. Faktor Beban .....	6
2.3.2. Faktor Tahanan.....	7

2.5	Lentur Sederhana Profil Simetris.....	9
2.6	Perilaku Balok Terkekang Lateral .....	10
2.7	Desain Balok Terkekang Lateral .....	12
2.7.1.	Penampang kompak .....	13
2.7.2.	Penampang tak kompak.....	13
2.8	Lendutan Balok.....	14
2.9	Geser Pada Penampang Gilas .....	14
2.10.	Beban Terpusat Pada Balok.....	16
2.11.	Tekuk Torsi Lateral.....	20
2.11.1.	Perilaku Balok I Akibat Beban Momen Seragam .....	21
2.11.2.	Tekuk Torsi Lateral Elastis.....	23
2.11.3.	Tekuk Torsi Inelastis.....	30
2.11.4.	Desain LRFD Balok I.....	32

### **BAB III. RENCANA DIMENSI GELAGAR**

3.1	Umum.....	38
3.2	Kasus I.....	38
3.2.1.	Perhitungan secara elastis .....	40
3.2.2.	Perhitungan secara plastis .....	50
3.3	Kasus II.....	59
3.3.1.	Perhitungan secara elastis.....	59
3.3.2.	Perhitungan secara elastis .....	62

<b>BAB IV. KESIMPULAN</b> .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia standart perencanaan struktur baja untuk pembangunan gedung telah disempurnakan dari Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) tahun 1983 berubah menjadi SNI 03-1729-2002. Perubahan tersebut dapat dilihat dari konsep perencanaannya, faktor-faktor reduksi, kombinasi beban-beban terfaktor dan persyaratan lain yang harus dipenuhi untuk perencanaan dalam merancang struktur baja.

Dalam peraturan baja SNI 03-1729-2002 terdapat dua metode perancangan yang diperbolehkan, yaitu perancangan dengan cara elastis dan plastis. Keduanya memiliki konsep perancangan yang berbeda dalam perencanaan baja. Oleh sebab itu, dalam perencanaan struktur baja tersebut berdasarkan nilai perbandingan antara kekuatan berat (kekuatan per satuan berat), metode perencanaan yang sesuai dengan permasalahan tersebut adalah metode plastis. Untuk membuktikan hal tersebut maka dengan ini penulis memilih judul " Penampang Baja Pada Balok Menerus Berdasarkan SNI 03-1729-2002".

### 1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan ini adalah untuk menentukan dimensi penampang yang efisien dan kuat dalam memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan struktur baja yang aman dan ekonomis.



Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membuktikan hasil perhitungan berdasarkan analisa elastis dengan analisa plastis pada balok menerus berdasarkan SNI 03-1729-2002.

### 1.3 Permasalahan

Berdasarkan uraian di atas permasalahan yang muncul antara lain:

1. Untuk menghitung Momen Nominal ( $M_n$ ) dalam merencanakan balok menerus, metode perhitungan dilakukan antara lain:
  - a. Metode elastis
    - Metode kekakuan
    - Metode gaya
  - b. Metode Plastis
    - Metode keseimbangan
    - Metode energi
    - Program linear (*Linear Programming*)
2. Perencanaan tumpuan (plat landasan balok) dan sambungan pada balok.
3. Profil yang digunakan pada balok berupa profil I, W, C, M dan lain-lain.
4. Pengaruh efek lintang terhadap momen plastis.
5. Panjang daerah sendi plastis ditempat terjadinya momen plastis.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan, maka dilakukan pembatasan masalah yaitu:

1. Perencanaan balok menerus berdasarkan mekanika plastis dan elastis.
2. Daerah sendi plastis yang terjadi dianggap hanya pada satu titik sehingga panjang daerah sendi plastisnya sama dengan nol.
3. Profil yang digunakan dalam perencanaan balok adalah profil W

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini akan disusun dengan sistematika sebagai berikut:

##### Bab 1. Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang pengambilan topik penulisan disertai tujuan, permasalahan serta pembatasan permasalahan.

##### Bab 2. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang perencanaan balok menerus dengan cara elastis dan plastis serta peraturan-peraturan yang harus dipenuhi dalam merencanakan balok menerus baja berdasarkan SNI 03-1729-2002.

##### Bab 3. Disain Balok Menerus Baja Berdasarkan SNI 03-1729-2002

Bab ini menunjukkan perbandingan perencanaan balok menerus baja dengan metode elastis dan plastis berdasarkan contoh-contoh kasus dengan variasi pembebanan (data pembebanan diambil berdasarkan asumsi bebas).

##### Bab 4. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Salah satu tujuan dari perencanaan Struktur Baja menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung adalah untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan. Suatu struktur disebut stabil jika tidak mudah terguling, miring atau tergeser selama umur rencana bangunan. Resiko terhadap kegagalan struktur dan hilangnya kemampuan layan selama umur rencananya juga harus diminimalisir dalam batas-batas yang masih dapat diterima.

Perencanaan adalah suatu proses untuk mendapatkan suatu hasil yang optimum. Suatu konstruksi dikatakan optimum apabila dipenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

- a. Biaya minimum
- b. Berat minimum
- c. Waktu konstruksi minimum
- d. Tenaga kerja minimum
- e. Manfaat minimum pada masa layan

Kerangka perencanaan struktur adalah pemilihan susunan dan ukuran dari elemen struktur sehingga beban yang bekerja dapat dipikul secara aman dan



perpindahan yang terjadi masih dalam batas-batas yang disyaratkan. Prosedur perencanaan struktur secara iterasi dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Perancangan.

Penerapan fungsi dari struktur.

2. Penerapan konfigurasi struktur awal sesuai langkah 1 termasuk pemilihan jenis material yang akan digunakan.

3. Penerapan beban kerja struktur

4. Pemilihan awal bentuk dan ukuran elemen berdasarkan langkah 1, 2 dan 3.

5. Analisa struktur

untuk memperoleh gaya-gaya dalam dan perpindahan elemen

6. Evaluasi

Apakah perancangan sudah optimum sesuai yang diharapkan

7. Perencanaan ulang langkah 1 sampai 6

8. Perencanaan akhir, apakah langkah 1 sampai 7 sudah memberikan hasil optimum.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 2)

## 2.2 Konsep Dasar LRFD

Ada dua filosofi yang sering digunakan dalam perencanaan struktur baja yaitu perencanaan berdasarkan tegangan kerja atau working stress design (Allowabel Stress Design/ASD) dan perencanaan kondisi batas atau limit state design (Load and Resistance Factors Design/LRFD).

Menurut ASD dalam perencanaan struktur baja telah digunakan dalam kurun waktu lebih kurang 100 tahun. Dan dalam 20 tahun terakhir perencanaan



struktur baja mulai beralih ke konsep LRFD yang jauh lebih rasional dengan berdasarkan pada konsep probabilitas.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 5)

### 2.3 Desain LRFD Struktur Baja

Secara umum struktur dikatakan aman apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\Phi R_n \geq \gamma_i \cdot Q_i$$

dimana:  $R_n$  = beban yang harus dipikul struktur

$\Phi R_n$  = tahanan rencana

$Q_i$  = Macam beban

$\gamma_i$  = Faktor beban

$\gamma_i \cdot Q_i$  = jumlah beban terfaktor

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 11)

#### 2.3.1 Faktor Beban

Menurut Peraturan Baja Indonesia, SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2 mengenai kombinasi pembebanan, bahwa dalam perencanaan suatu struktur baja haruslah diperhatikan jenis-jenis kombinasi pembebanan sebagai berikut:

- a. 1,4D
- b. 1,2 + 1,6L + 0,5 (L<sub>a</sub> atau H)
- c. 1,2D + 1,6(L<sub>a</sub> atau H) + (γ<sub>L</sub> .L atau 0,8W)

d.  $1,2D + 1,3W + \gamma_L \cdot L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$

e.  $1,2D + 1,0E + \gamma_L \cdot L$

f.  $0,9D + (1,3W \text{ atau } 1,0E)$

dimana:

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.

$L_a$  = beban hidup diatap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

H = beban hujan, tidak termasuk yang disebabkan genangan air

W = beban angin

E = beban gempa yang ditentukan dari peraturan gempa  $\gamma_L = 0,5$  bila  $L < 5$  kPa dan  $= 1$  bila  $L \geq 5$  kPa. Faktor beban untuk L harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah yang memikul beban hidup lebih besar dari 5 kPa.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 11)

### 2.3.2 Faktor Tahanan

Faktor tahanan dalam perencanaan struktur baja berdasarkan metode LRFD ditentukan dalam SNI 03-1729-2002, tabel 6.4-2 sebagai berikut:

a. Komponen struktur yang memikul lentur..... $\Phi = 0,90$

- b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial..... $\Phi = 0,85$
- c. Komponen struktur yang memikul gaya tarik
  - 1. Terhadap kuat tarik leleh..... $\Phi = 0,90$
  - 2. Terhadap kuat tarik fraktur..... $\Phi = 0,75$
- d. Komponen struktur yang memikul gaya aksial dan lentur..... $\Phi = 0,90$
- e. Komponen struktur komposit
  - 1. Kuat tekan..... $\Phi = 0,85$
  - 2. Kuat tumpu beton..... $\Phi = 0,60$
  - 3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastis..... $\Phi = 0,85$
  - 4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastis..... $\Phi = 0,9$
- f. Sambungan baut..... $\Phi = 0,75$
- g. Sambungan las
  - 1. Las tumpul penetrasi penuh..... $\Phi = 0,90$
  - 2. Las sudut, las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi..... $\Phi = 0,75$

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 13)

#### 2.4. Material Baja dan Sifat-sifatnya

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil sifat-sifat mekanik dari material baja yang sama .

Modulus Elastisitas	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Modulus Geser	$G = 80.000 \text{ MPa}$
Angka Poisson	$= 0,30$
Koefisien Muai Panjang	$\alpha = 12. 10 \text{ / } ^\circ\text{C}$



Berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dari material baja menjadi 5 (lima) kelas mutu baja.

Tabel 2.1: Mutu dari material baja menurut SNI 03-1729-2002

Jenis Baja	Tegangan putus maksimum $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh Minimum $f_y$ (MPa)	Regangan Minimum (%)
Bj 34	340	210	22
Bj 37	370	240	20
Bj 41	410	250	18
Bj50	500	290	16
Bj 55	550	410	13

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 15)

Menurut Kuzmanovic dan Willem (1977), mendefinisikan daktilitas material baja sebagai ratio antara  $\epsilon_{sh}$  dengan  $\epsilon_y$  adalah  $\psi = \epsilon_{sh} / \epsilon_y$

### 2.5 Lentur Sederhana Profil Simetris

Rumus perhitungan tegangan akibat lentur pada penampang profil yang mempunyai minimal satu sumbu simetri dan dibebani pada pusat gesernya, dapat dihitung dengan menggunakan umum sebagai berikut:

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} \text{ atau}$$

$$f = \frac{M_x}{I_x} c_y + \frac{M_y}{I_y} c_x$$



dimana:  $f$  = tegangan lentur

$M_x$  dan  $M_y$  = momen lentur arah x dan y

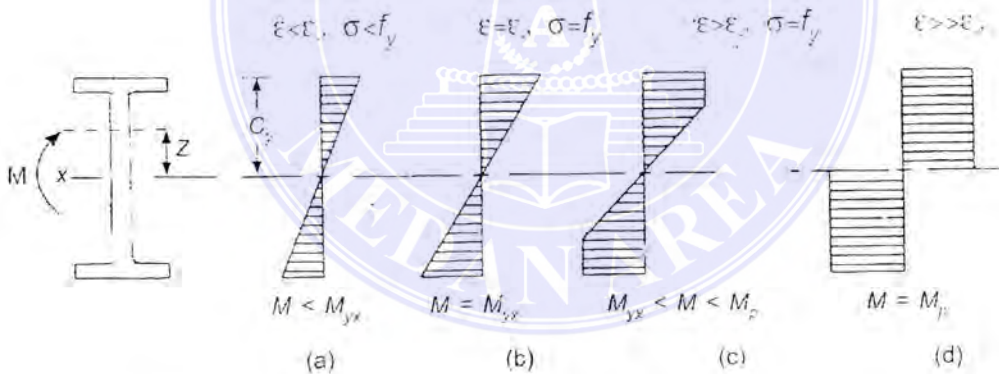
$S_x$  dan  $S_y$  = modulus penampang arah x dan y

$c_x$  dan  $c_y$  = jarak dari titik berat ke tepi serat arah x dan y

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 81)

## 2.6 Perilaku Balok Terkekang Lateral

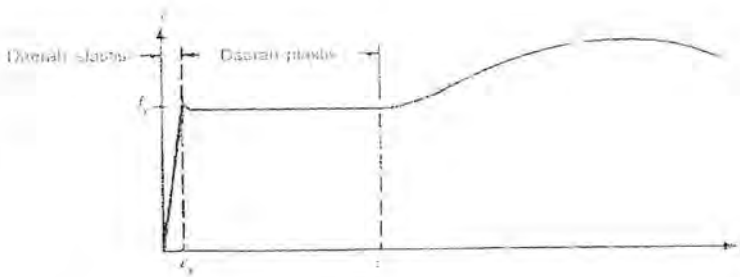
Pada gambar dibawah ini diperlihatkan distribusi tegangan pada sebuah penampang WF akibat momen lentur. Pada daerah beban layan, penampang masih dalam keadaan elastik, kondisi elastik berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya ( $f_y$ ) (Gambar 2.1.a).



Gambar 2.1 Distribusi tegangan pada beban yang berbeda

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 82)

Setelah mencapai regangan leleh ( $\epsilon_y$ ), regangan akan terus naik tanpa diikuti oleh kenaikan tegangan (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Diagram Tegangan -Regangan Material Baja

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 83)

Ketika kuat leleh tercapai pada serat terluar, tahanan momen nominal sama dengan momen leleh  $M_{yx}$  dan besarnya adalah:

$$M_n = M_{yx} = S_x \cdot f_y$$

Dan pada saat kondisi gambar 2.1.d tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi plastis. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis  $M_p$  yang besarnya:

$$M_p = f_y \cdot \int y \cdot dA = f_y \cdot Z$$

Dimana:  $Z$  = modulus plastis

$$\sigma = f_y$$

Selanjutnya istilah faktor bentuk, merupakan perbandingan antara modulus plastis dengan modulus tampang yaitu:

$$SF = \xi = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S}$$

Untuk profil WF yang melentur arah sumbu kuat (sumbu x), faktor bentuk berkisar antara 1,09 sampai 1,18 atau umumnya 1,12. Dalam arah sumbu lemah (sumbu y), nilai faktor bentuk mencapai 1,5.

## 2.7 Desain Balok Terkekang Lateral

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi syarat:

$$\Phi_b \cdot M_n > M_u$$

Dimana:  $\Phi_b = 0,90$

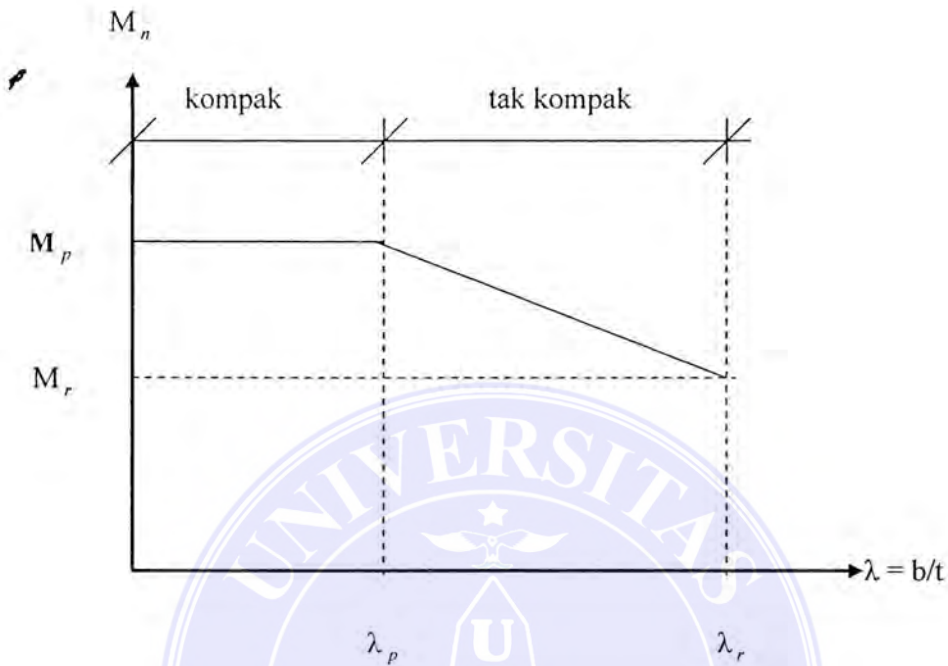
$M_n$  = tahanan momen nominal

$M_u$  = momen lentur akibat beban terfaktor

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak dan langsing. Batasan penampang kompak, tak kompak dan langsing adalah:

1. Penampang kompak, apabila :  $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tak kompak, apabila :  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Penampang langsing, apabila :  $\lambda > \lambda_r$

(Sumber : *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Halaman 85)



Gambar 2.3 Tahanan Momen Nominal Penampang Kompak dan Tak Kompak

### 2.7.1 Penampang Kompak

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak:

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y$$

Dimana:  $M_p$  = tahanan momen plastis

$Z$  = modulus plastis

$f_y$  = kuat leleh

### 2.7.2 Penampang Tak Kompak

Tahanan momen nominal pada saat  $\lambda = \lambda_r$  adalah:  $M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S$

Dimana:  $f_y$  = tahanan leleh;  $f_r$  = Tegangan sisa;  $S$  = modulus penampang.



Besarnya tegangan sisa  $f_r = 70$  Mpa untuk penampang gelas panas dan 115 Mpa untuk penampang yang dilas

Bagi penampang tak kompak yang mempunyai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ , maka besarnya tahanan momen nominal dicari dengan melakukan interpolasi linier, sehingga diperoleh:

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} M_r$$

Dimana:  $\lambda = \text{kelangsingan penampang balok} = \frac{b}{2t_f}$

$\lambda_r$  dan  $\lambda_p$  lihat tabel

## 2.8 Lendutan Balok

Besarnya lendutan yang timbul pada balok yang diperkenankan dalam SNI 03-1729-2002 terdapat pada pasal 6.4.3. Pada pasal ini lendutan maksimum untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah sebesar  $L/360$ , sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh lebih dari  $L/240$ . Pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layan yang baik.

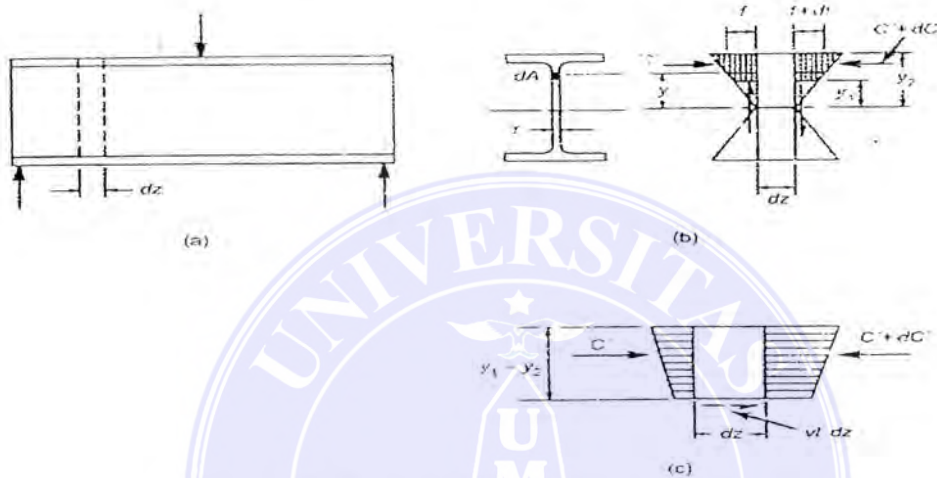
(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 88)

## 2.9 Geser Pada Penampang Gilas

Perencanaan balok pada bentang panjang biasanya lebih ditentukan oleh syarat lendutan dari pada syarat tahanan.. Balok-balok dengan bentang menengah, ukuran profil lebih ditentukan akibat lentur pada balok. Namun demikian pada

balok-balok dengan bentang pendek, tahanan geser lebih menentukan dalam pemilihan profil.

✦ Untuk menurunkan persamaan tegangan geser untuk penampang yang simetri, dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Penurunan Persamaan Tegangan Geser

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 92)

Pandang potongan sepanjang dz dari balok (gambar 2.4.a) bila tegangan geser satuan v, bekerja sejarak  $y_1$  dari sumbu netral, maka dari gambar 2.4.c diperoleh:

$$dC' = v.t.dz \dots \dots \dots (1)$$

Dan gaya horizontal akibat momen lentur adalah:

$$C' = \int_{y_1}^{y_2} f.dA \dots \dots \dots (2)$$

$$C' + dC' = \int_{y_1}^{y_2} (f + df)dA \dots \dots \dots (3)$$

$$dC' = \int_{y1}^{y2} df \cdot dA \dots\dots\dots(4)$$

$$df = \frac{dM \cdot y}{I} \dots\dots\dots(5)$$

$$dC' = \int_{y1}^{y2} \frac{dM \cdot y}{I} \cdot dA = \frac{dM}{I} \int_{y1}^{y2} y \cdot dA \dots\dots\dots(6)$$

dari persamaan (6) dan persamaan (2) diperoleh:

$$v = \frac{dM}{dz} \frac{1}{I} \int_{y1}^{y2} y \cdot dA \dots\dots\dots(7)$$

mengingat bahwa  $V = \frac{dM}{dz}$ , serta  $Q = \int_{y1}^{y2} y \cdot dA$ , maka diperoleh persamaan

tegangan geser:

$$v = \frac{V \cdot Q}{t \cdot I} \dots\dots\dots(8)$$

dimana: V = gaya geser

Q = statis momen terhadap garis netral

I = momen inertia

Terkadang untuk menghitung tegangan geser, digunakan rumus pendekatan yang merupakan harga rata-rata luas penampang web, dengan mengabaikan efek lobang alat sambung. Persamaan geser tersebut dapat ditulis sebagai berikut;

$$f_v = \frac{V}{Aw} = \frac{V}{d \cdot t_w} \dots\dots\dots(9)$$

### 2.10 Beban Terpusat Pada Balok

Untuk balok yang dibebani beban terpusat, leleh lokal akibat tegangan tekan yang tinggi diikuti tekuk inelastik pada daerah web akan terjadi di sekitar

lokasi beban terpusat tersebut. Gaya tumpu yang diperlukan ( $R_u$ ) pada web harus

memenuhi:  $R_u < \Phi \cdot R_n$

Dimana;  $\Phi$  = faktor reduksi

$R_n$  = kuat tumpu nominal pelat web akibat beban terpusat

Apabila persamaan dipenuhi, maka tak diperlukan pengaku (*stiffener*) pada pelat web. Besarnya  $R_n$  menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.10:

### 1. Lentur lokal pada flens

$$R_n = 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_{yf} ; \Phi = 0,90$$

### 2. Leleh lokal pada web

$$R_n = (\alpha \cdot k + N) \cdot f_{yw} \cdot t_w$$

$$\alpha = 5, \text{ bila } j > d$$

$$\alpha = 2,5, \text{ bila } j \leq d$$

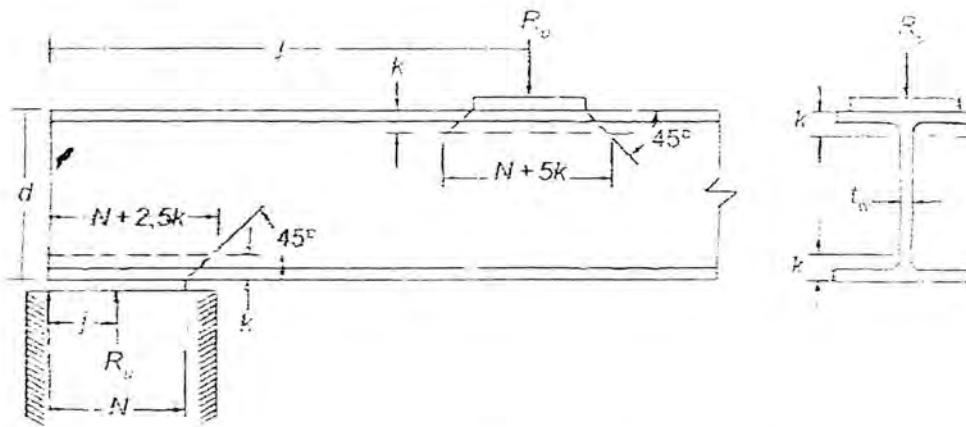
$$\Phi = 1$$

k adalah tebal pelat sayap di tambah jari-jari peralihan dalam mm

N adalah dimensi longitudinal pelat perletakan, minimal sebesar k dalam mm.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 94)





Gambar 2.5 Balok dengan Beban Terpusat

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 95)

### 3. Lipat pada web

$$R_n = \alpha \cdot t_w^2 \left[ 1 + \eta \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_{yf} \cdot I_f}{t_w}}$$

Untuk  $\alpha = 0,79$ , bila  $j > d/2$  ;  $\eta = 3 N/d$

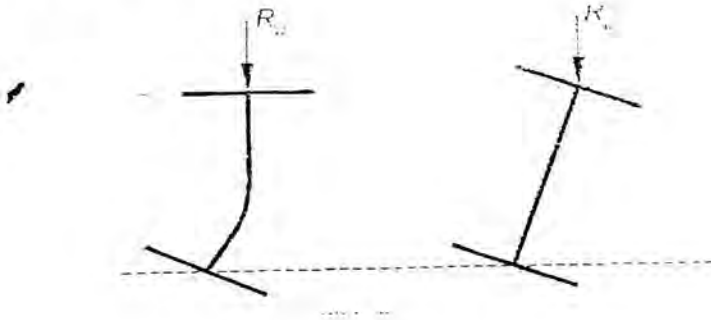
Untuk  $\alpha = 0,39$ , bila  $j \leq d/2$  dan  $\eta = 3 N/d$  jika  $N/d \leq 0,2$

$$\eta = \left( \frac{4N}{d} - 0,2 \right) \text{ jika } N/d > 0,2$$

$$\Phi = 0,75$$

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 95)

#### 4. Tekuk web bergoyang



Gambar 2.6 Tekuk web bergoyang

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 96)

Ada dua kasus pada tekuk web bergoyang yaitu:

- a. Bila sisi flens yang tertekan dikekang terhadap rotasi pada sisi kerja  $R_u$  :

$$\text{Jika } \frac{h}{t_w} \cdot \frac{b_f}{L_b} \leq 2,3$$

$$R_n = \frac{C_r \cdot E J_w^3 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0,4 \left( \frac{h}{t_w} \cdot \frac{b_f}{L_b} \right)^3 \right]$$

$$\text{Jika } \frac{h}{t_w} \cdot \frac{b_f}{L_b} > 2,3$$

$$R_n = \infty$$

- b. Jika sisi flens yang tertekan tak dikekang terhadap rotasi pada sisi kerja

$$R_u$$

$$\text{Jika } \frac{h}{t_w} \cdot \frac{b_f}{L_b} \leq 1,7$$

$$\text{Jika } \frac{h}{t_w} \cdot \frac{b_f}{L_b} > 1,7$$

$$R_n = \infty$$

$$C_r = 3,25, \text{ bila } M \leq M_y$$

$$C_r = 1,62, \text{ bila } M > M_y$$

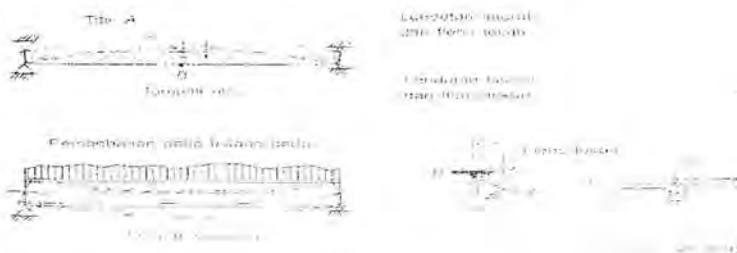
#### 4. Lentur pada pelat web

$$R_n = \frac{24,08 J_w^3}{h} \sqrt{E \cdot f_{yw}}$$

$$\Phi = 0,90$$

#### 2.11 Tekuk Torsi Lateral

Menurut teori secara umum, pembebanan pada web balok akan menghasilkan tegangan yang sama besar antara sisi yang mengalami tekan dan mengalami tarik. Pada gambar 2.7 dibawah ini, tegangan yang timbul sama besarnya antar titik A dan B. Dengan adanya ketidaksempurnaan balok dan eksentrisitas beban, maka mengakibatkan perbedaan tegangan antara A dan B. Tegangan residu juga mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak sama sepanjang lebar sayap.



Gambar 2.7 Balok Terkekang Lateral pada Ujung-ujungnya

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 179)

Flens tekan dari balok dapat dianggap sebagai kolom. Sayap yang diasumsikan sebagai kolom ini akan tertekuk dalam arah lemahnya akibat lentur dalam terhadap suatu sumbu 1-1. Namun karena web balok memberikan sokongan untuk mencegah tekuk dalam arah ini, maka flens akan cenderung tertekuk oleh lentur pada sumbu 2-2, karena bagian tarik dari balok berada dalam kondisi stabil, maka proses tekuk lentur dalam arah lateral tersebut akan dibarengi dengan proses torsi sehingga terjadilah tekuk torsi (*Lateral Torsional Buckling*).

Ada dua macam kategori sokongan lateral yaitu:

1. Sokongan lateral menerus yang diperoleh dengan menanamkan flens tekan balok ke dalam pelat lantai beton
2. Sokongan lateral pada jarak-jarak tertentu yang diberikan oleh balok atau rangka melintang dengan kekakuan yang cukup

(Sumber : *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 179*)

### 2.11.1 Perilaku Balok I Akibat Beban Momen Seragam

Untuk menurunkan persamaan desain balok yang mengalami tekuk torsi lateral, digunakan ilustrasi sebuah balok yang menerima beban momen seragam yang tidak terkekang secara lateral. Beban momen seragam tersebut menyebabkan Tekanan konstan pada satu flens sepanjang bentang tak terkekang. Jika ada variasi momen, maka gaya tekan dalam flens bervariasi sepanjang bentang tak terkekang. Hal ini mengakibatkan gaya tekan rata-rata yang lebih rendah sepanjang bentang tersebut. Gaya tekan rata-rata yang lebih rendah ini mengurangi peluang terjadinya tekuk torsi lateral.

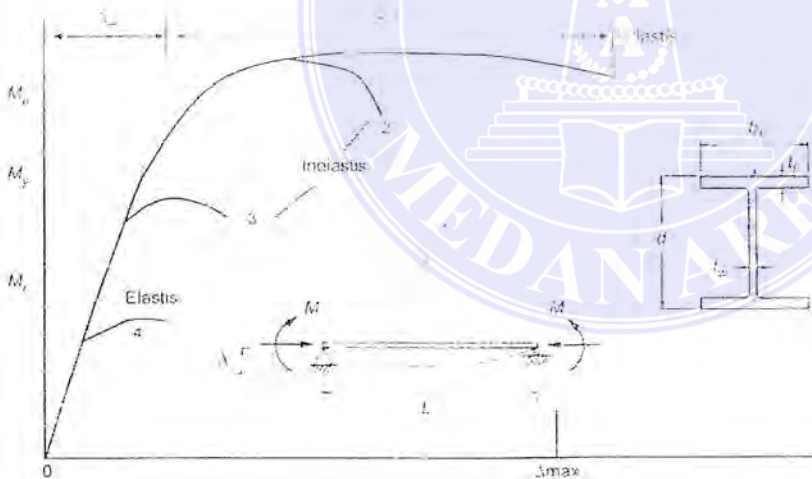


Tekuk torsi lateral adalah kondisi batas yang menentukan kekuatan sebuah balok. Sebuah balok mampu memikul momen maksimum hingga mencapai momen plastis ( $M_p$ ). Tercapai atau tidaknya momen plastis, keruntuhan dari sebuah struktur balok adalah salah satu dari peristiwa berikut:

1. Tekuk lokal dari flens tekan
2. Tekuk lokal dari web dalam tekan lentur
3. Tekuk torsi lateral

Ketiga macam keruntuhan tersebut dapat terjadi pada kondisi elastis maupun elastis.

Dibawah ini ditunjukkan perilaku sebuah balok yang memikul momen konstan  $m$  dengan bentang tak terkekang  $L$  (gambar 2.8).



Gambar 2.8 Balok dengan Beban Momen Konstan tanpa Kekangan Lateral

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 180)

Ada empat kategori dari perilaku balok tersebut yaitu:

1. Jika  $L$  cukup kecil ( $L < L_{pd}$ ), maka momen plastis  $M_p$  tercapai dengan

deformasi yang besar. Deformasi yang besar ditunjukkan oleh kapasitas

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

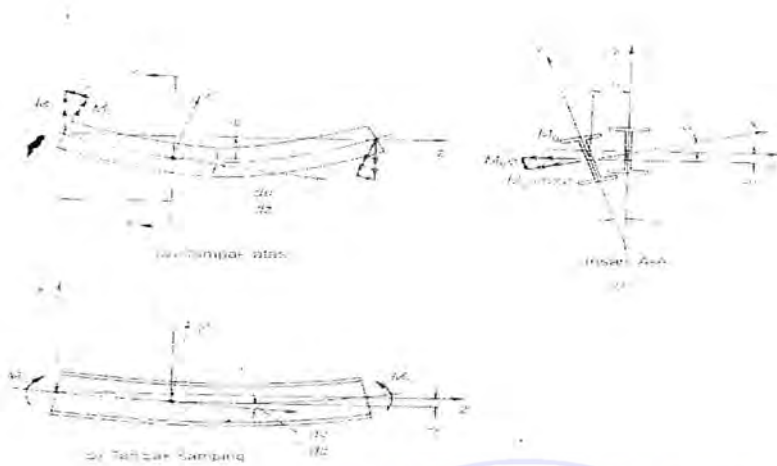
rotasi  $R \cdot \Delta_H$ , dengan  $R \geq 3$  adalah faktor daktilitas. Kemampuan berdeformasi adalah kemampuan menerima regangan flens yang besar dengan stabil (Kurva 1 pada gambar 2.8)

2. Jika  $L$  diperbesar sehingga  $L_{pd} < L < L_p$ , maka balok dapat mencapai  $M_p$  namun dengan kapasitas rotasi yang lebih kecil ( $R < 3$ ). Hal ini karena kurang cukupnya kekakuan flens dan/atau web untuk menahan tekuk lokal, atau kurangnya sokongan lateral untuk menahan tekuk torsi lateral (Kurva 2 pada gambar 2.8).
3. Bila panjang batang tak terkekang diperbesar lagi ( $L_p < L < L_r$ ), maka  $M$  hanya mampu mencapai  $M_p$  dengan kapasitas rotasi yang sangat terbatas. Tekuk lokal flens dan web serta tekuk torsi lateral mencegah tercapainya  $M_p$ .
4. Perilaku elastis ( $L_r < L$ ), dengan tahanan momen  $M_{cr}$  ditentukan oleh tekuk elastis, serta tekuk lokal flens, tekuk lokal web dan tekuk torsi lateral.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 178-179)

### 2.11.2 Tekuk Torsi Lateral Elastis

Untuk penurunan persamaan pada balok I yang mengalami tekuk torsi lateral elastis akibat beban momen seragam  $M_0$ , dapat dilihat pada gambar dibawah ini, dimana menggambarkan posisi sebuah balok I yang tertekuk.



Gambar 2.9 Balok I dengan Beban Momen Seragam  $M_0$

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 181)

Beban momen  $M_0$  yang diberikan pada bidang  $yz$  dapat diuraikan terhadap sumbu  $x',y'$  dan  $z'$  menjadi komponen-komponennya yaitu  $M_{x'}$ ,  $M_{y'}$  dan  $M_{z'}$ . Dengan mengasumsikan deformasi kecil, maka kelengkungan pada bidang  $y'z'$  dapat ditulis menjadi:

$$E.I_x \frac{d^2v}{dz^2} = M_{x'} = M_0 \dots\dots\dots (1)$$

Demikian juga pada bidang  $x'z'$

$$E.I_y \frac{d^2u}{dz^2} = M_{y'} = M_0 \cdot \Phi \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan diferensial untuk balok I yang menerima beban torsi adalah:

$$M_{z'} = GJ \frac{d\Phi}{dz} - E.C_w \frac{d^3\Phi}{dz^3} \dots\dots\dots (3)$$

Dari gambar 2.9 diperoleh hubungan:

$$M_{z'} = - \frac{du}{dz} \cdot M_0 \dots\dots\dots (4)$$



Persamaan (3) sama dengan persamaan (4), maka diperoleh:

$$-\frac{du}{dz} \cdot M_0 = GJ \frac{d\Phi}{dz} - E.C_w \frac{d^3\Phi}{dz^3} \dots\dots\dots(5)$$

Diferensial persamaan (5) ke z diperoleh:

$$-\frac{d^2u}{dz^2} \cdot M_0 = GJ \frac{d^2\Phi}{dz^2} - E.C_w \frac{d^4\Phi}{dz^4} \dots\dots\dots(6)$$

Dari persamaan (2) dapat dituliskan hubungan:

$$\frac{d^2u}{dz^2} = \frac{M_0 \cdot \Phi}{E.I_y} \dots\dots\dots(7)$$

Substitusikan persamaan (7) ke persamaan (6):

$$E.C_w \frac{d^4\Phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2\Phi}{dz^2} - \frac{M_0 \cdot \Phi}{E.I_y} = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Misalkan } \frac{GJ}{E.C_w} = 2\alpha \text{ dan } \frac{M_0^2}{E^2 \cdot C_w \cdot I_y} = \beta \dots\dots\dots(9)$$

maka persamaan (8) menjadi:

$$\frac{d^4\Phi}{dz^4} - 2\alpha \frac{d^2\Phi}{dz^2} - \beta\Phi = 0 \dots\dots\dots(10)$$

Untuk mendapatkan solusi dari persamaan (10), misalkan:

$$\Phi = A \cdot e^{mz} \dots\dots\dots(11a)$$

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} = A \cdot m^2 \cdot e^{mz} \dots\dots\dots(11b)$$

$$\frac{d^4\Phi}{dz^4} = A \cdot m^4 \cdot e^{mz} \dots\dots\dots(11c)$$

Substitusikan persamaan (11) ke persamaan (10) untuk mendapatkan:

$$A \cdot m^4 \cdot e^{mz} - 2\alpha \cdot A \cdot m^2 \cdot e^{mz} - \beta \cdot A \cdot e^{mz} = 0 \dots\dots\dots(12a)$$



$$A \cdot e^{mz} (m^4 - 2\alpha \cdot m^2 - \beta) = 0 \dots\dots\dots(12b)$$

Karena  $e^{mz}$  dan  $A \neq 0$ , maka persamaan (12b) hanya terpenuhi bila:

$$m^4 - 2\alpha \cdot m^2 - \beta = 0 \dots\dots\dots(13)$$

Penyelesaian persamaan (13) akar diperoleh:

$$m^2 = \alpha \pm \sqrt{\beta + \alpha^2} \dots\dots\dots(14a)$$

atau

$$m = \pm \sqrt{\alpha \pm \sqrt{\beta + \alpha^2}} \dots\dots\dots(14b)$$

dari persamaan (14b) terlihat bahwa m dapat berupa dua akar real dan dua akar kompleks sebab  $\sqrt{\beta + \alpha^2} > \alpha$

Misalkan:

$$n^2 = \alpha + \sqrt{\beta + \alpha^2} \dots\dots\dots(15a)$$

$$q^2 = -\alpha + \sqrt{\beta + \alpha^2} \dots\dots\dots(15b)$$

maka solusi dari persamaan (10) adalah:

$$\Phi = A_1 \cdot e^{nz} + A_2 \cdot e^{-nz} + A_3 \cdot e^{iqz} + A_4 \cdot e^{-iqz} \dots\dots\dots(16)$$

Dengan mengingat persamaan Euler yang menyatakan:

$$e^{iqz} = \cos qz + i \sin qz \dots\dots\dots(17a)$$

$$e^{-iqz} = \cos qz - i \sin qz \dots\dots\dots(17b)$$

maka persamaan (16) dapat dituliskan kembali menjadi:

$$\Phi = A_1 \cdot e^{nz} + A_2 \cdot e^{-nz} + A_3 \cdot \cos qz + A_3 \cdot i \sin qz + A_4 \cdot \cos qz - A_4 \cdot i \sin qz \dots\dots\dots(18a)$$

$$\Phi = A_1 \cdot e^{nz} + A_2 \cdot e^{-nz} + (A_3 + A_4) \cos qz + (A_3 - A_4) i \sin qz \dots\dots\dots(18b)$$

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

$$\Phi = A_1 \cdot e^{nz} + A_2 \cdot e^{-nz} + A_5 \cdot \cos qz + A_6 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(18c)$$

sera diperole turunan kedua  $\Phi$  teradap  $z$  yaitu:

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} = A_1 \cdot n^2 \cdot e^{nz} + A_2 \cdot n^2 \cdot e^{-nz} - A_5 \cdot q^2 \cdot \cos qz - A_6 \cdot q^2 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(19)$$

Selanjutnya konstanta  $A_1, A_2, A_5$  dan  $A_6$  diperoleh dari kondisi batas yang menyatakan:

$$\Phi = 0 \quad \frac{d^2\Phi}{dz^2} = 0 \quad \text{pada } z = 0 \text{ dan } z = L$$

Untuk  $\Phi = 0$  pada  $z = 0$ , diperoleh:

$$0 = A_1 + A_2 + A_5 \dots\dots\dots(20)$$

Untuk  $\frac{d^2\Phi}{dz^2} = 0$  pada  $z = 0$ , diperoleh:

$$0 = A_1 \cdot n^2 + A_2 \cdot n^2 - A_5 \cdot q^2 \dots\dots\dots(21)$$

Dari persamaan (20) dan (21) diperoleh persamaan:

$$0 = A_5 \cdot (n^2 + q^2) \Rightarrow A_5 = 0 \dots\dots\dots(22)$$

Sehingga persamaan (20) menjadi:

$$A_1 = -A_2 \dots\dots\dots(23)$$

Dan persamaan (18c) dapat ditulis:

$$\Phi = A_1 \cdot (e^{nz} - e^{-nz}) + A_6 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(24a)$$

$$\text{Atau } \Phi = 2 \cdot A_1 \cdot \sinh nz + A_6 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(24b)$$

$$\text{Dan } \frac{d^2\Phi}{dz^2} = 2 \cdot A_1 \cdot n^2 \cdot \sinh nz - A_6 \cdot q^2 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(24c)$$

Dari kondisi batas pada  $z = 0$  dan  $z = L$  diperoleh:

$$0 = 2 \cdot A_1 \cdot \sinh nL + A_6 \cdot \sin qL \dots\dots\dots(25)$$

Dan untuk  $\frac{d^2\Phi}{dz^2} = 0$  pada  $z = L$  diperoleh:

$$0 = 2 \cdot A_1 \cdot n^2 \cdot \sinh nL - A_6 \cdot q^2 \cdot \sin qL \dots\dots\dots(26)$$

Kalikan persamaan (25) dengan  $q^2$  serta jumlahkan hasilnya dengan persamaan (26) untuk mendapatkan:

$$2 \cdot A_1 \cdot (n^2 + q^2) \cdot \sinh nL = 0 \dots\dots\dots(27)$$

Karena  $(n^2 + q^2) \neq 0$  dan  $\sinh nL = 0$  hanya jika  $n = 0$ , sehingga  $A_1$  harus sama dengan nol, dan persamaan (13) menjadi:

$$A_1 = -A_2 = 0 \dots\dots\dots(28)$$

Akhirnya persamaan (18c) dapat disederhanakan menjadi:

$$\Phi = A_6 \cdot \sin qz \dots\dots\dots(29)$$

Pada  $z = 0$  maka  $\Phi = 0$ :

$$0 = A_6 \cdot \sin qL \dots\dots\dots(30)$$

Karena  $A_6 \neq 0$ , maka:

$$\sin qL = 0 \Rightarrow qL = N \cdot \pi \dots\dots\dots(31a)$$

$$\text{atau } q = \frac{N \cdot \pi}{L} \dots\dots\dots(31b)$$

substitusikan persamaan (31b) dan persamaan (9) kedalam persamaan (15b) untuk memperoleh:

$$\frac{N^2 \cdot \pi^2}{L^2} = -\frac{GJ}{2 \cdot E \cdot C_w} + \sqrt{\frac{M_0^2}{E^2 \cdot C_w \cdot J_y} + \left(\frac{GJ}{2 \cdot E \cdot C_w}\right)^2} \dots\dots\dots(32)$$

Untuk nilai  $N=1$

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**



$$\frac{\pi^2}{L^2} + \frac{GJ}{2.E.C_w} = \sqrt{\frac{M_0^2}{E^2.C_w.I_y} + \left(\frac{GJ}{2.E.C_w}\right)^2} \dots\dots\dots(33)$$

Atau  $\left(\frac{\pi^2}{L^2}\right)^2 + \frac{\pi^2 GJ}{L^2.E.C_w} = \frac{M_0^2}{E^2.C_w.I_y} \dots\dots\dots(34)$

Untuk  $M_0 = M_{cr}$ , maka:

$$\left(\frac{\pi^2}{L^2}\right)^2 .E^2.C_w.I_y + \frac{\pi^2 E^2 I_y .GJ}{L^2 .E} = M_{cr}^2 \dots\dots\dots(35)$$

Atau:

$$\frac{\pi^2}{L^2} \left\{ \frac{\pi^2 E^2}{L^2} C_w .I_y + E.G.J.I_y \right\} = M_{cr}^2 \dots\dots\dots(36)$$

Akhirnya persamaan (36) menjadi:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{E.I_y.G.J + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y.C_w} \dots\dots\dots(37)$$

Persamaan (37) diatas merupakan persamaan yang menyatakan besarnya momen yang dapat ditahan oleh profil I akibat tekuk torsi lateral. Untuk memperhitungkan pengaruh akibat momen tak seragam, SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.1 menyatakan bahwa momen kritis untuk kondisi tekuk torsi lateral untuk profil I dan canal ganda adalah:

$$M_{cr} = C_b . \frac{\pi}{L} \sqrt{E.I_y.G.J + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y.C_w} \dots\dots\dots(38)$$

**2.11.3 Tekuk Torsi Inelastis**

Pada gambar dibawah ini, ketika serat tekan mencapai regangan sebesar  $\epsilon$  yang lebih besar dari  $\epsilon_y$  ( $\epsilon > \frac{f_y}{E}$ ). Pada keadaan ini cukup potensial untuk



terjadinya tekuktorsi lateral inelastis. Meskipun kekakuan torsi tidak terlalu terpengaruh oleh regangan residu, namun tegangan residu ini memberi pengaruh cukup besar terhadap tahanan flens tekan.

Akibat adanya tegangan residu tahanan momen elastis maksimum,  $M_r$ , adalah:

$$M_{cr} = S_x (f_y - f_r) \dots\dots\dots(39)$$

Pada umumnya sokongan lateral dipasang pada lokasi yang direncanakan mampu mencapai momen plastis,  $M_p$ , dan jarak antara sokongan lateral relatif pendek.

Dengan mengabaikan kekakuan torsi,  $GJ$ , maka persamaan diatas menjadi:

$$M_r = \frac{\pi^2 E}{L^2} \sqrt{C_w I_y} \dots\dots\dots(40)$$

Karena  $M_{cr}$  harus mencapai  $M_p$ , subsitusikan  $M_p = Z_x \cdot f_y$  untuk  $M_r$ .

Subsitusikan juga  $C_w = \frac{I_y \cdot h^2}{4}$ ,  $I_y = A \cdot r_y^2$ , serta  $L$  adalah panjang bentang tak

terkekang, maka persamaan diatas dapat ditulis kembali:

$$\frac{L}{r_y} \leq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{2 \cdot f_y} \left( \frac{hA}{Z_x} \right)} \dots\dots\dots(41)$$

Dengan menganggap  $\frac{hA}{Z_x} = 1,5$ , maka:

$$\frac{L}{r_y} \leq \sqrt{\frac{\pi^2 E \cdot 1,5}{2 \cdot f_y}} = 2,72 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(42)$$

Untuk dapat mencapai kapasitas rotasi  $R < 3$ , SNI 03-1729-2002, tabel 8.3-2 mengambil harga yang lebih rendah, yaitu:

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

$$\frac{L_p}{r_y} = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(43)$$

Bila diinginkan rotasi yang lebih besar ( $R \geq 3$ ) untuk digunakan dalam analisis plastis, SNI 03-1729-2002, pasal 7.5.2 mensyaratkan:

$$\frac{L_{pd}}{r_y} = \frac{25000 + 15000 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)}{f_y} \dots\dots\dots(44)$$

- Dimana:
- $f_y$  = tegangan leleh material, Mpa
  - $M_1$  = momen ujung yang terkecil, N-mm
  - $M_2$  = momen ujung yang terbesar, N-mm
  - $r_y$  = jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, mm
  - $\frac{M_1}{M_2}$  = bertanda positif untuk kasus kelengkungan ganda dan negatif untuk kelengkungan tunggal.

Jika dikehendaki  $M = M_r$ , maka panjang bentang tak terkekang diatur sedemikian rupa agar  $L = L_r$ , sehingga:

$$\frac{L_r}{r_y} = \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

- Dengan:
- $f_L = f_y - f_r$
  - $X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$
  - $X_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{C_w}{I_y}$

### 2.11.4 Desain LRFD Balok I

Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur, harus memenuhi persyaratan:

$$\Phi_b \cdot M_n \geq M_u \dots\dots\dots(46)$$

Dimana:  $\Phi_b$  = faktor reduksi untuk lentur = 0,90

$M_n$  = kuat nominal momen lentur dari penampang

$M_u$  = beban momen lentur terfaktor

Besarnya kuat nominal momen lentur dari penampang ditentukan sebagai berikut:

#### 1. Kasus 1

$$M_n = M_p \quad (R \geq 3)$$

Agar penampang dapat mencapai kuat nominal  $M_n = M_p$ , maka penampang harus kompak untuk mencegah terjadinya tekuk lokal. Syarat penampang kompak ditentukan sesuai SNI-1729-2002 tabel 7.5-1, yaitu  $\lambda$  untuk flens ( $b/2t_f$ ) dan untuk web ( $h/t_w$ ) tidak boleh melebihi  $\lambda_p$ .

Batasan nilai untuk  $\lambda_p$  disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2: Tabel batasan rasio kelangsingan  $\lambda_p$  untuk penampang kompak

Tegangan leleh $f_y$ (Mpa)	Tekuk lokal flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk lokal web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk torsi lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	49,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 186)

Selain harus kompak, pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tak terkekang,  $L$  tidak melebihi  $L_{pd}$  yang diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$L_{pd} = \frac{25000 + 15000 \left( \frac{M_1}{M_p} \right)}{f_y} \times r_y \dots \dots \dots (47)$$

**2. Kasus 2**

$$M_n = M_p \quad (R < 3)$$

Agar penampang dapat mencapai momen plastis  $M_p$  dengan kapasitas rotasi  $R < 3$ , maka penampang harus kompak dan tidak terjadi tekuk lokal ( $b/2t_f$  dan  $h/t_w < \lambda_p$ ). Pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tidak terkekang  $L$  tidak melebihi  $L_p$  yang ditentukan persamaan:

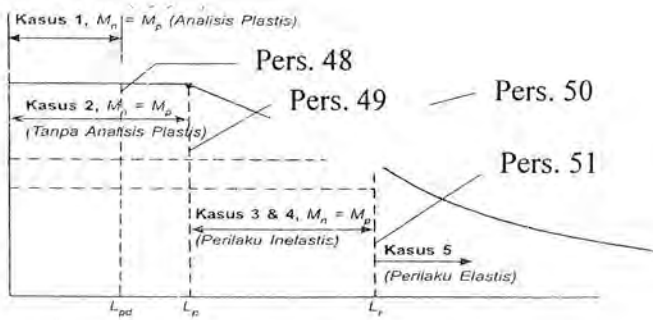
$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{untuk } E = 200000 \text{ Mpa}) \dots \dots \dots (48)$$

**3. Kasus 3.**

$$M_p > M_n \geq M_r$$

Pada kasus ini terjadi tekuk torsi lateral untuk penampang kompak ( $\lambda \leq \lambda_p$ ). Kuat momen nominal didekati dengan hubungan linier antara titik 1 ( $L_p, M_p$ ) dengan titik 2 ( $L_r, M_r$ ) pada gambar di bawah ini.





Gambar 2.10: Kuat Momen Lentur Nominal Akibat Tekuk Torsi Lateral.

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 187)

Kuat momen lentur nominal dalam kasus ini ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.4

$$M_n = C_b \left[ M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \dots\dots\dots(49)$$

$M_r$  adalah kuat nominal yang tersedia untuk beban layan ketika serat terluar penampang mencapai tegangan  $f_y$  ( termasuk tegangan residu) dan dapat diekspresikan:

$$M_r = S_x (f_y - f_r) \dots\dots\dots(50)$$

Dimana:  $f_y$  = tegangan leleh profil

$f_r$  = tegangan residu (70 MPa untuk penampang di rol dan 115 MPa untuk penampang dilas)

$S_x$  = modulus penampang

Panjang  $L_r$  diperoleh dari persamaan:

$$L_r = \frac{X_1 r_y}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \dots\dots\dots(51)$$

Dengan

$$f_L = f_y - f_r \dots\dots\dots(52.a)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \dots\dots\dots(52.b)$$

$$X_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} \dots\dots\dots(52.c)$$

**4. Kasus 4**

$$M_p < M_n \leq M_r$$

Kasus ini terjadi bila:

- a.  $L_p < L < L_r$
- b.  $\lambda_p < \lambda = b/2t_f < \lambda_r$  (flens tak kompak)
- c.  $\lambda_p < \lambda = h/t_w < \lambda_r$  (web tak kompak)

Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 harus dihitung berdasarkan keadaan yang paling dari tekuk lokal flens, tekuk lokal web serta torsi lateral. Untuk membatasi terhadap tekuk lokal flens serta tekuk lokal web, SNI 03-1729-2002 (pasal 8.2.4) merumuskan:

$$M_n = M_p - (M_p - M_l) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(53)$$

Sedangkan kondisi batas untuk tekuk torsi lateral ditentukan berdasarkan

$$M_n = C_b [M_r + (M_p - M_r)] \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \leq M_p \dots\dots\dots(54)$$

Dengan faktor pengali momen  $C_b$  ditentukan oleh persamaan:

$$C_b = \frac{125 \cdot M_{\max}}{2,5 \cdot M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \dots\dots\dots(55)$$

Dengan :

$M_{\max}$  adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau

$M_A$  adalah momen pada  $\frac{1}{4}$  bentang tak terkekang

$M_B$  adalah momen pada tengah bentang tak terkekang

$M_C$  adalah momen pada  $\frac{3}{4}$  bentang tak terkekang

Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 ini diambil dari nilai yang terkecil antara persamaan 54 dan 55. batasan rasio kelangsingan penampang,  $\lambda_r$  untuk penampang tak kompak ditampilkan dalam tabel 2.3.

**TABEL 2.3. BATASAN RASIO KELANGSINGAN  $\lambda_r$  UNTUK PENAMPANG TAK KOMPAK BALOK I**

( Modulus Elastisitas,  $E = 200000 \text{ Mpa}$  )

No	Tegangan leleh $f_y$ (Mpa)	Tekuk lokal flens $\frac{b}{2-tf} = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_x}}$	Tekuk lokal web $\frac{b}{tw} = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$
1.	210	2,64	175,97
2.	240	2,18	164,60
3.	250	2,06	161,28
4.	200	1,68	149,74
5.	410	1,09	125,94

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. Halaman 188)

### 5. Kasus 5

$$M_n \leq M_r$$

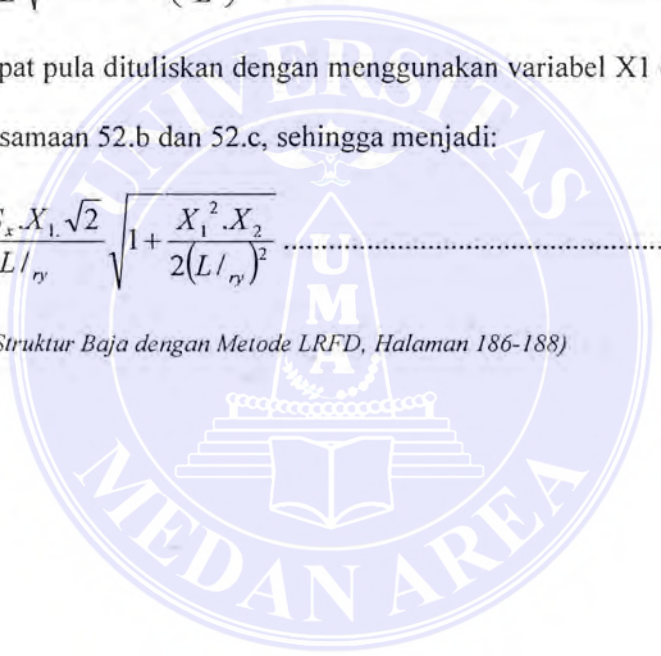
Kasus 5 terjadi bila  $L > L_r$  dan kelangsingan dari flens serta web tak melebihi  $\lambda_r$  (penampang kompak), kuat nominal momen lentur dalam kondisi ini ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot j + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 \cdot I_y \cdot C_w} \dots\dots\dots(56)$$

Persamaan 56 dapat pula dituliskan dengan menggunakan variabel X1 dan X2 seperti dalam persamaan 52.b dan 52.c, sehingga menjadi:

$$M_n = M_{cr} = \frac{C_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{L/r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2(L/r_y)^2}} \dots\dots\dots(57)$$

(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Halaman 186-188)





## BAB IV

### KESIMPULAN

Dari pendesainan gelagar baja menerus secara elastis dan plastis berdasarkan SNI 03-1729-2002 yang dilakukan diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain gelagar menerus dengan menggunakan metode plastis akan memperoleh penampang yang teringan (dengan penambahan tumpuan lateral diabaikan) dibandingkan dengan metode elastis selama penampang tersebut di desain dengan nilai  $M_n$  yang menentukan.
2. Untuk desain penampang baja dengan nilai  $r_y$  yang menentukan, desain plastis belum tentu akan memberikan penampang yang teringan dibandingkan dengan cara pendesainan cara elastis.
3. Pada pendesainan penampang yang menghendaki nilai  $r_y$  yang besar dan menentukan, desain plastis dapat memberikan panampang yang teringan dari desain cara elastis dengan penambahan tumpuan lateral pada titik-titik tertentu pada bentang yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hsieh Yuan - Yu, Ir. Suryadi, *Teori Dasar Struktur*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985
2. KH Sunggono, Ir, *Buku Teknik Sipil*, Penerbit Nova, Bandung, 1995.
3. Salmon G. Charles dan Jhonson E. John, *Struktur Baja Desain dan Prilaku 1* Edisi Ketiga, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996.
4. Salmon G. Charles dan Jhonson E. John, *Struktur Baja Desain dan Prilaku 2* Edisi Ketiga, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996.
5. SNI 03-1729-2002 : *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Disain Baja Struktural terapan.*
6. Setiawan Agus, *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Berdasarkan SNI 03-1729-2002*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2008
7. Wahyudi Laurentius, Rahim A. Sjahrir, *Metode Plastis Analisis dan Desain*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992.
8. Wangsadinata Wiratman, Ir, *Teori Kekuatan Bahan*, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Ciptakarya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung, 1968.