

## **PERAN REGEL BAJA DINDING PENYEKAT PADA PENINGKATAN KAPASITAS KOLOM IWF**

Sri Tudjono

*Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, e-mail : tudjono@indosat.net.id*

### **ABSTRAK**

Penyekat ruangan atau dinding luar bangunan berstruktur baja sering mempergunakan regel atau balok baja kecil untuk dudukan lembaran multiplex, metal atau harboard. Kalau regel baja terhubung secara kaku ke kolom dengan las, maka regel akan dapat berfungsi sebagai pengekang lentur pada lenturan yang terjadi di kolom. Setiap pengekangan yang terjadi pada kolom akan berpengaruh pada besaran kapasitas kolom dalam menahan gaya dalam yang bekerja. Pengaruh ini pada umumnya oleh perencana struktur tidak pernah diperhitungkan, karena belum ada kajian secara khusus yang membahas masalah seberapa besar peran regel pada peningkatan kapasitas kolom.

Dalam mengantisipasi gaya dalam terfaktoryang bekerja, perencanaan kolom yang menggunakan formulasi interaksi akan dipengaruhi oleh gaya normal nominal, momen nominal sumbu kuat dan momen nominal sumbu lemah dari profil terpilih. Peran dari regel yang memberikan kekangan lentur pada kolom akan berpengaruh pada besaran gaya normal nominal dan Momen nominal sumbu kuat. Untuk profil kompak besaran gaya normal nominal dan momen nominal akan dipengaruhi panjang dan kondisi pengekangan kolom. Paper ini akan mengkaji seberapa jauh kontribusi kekakuan lentur regel pada peningkatan gaya normal nominal dan momen nominal kolom. Penelitian tekuk lateral dan tekuk torsi dibatasi pada analisis kondisi elastis. Hal ini masih relevan karena formulasi tekuk Euler untuk tekuk lateral dan momen kritis untuk tekuk torsi yang dipergunakan dalam SNI baja juga merupakan hasil penjabaran analisis kondisi elastis. Analisis akan dilakukan dengan pendekatan bahwa lentur regel bekerja pada titik berat dari profil kolom IWF.

Besaran Tekuk lateral dan tekuk torsi sangat sensitip terhadap pengekangan. Kekangan regel dapat meningkatkan momen kritis dan gaya normal kritis batang cukup signifikan. Analisis akan dilakukan dengan pendekatan analitis dan numerik.

### **1. Latar Belakang**

Kapasitas kolom dipengaruhi oleh angka kelangsingan dari kolom. Makin langsing kapasitas kolom akan makin rendah. Kapasitas ditentukan dari kapasitas kolom dalam menahan hanya gaya normal tekan dan kapasitas kolom dalam hanya menahan momen lentur saja. Untuk kolom IWF kapasitas lentur sumbu kuat ditentukan oleh kelangsingan torsi sedang kentur dalam sumbu kuat ditentukan oleh momen plastis terhadap sumbu lemah. Untuk kolom yang gemuk adanya tambahan pengikatan atau pengekangan tidak akan meningkatkan kapasitas kolom. Sedang untuk kolom yang langsing tambahan pengikatan atau pengekangan akan terasa peningkatan kapasitasnya. Pemberian bracing pada bidang sumbu lemah akan memperpendek panjang tekuk dan akan meningkatkan kapasitas gaya normal kolom dalam sumbu lemah. Pemberian balok-balok pengikat dalam bidang sumbu lemah juga akan bisa memperpendek panjang tekuk sumbu lemah dan akan meningkatkan kapasitas gaya normal kolom dalam sumbu lemah. Bahkan ada kemungkinan juga bisa meningkatkan kapasitas lentur sumbu kuat kolom karena balok tersebut bersifat mengganggu tekuk torsi.

Pada bangunan berstruktur baja sering dipergunakan regel-regel baja untuk memegang dinding penyekat atau dinding luar dari bangunan. Regel umumnya berupa batang baja dari profil ringan yang mempunyai momen inersia baik sumbu kuat dan sumbu lemah yang relatif kecil dibanding profil strukturnya. Seberapapun kekakuannya regel-regel yang dihubungkan kaku dengan profil struktur, akan dapat memberikan tambahan kekangan pada kolom struktur. Umumnya regel dipasang pada bidang sumbu lemah. Pengekangan pada bidang sumbu lemah akan dapat mempengaruhi kapasitas kolom baik tekan pada bidang sumbu lemah maupun tekuk torsi pada bidang sumbu kuat. Pemikiran inilah yang perlu dijawab dengan penelitian.

## 2. Permasalahan

Dari gagasan yang diuraikan dalam latar belakang, akan muncul permasalahan yang harus dijawab :

- Seberapa besar pengaruh kekakuan regel pada peningkatan kapasitas gaya normal tekan kolom pada bidang sumbu lemah?
- Seberapa besar pengaruh kekakuan regel pada peningkatan kapasitas lentur sumbu kuat kolom?

## 3. Batasan Masalah

Pengekangan akan berpengaruh besar pada kolom yang berada dalam wilayah tekuk elastic dan tidak berpengaruh pada wilayah tekuk plastis. Pada wilayah tekuk inelatis pengekangan masih dapat meningkatkan kapasitas yang akan makin kecil bila tekuk mendekati kearah plastis. Kajian yang akan dilakukan dibatasi pada wilayah tekuk elastis.

## 4. Kajian Pustaka

### 4.1 Formula Kolom

Formula pendimensian kolom yang mengacu konsep LRFD adalah seperti berikut :

$$\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0.2 \qquad \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left[ \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1 \qquad (1)$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} < 0.2 \qquad \frac{N_u}{2\phi N_n} + \left[ \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1$$

$N_{ux}, M_{ux}, M_{uy}$  = gaya dalam terfaktor normal, momen arah x dan momen arah y.

$N_n$  = Tahanan nominal ( normal)

$M_{nx}, M_{ny}$  = Momen lentur nominal arah x dan y

$\Phi$  = Faktor tahanan normal

$\Phi_b$  = Faktor tahanan lentur = 0.90

Untuk kolom langsing  $N_n$  ditentukan dari tekuk Euler dan  $M_{nx}$  ditentukan dari Momen kritis elastic tekuk torsi yang besarnya tidak boleh lebih besar dari momen plastis sumbu kuat. Sedang  $M_{ny}$  ditentukan oleh Momen plastis sumbu lemah.

#### 4.2 Tekuk Euler

Gaya tekan kritis tekuk Euler dijabarkan dari nilai eigen dari solusi persamaan diferensial momen elementer lapangan sejauh  $x$  dari pusat koordinat :

$$EI y^{iv} + P y'' = 0 \quad (2)$$

Dengan kondisi batas seperti gambar 1 :

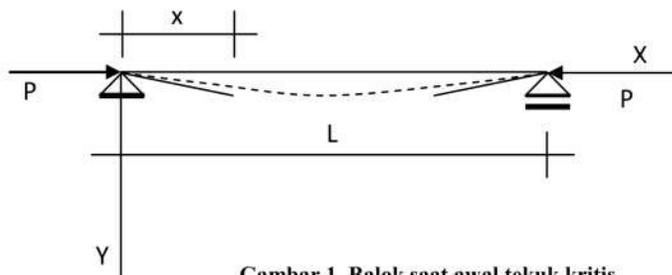
$$y = 0 \text{ dan } y'' = 0 \text{ pada } x = 0$$

$$y = 0 \text{ dan } y'' = 0 \text{ pada } x = L$$

didapat nilai eigen :

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3)$$

$P_{Cr}$  = Gaya tekan kritis tekuk lateral Euler.



Gambar 1. Balok saat awal tekuk kritis

#### 4.3 Momen Kritis Tekuk Torsi

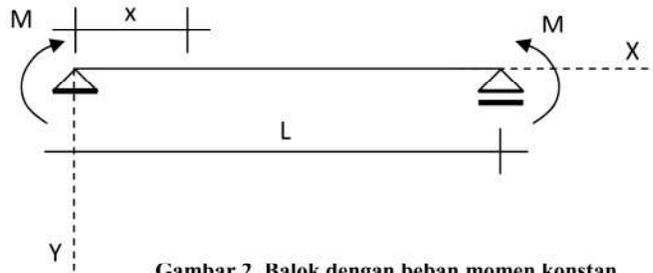
Persamaan diferensial elementer balok badan kaku dengan beban momen konstan seperti pada gambar 2 adalah seperti berikut :

$$EI_w \beta'''' - GJ \beta'' - \frac{M^2}{EI_y} \beta = 0. \quad (4)$$

Solusi umum persamaan diferensial ini adalah :

$$\beta = C_1 \sin \underline{a}z + C_2 \cos \underline{a}z + C_3 e^{\underline{b}z} + C_4 e^{-\underline{b}z} \quad (5)$$

$$\underline{a} = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{GJ}{2EI_w}\right)^2 + \frac{M^2}{E^2 I_y I_w}} - \frac{GJ}{2EI_w}} \quad \underline{b} = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{GJ}{2EI_w}\right)^2 + \frac{M^2}{E^2 I_y I_w}} + \frac{GJ}{2EI_w}}$$



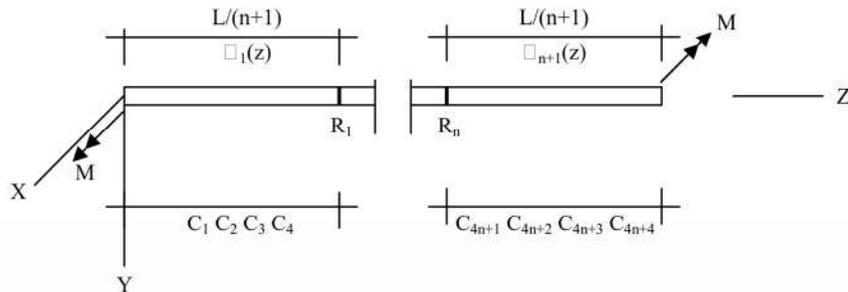
Gambar 2. Balok dengan beban momen konstan

Formula momen kritis batang tanpa regel saat tekuk terjadi adalah :

$$M_{Cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GJ}} \quad (6)$$

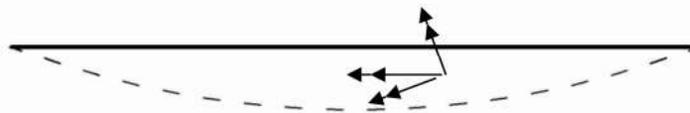
## 5. Metodologi

### 5.1 Tekuk Torsi Batang dengan Regel



Gambar 3. Batang dengan n regel menerima momen konstan.

Kehadiran Regel seperti gambar 3 membuat persamaan (4) menjadi terganggu. Momen memutar sumbu lemah akan terganggu oleh momen regel sebesar  $K\beta_i \frac{dv}{dz}$ . Sepetinditunjukkan dalam gambar 4. Pengaruh ini akan mengecil bila  $\beta_i$  mendekati 0. Dan bila kekakuan regel sedemikian besar sehingga bisa memegang penampang tidak berputar, hasil analisis yang diperoleh merupakan jawaban eksak.



Gambar 4. Gangguan momen lentur sumbu lemah oleh Momen Regel

Pada kondisi kritis, batang diantara regel mempunyai persamaan diferensial keseimbangan elementer yang sama dengan batang tanpa regel. Tapi solusi persamaan diferensial untuk masing masing lapangan yang dibatasi oleh dua regel berbeda satu sama lain. Masing-masing lapangan mempunyai solusi seperti persamaan (5), hanya berbeda di kontanta integrasinya. Setiap lapangan mempunyai 4 konstanta integrasi, sehingga jumlah seluruh konstanta integrasi untuk n regel adalah  $4 ( n + 1 )$ . Dengan memasukkan 4 buah kondisi batas di kedua ujung batang dan 4 buah di n regel akan didapat  $4 ( n + 1 )$  persamaan homogen. Dari determinan matriks koefisien persamaan homogen = akan menentukan beban kritis. Persamaan homogen didapat dari kondisi batas natural dan kondisi batas geometri, yang keduanya diuraikan berikut ini.

Kondisi batas di kedua ujung untuk perletakan sederhana adalah :

- untuk  $z = 0$   $\beta = 0, \beta'' = 0$ .
- untuk  $z = L$   $\beta = 0, \beta'' = 0$ .

Kondisi batas di regel adalah :

- Kontinuitas fungsi dan turunan :  $\beta_L = \beta_R, \beta'_L = \beta'_R$
- Keseimbangan momen :  $GJ \beta'_L - EIw\beta''_L = GJ \beta'_R - EIw\beta''_R + K \beta_R$
- Keseimbangan lentur sayap :  $\beta''_L = \beta''_R$

Dimana :

L berarti kiri regel dan R berarti kanan regel.

$\beta$  adalah rotasi penampang saat tekuk torsi

E, G adalah modulus elastisitas dan modulus geser

J, Iw adalah momen inersia torsi dan konstanta warping

K adalah kekakuan regel

Kalau persamaan homogen dijabarkan lebih rinci dalam hubungannya dengan banyak regel akan didapat :

Dua kondisi batas ujung kiri :

- $C_2 + C_3 + C_4 = 0$
- $-a^2 C_2 + b^2 C_3 + b^2 C_4 = 0$  (7)

Empat kondisi batas di Regel ke i :

$$\begin{aligned}
 & C_{(1+4i)} \sin a z_i + C_{(2+4i)} \cos a z_i + C_{(3+4i)} e^{b z_i} + C_{(4+4i)} e^{-b z_i} = \\
 & C_{(1+4(i-1))} \sin a z_i + C_{(2+4(i-1))} \cos a z_i + C_{(3+4(i-1))} e^{b z_i} + C_{(4+4(i-1))} e^{-b z_i} \\
 & a C_{(1+4i)} \cos a z_i - C_{(2+4i)} \sin a z_i + b C_{(3+4i)} e^{b z_i} - b C_{(4+4i)} e^{-b z_i} \\
 & = a C_{(1+4(i-1))} \cos a z_i - a C_{(2+4(i-1))} \sin a z_i + b C_{(3+4(i-1))} e^{b z_i} - b C_{(4+4(i-1))} e^{-b z_i} \\
 & (GJ a - EIw a^3) C_{(1+4i)} \cos a z_i - (GJ a - EIw a^3) C_{(2+4i)} \sin a z_i + (GJ b + EIw b^3) C_{(3+4i)} e^{b z_i} \\
 & - (GJ b + EIw b^3) C_{(4+4i)} e^{-b z_i} + K C_{(1+4i)} \sin a z_i + K C_{(2+4i)} \cos a z_i + K C_{(3+4i)} e^{b z_i} + K C_{(4+4i)} e^{-b z_i} \\
 & = (GJ a - EIw a^3) C_{(1+4(i-1))} \cos a z_i - (GJ a - EIw a^3) C_{(2+4(i-1))} \sin a z_i + (GJ b + EIw b^3) C_{(3+4(i-1))} e^{b z_i} \\
 & - (GJ b + EIw b^3) C_{(4+4(i-1))} e^{-b z_i}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \bullet \quad -\underline{a}^2 C_{(1+4i)} \sin \underline{a} z_i - \underline{a}^2 C_{(2+4i)} \cos \underline{a} z_i + \underline{b}^2 C_{(3+4i)} e^{\underline{b} z_i} + \underline{b}^2 C_{(4+4i)} e^{-\underline{b} z_i} = -\underline{a}^2 C_{(1+4(i-1))} \sin \underline{a} z_i \\
 & \quad -\underline{a}^2 C_{(2+4(i-1))} \cos \underline{a} z_i + \underline{b}^2 C_{(3+4(i-1))} e^{\underline{b} z_i} + \underline{b}^2 C_{(4+4(i-1))} e^{-\underline{b} z_i} \quad (8)
 \end{aligned}$$

Dua kondisi batas diujung kanan :

$$\begin{aligned}
 & \bullet \quad C_{(1+4n)} \sin \underline{a} L + C_{(2+4n)} \cos \underline{a} L + C_{(3+4n)} e^{\underline{b} L} + C_{(4+4n)} e^{-\underline{b} L} = 0 \\
 & \bullet \quad -\underline{a}^2 C_{(1+4n)} \sin \underline{a} L - \underline{a}^2 C_{(2+4n)} \cos \underline{a} L + \underline{b}^2 C_{(3+4n)} e^{\underline{b} L} + \underline{b}^2 C_{(4+4n)} e^{-\underline{b} L} = 0 \quad (9)
 \end{aligned}$$

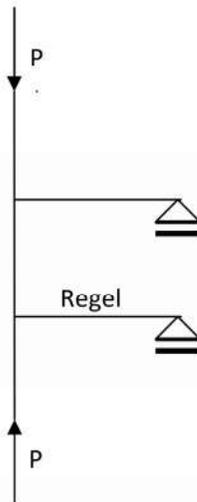
dimana :  $K = \frac{3EI_R}{L_R}$       K merupakan fungsi kekakuan regel.

Harga a dan b merupakan fungsi dari momen. Dengan mencoba membesarkan harga momen dari 0 sedikit demi sedikit akan diperoleh besaran momen yang memberikan harga determinan matriks koefisien persamaan homogen sama dengan 0. Momen tersebut adalah momen kritis tekuk torsi.

### 5.2 Tekuk Lateral Batang dengan Regel

Analisis batang dengan regel yang mengalami tekanan dipergunakan analisis frame 2 dimensi non linier. Analisis yang memperhitungkan pengaruh gaya normal pada kekakuan batang. Gaya normal tekan akan memperlemah kekakuan batang dan gaya normal tarik akan memperkuat kekakuan.

Persamaan kekakuan elemen untuk batang yang memperhitungkan pengaruh gaya normal adalah seperti berikut :



Gambar 5. Batang dengan regel



Gambar 6. Diagram P – X elemen

$$\begin{Bmatrix} P1 \\ P4 \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X1 \\ X4 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{Bmatrix} P2 \\ P3 \\ P5 \\ P6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B & -A & -B \\ -B & C & B & D \\ -A & B & A & B \\ -B & D & B & C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X2 \\ X3 \\ X5 \\ X6 \end{Bmatrix} \quad (11)$$

Dimana :

Untuk gaya normal tekan

$$\begin{aligned} A &= EI \frac{u^3 s}{L^3(2-2c-us)} & B &= EI \frac{u^2(1-c)}{L^2(2-2c-us)} \\ C &= EI \frac{u(s-uc)}{L(2-2c-us)} & D &= EI \frac{u(u-s)}{L(2-2c-us)} \end{aligned} \quad (12)$$

$$u = L \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad s = \sin u \text{ dan } c = \cos u$$

P adalah gaya normal tekan.

Untuk gaya normal tarik

$$\begin{aligned} A &= EI \frac{u^3 s}{L^3(2-2c+us)} & B &= EI \frac{u^2(1-c)}{L^2(2-2c+us)} \\ C &= EI \frac{u(s-uc)}{L(2-2c+us)} & D &= EI \frac{u(u-s)}{L(2-2c+us)} \end{aligned} \quad (13)$$

$$u = L \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad s = \sinh u \text{ dan } c = \cosh u$$

P adalah gaya normal tarik.

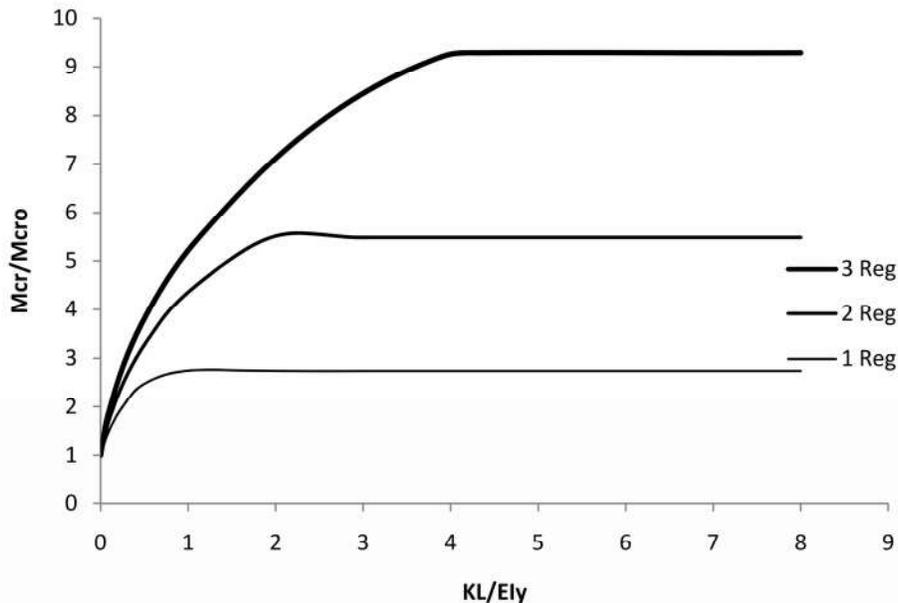
Untuk gaya normal 0

$$\begin{aligned} A &= \frac{12EI}{L^3} & B &= \frac{6EI}{L^2} \\ C &= \frac{4EI}{L} & D &= \frac{2EI}{L} \end{aligned} \quad (14)$$

## 6. Hasil Analisis

Hasil analisis untuk batang dengan 1 regel yang ditempatkan ditengah batang dengan batang panjang 600 cm profil IWF tinggi 250 mm, lebar 125 mm, tebal pelat sayap 9 mm, tebal pelat badan 6 mm, menunjukkan bahwa untuk mencapai pemegangan tanpa rotasi diperlukan kekakuan regel 730000 Kgcm. Kalau dipergunakan formulasi  $2EI/L$  dengan  $L = 600$  cm, akan didapat  $I$  regel = 104.3 cm<sup>4</sup>. Momen inersia sedemikian masih dapat dipenuhi oleh 1 buah kanal kait. Momen tekuk torsi  $M_{cr} = 1.069.215$  Kgcm. Sedang momen tekuk torsi tanpa regel = 389.920,16 Kgcm. Momen kritis dengan regel melampaui momen plastis penampang  $M_p = 884.091,6$  Kgcm.  $M_{cr} = 1.069.215$  Kgcm adalah sama dengan Momen kritis untuk panjang = 300 cm. Ini berarti dititik regel tidak terjadi rotasi.

Untuk jumlah regel lebih dari satu dan dengan penempatan regel yang didistribusi merata, untuk mencapai kondisi seluruh titik regel tidak berputar diperlukan kekakuan regel yang lebih besar. Makin banyak regel diperlukan kekakuan regel yang maikn besar. Hal ini ditunjukkan gambar 7 yang merupakan hasil analisis untuk 1, 2 dan 3 regel dengan kekakuan regel yang variable.



Gambar 7. Kurva hubungan Momen kritis dengan kekakuan regel.

Dengan menggunakan 1 buah regel dengan momen inersia sekitar 0.355 momen inersia sumbu lemah batang utama, momen nominal sumbu kuat batang ( $M_{nx}$ ) bisa mencapai momen plastis.

## 7. Kesimpulan dan Saran

Dari analisis yang sudah dilakukan pada batang dengan 1 regel dapat disimpulkan :

- Regel dapat meningkatkan Momen nominal sumbu kuat kolom dengan peningkatan yang signifikan.

- Pemegangan agar penampang di regel tidak berotasi saat terjadi tekuk torsi, diperlukan kekakuan regel yang makin besar untuk penggunaan regel yang makin banyak.
- Perlu dilakukan kajian banding dengan cara lain untuk memastikan kebenaran analisis.

#### **8. Daftar Pustaka**

- 1) Chajes, A., *Principles of Structural Stability Theory*, Prentice Hall, New Jersey, 1970.
- 2) Galambos, T.V., *Structural Members and Frames*, Library of Congress Catalog Card Number : 68-17530, St. Louis, 1978.
- 3) SNI 03-1729-2000, *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, Bandung, Juli 2000.
- 4) Bleich, F., and Bleich, H.H., *Buckling Strength of Metal Structures*, McGraw - Hill, New York, 1952.
- 5) Salmon, Charles G and Johnson, John E, *Steel Structures Design and Behavior*, Harper Collins College Publishers, Wisconsin, 1996.
- 6) Sri Tudjono, Disertasi : *Kajian Pengaruh Pengaku Vertikal Terhadap Beban Kritis Tekuk Lateral Torsi Balok Baja Berprofil I*, ITB, 2005