

TORSI BALOK BAJA BERPROFIL I BERPENGAKU VERTIKAL

Sri Tudjono ¹

ABSTRACT

Vertical stiffeners are usually used to resist shear force or to stiffen web plate in accordance with local buckling. Vertical stiffeners which have torsional stiffness can disturb warping of the beam. So the vertical stiffeners can increase the torsional stiffness of the beam. The relation between the torsion of vertical stiffener to warping of the beam must firstly be found. By the boundary conditions of the beam at the two ends and at the vertical stiffeners, all integration constants of differential equation of each field rotation can be found. Analysis can be done on various thickness and various numbers of vertical stiffeners. It can be concluded that the increase of torsional stiffness caused by the increase of the of vertical stiffener thickness are significant. The gradient of the torsional stiffness increase tend relatively smaller at the greater number of vertical stiffeners.

Key Words : vertical stiffener, warping, torsion

LATAR BELAKANG

Peran pengaku vertikal pada balok baja berprofil I adalah untuk meningkatkan kemampuan geser. Jarak pengaku vertikal berhubungan dengan besar peningkatan gaya geser. Pendimensionian hanya didasarkan pada gaya normal yang bekerja pada pengaku vertikal. Pengaku vertikal yang berpenampang empat persegi panjang selain mampu berfungsi menahan gaya normal, juga mampu berfungsi menahan torsi. Kekakuan torsi pengaku vertikal yang pada umumnya kecil akan mengganggu *warping*. Banyak gangguan *warping* sesuai dengan banyak pengaku vertikal. Gangguan *warping* akan meningkatkan kekakuan torsi balok. Dengan demikian pengaku vertikal disamping meningkatkan kemampuan menahan gaya geser juga mempunyai peran dalam peningkatan torsi. Tulisan ini bertujuan untuk melihat peran pengaku

vertikal pada peningkatan kekakuan torsi balok.

Peningkatan Kekakuan Torsi

Sesuai formulasi torsi *warping* bebas St. Venant, hubungan rotasi penampang dan torsi adalah :

$$\varphi = \frac{T L}{\lambda^2 E I_w} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan adanya pengaku vertikal *warping* menjadi terganggu, sehingga hubungan rotasi penampang dan torsi akan dipengaruhi oleh dimensi dan banyak pengaku vertikal. Seberapa jauh peningkatan kekakuan torsi oleh pengaku vertikal.

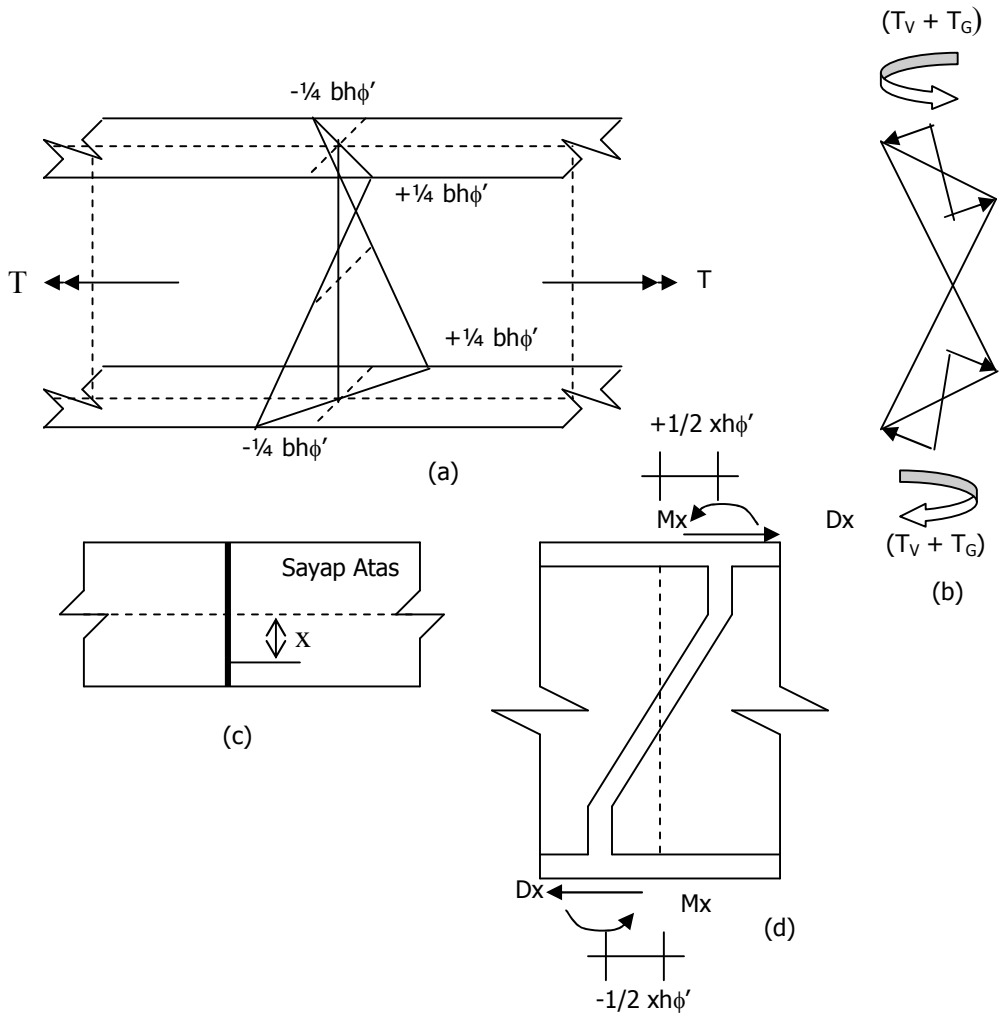
Dalam analisis untuk melihat peningkatan kekakuan torsi balok, diambil pendekatan seperti berikut :

¹ Jurusan Teknik Sipil FT. Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH. Tembalang Semarang

- Material dalam kondisi elastis.
- Mengacu pada hipotesis Navier
- Tebal pelat dianggap kecil dibanding dimensi yang lain dan overlapping antar pelat di pertemuan diabaikan.
- Tegangan keluar bidang pelat diabaikan.

Formulasi Torsi Pengaku Vertikal

Dengan adanya *warping*, kedua sayap akan mengalami rotasi yang berlawanan arah seperti dinyatakan pada Gambar 1.



Keterangan :

- a. *Warping*
- b. Torsi di PV

- c. Sayap atas & pengaku vertikal
- d. Lentur dan geser di pias x

Gambar 1. *Warping* dan torsi di pengaku vertikal

Suatu batang yang mengalami torsi dengan *warping* terganggu akan mempunyai persamaan rotasi penampang seperti berikut :

$$\phi''' - \lambda^2 \phi' = -\frac{T}{EI_w} \quad \text{dengan solusi umum} \quad \dots\dots (6)$$

$$\phi = C_1 + C_2 \cosh \lambda z + C_3 \sinh \lambda z + \frac{Tz}{\lambda^2 EI_w}$$

Adanya pengaku vertikal di tengah batang akan membagi ϕ menjadi 2 yaitu ϕ_L dan ϕ_R , dimana :

$$\phi_L = C_1 + C_2 \cosh \lambda z + C_3 \sinh \lambda z + \frac{Tz}{\lambda^2 EI_w} \quad \dots\dots (7)$$

$$\phi_R = C_4 + C_5 \cosh \lambda z + C_6 \sinh \lambda z + \frac{Tz}{\lambda^2 EI_w}$$

Dimana :

$$\lambda = \sqrt{\frac{GJ}{EI_w}}$$

Dari kondisi batas :

- Untuk $z = 0$
 $\phi = 0$ dan $\phi'' = 0$ didapat
- Untuk $z = L/2$
 $\phi_L = \phi_R$, $\phi'_L = \phi'_R$ dan
 $E I_s h/2 \phi''_R = E I_s h/2 \phi''_L + b/3 t v^3 G \phi'_L$
- Untuk $z = L$ $\phi'' = 0$

diperoleh konstanta integrasi seperti berikut:

$$C_3 = \frac{\frac{T G J_{Pv}}{\lambda^2 E I_w}}{\sinh \lambda L \left\{ \frac{E I_s \frac{h}{2} \lambda^2}{\cosh \lambda \frac{L}{2}} - \frac{G J_{Pv} \lambda}{2 \sinh \lambda \frac{L}{2}} \right\}}$$

$$C_4 = -\frac{\frac{T G J_{Pv}}{\lambda^2 E I_w}}{\cosh \lambda \frac{L}{2} \left\{ \frac{E I_s \frac{h}{2} \lambda^2}{\cosh \lambda \frac{L}{2}} - \frac{G J_{Pv} \lambda}{2 \sinh \lambda \frac{L}{2}} \right\}}$$

$$C_5 = -\frac{\frac{T G J_{Pv}}{\lambda^2 E I_w}}{\frac{E I_s \frac{h}{2} \lambda^2}{\cosh \lambda \frac{L}{2}} - \frac{G J_{Pv} \lambda}{2 \sinh \lambda \frac{L}{2}}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$C_6 = \frac{\cosh \lambda L \left\{ \frac{T G J_{Pv}}{\lambda^2 E I_w} \right\}}{\sinh \lambda L \left\{ \frac{E I_s \frac{h}{2} \lambda^2}{\cosh \lambda \frac{L}{2}} - \frac{G J_{Pv} \lambda}{2 \sinh \lambda \frac{L}{2}} \right\}}$$

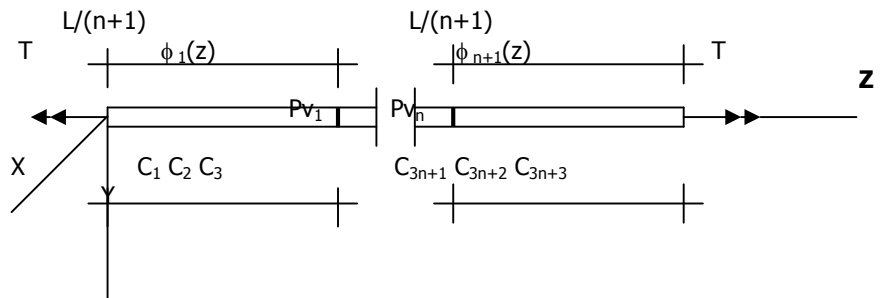
Dengan memasukkan $z = L$ pada fungsi rotasi penampang yang sudah tertentu, didapat :

$$\phi = -\frac{\frac{T G J_{Pv}}{\lambda^2 E I_w}}{\cosh \lambda \frac{L}{2} \left\{ \frac{E I_s \frac{h}{2} \lambda^2}{\cosh \lambda \frac{L}{2}} - \frac{G J_{Pv} \lambda}{2 \sinh \lambda \frac{L}{2}} \right\}} + \frac{TL}{\lambda^2 EI_w} \quad \dots (9)$$

Kalau dibandingkan torsi St. Venant persamaan (1), pengaku vertikal memperkecil rotasi penampang.

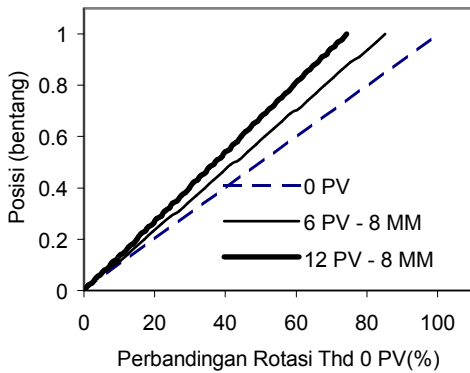
Torsi Dengan Banyak Pengaku Vertikal

Pada batang dengan jumlah pengaku vertikal sebanyak n , akan mempunyai $(n+1)$ lapangan dengan fungsi putaran penampang yang berbeda satu sama lain. Dari integrasi persamaan diferensial (6).

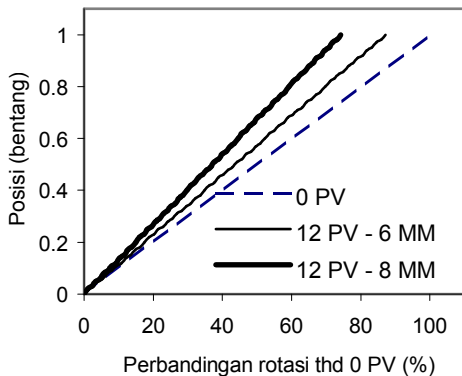


Gambar 4. Batang dengan n pengaku vertikal menahan torsi.

pada masing masing lapangan akan didapat $3 (n + 1)$ konstanta integrasi. Dari kondisi batas di kedua ujung batang dan di pengaku vertikal, $3 (n+1)$ konstanta integrasi dapat ditentukan. Dengan fungsi rotasi penampang masing-masing lapangan yang sudah tertentu dapat dibuat grafik hubungan rotasi penampang, tebal dan banyak pengaku vertikal.



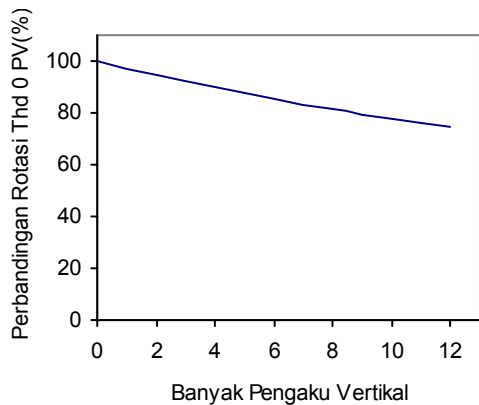
Gambar 5. Hubungan antara rotasi dan posisi dengan variasi n PV



Gambar 6. Hubungan antara rotasi dan posisi dengan variasi tebal PV

Pada Gambar 5 dan 6 sumbu horizontal adalah perbandingan dalam % antara rotasi penampang dengan pengaku vertikal dan

rotasi penampang tanpa pengaku vertikal, sedang sumbu vertikal adalah posisi penampang yang dinyatakan relatif terhadap bentang balok. Hasil analisis pada balok IWF 250x125 dengan 12 pengaku vertikal (Gambar 6) , perbandingan putaran terhadap 0 PV antara kedua penampang ujung adalah 87.22176 % untuk tebal 6 mm dan 74.24527 % untuk tebal 8 mm. Peningkatan kekakuan oleh penambahan tebal pengaku vertikal sebesar 2 mm cukup Hasil analisis untuk tebal pengaku vertikal tetap 8 mm, perbandingan putaran terhadap 0 PV antara kedua penampang ujung adalah 85.23978 % untuk $n = 6$ dan 74.24527 % untuk $n = 12$. Pengaku vertikal didistribusi merata sepanjang balok dengan kedua ujung tidak diberi pengaku vertikal.



Gambar 7. Hubungan perbandingan rotasi thd rotasi 0 PV dengan n PV

Hasil analisis balok IWF 250x125 dengan tebal pengaku vertikal yang sama 8 mm dengan variasi banyak pengaku vertikal (Gambar 7), menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan torsi tidak linier terhadap n pengaku vertikal.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pada balok IWF 250x125 dengan mengabaikan torsi oleh geser lentur di pengaku vertikal, dapat diambil kesimpulan seperti berikut :

- Peningkatan kekakuan torsi oleh penambahan tebal pengaku vertikal cukup signifikan. Hal ini sesuai dengan besar gangguan *warping* merupakan fungsi tebal pengaku vertikal pangkat 3.
- Peningkatan kekakuan torsi tidak linier terhadap banyak pengaku vertikal. Makin banyak pengaku vertikal, peningkatan kekakuan cenderung sedikit mengecil.

PUSTAKA

Bleich, F., and Bleich, H.H., *Buckling Strength of Metal Structures*, McGraw - Hill, New York, 1952.

Chajes, A., *Principles of Structural Stability Theory*, Prentice Hall, New Jersey, 1970.

Galambos, T.V., *Structural Members and Frames*, Library of Congress Catalog Card Number : 68-17530, St. Louis, 1978.

Kuzmanovic, B.O., and Willems, N., *Steel Design for Structural Engineers*, Prentice Hall, New Jersey, 1977.

Salmon, CG, and Johnson, JE, *Steel Structures Design and Behavior*, Harper Collins College Publishers, New York, 1996

Sri Tudjono, *Kajian Pengaruh Pengaku Vertikal Terhadap Beban Kritis Tekuk Lateral Torsi Balok Baja Berprofil I*, Desertasi, ITB, Bandung 2005

DAFTAR SINGKATAN

- ϕ : Rotasi penampang terhadap referensi penampang
 T : Momen Torsi
 E : Modulus elastisitas
 G : Modulus geser
 L : Panjang balok
 PV : Pengaku vertikal
 b : Lebar sayap
 h : Tinggi balok I dari as sayap atas hingga as sayap bawah
 t_v : Tebal pengaku vertikal
 β : Rotasi penampang pengaku vertikal
 I_S : Momen inersia pelat sayap terhadap sumbu lemah profil balok
 I_W : Konstanta *warping*
 T_G : Momen torsi pengaku vertikal akibat geser lentur di pengaku vertikal
 J_{PV} : Momen inersia torsi pengaku vertikal