

KAJI TEORITIK PERUBAHAN PANJANG PLAT PENGUAT TERHADAP BESARNYA DEFLEKSI YANG TERJADI PADA BALOK

Sufiyanto*

Abstrak

Defleksi lateral yang terjadi pada sebuah balok dipengaruhi oleh nilai kekakuan balok tersebut. Nilai kekakuan ini ditentukan oleh momen inersia penampang yang dimiliki oleh balok tersebut. Semakin besar inersia penampang balok maka nilai kekakuannya meningkat dan defleksi lateral yang terjadi menjadi kecil. Untuk memperbesar inersia penampang suatu balok dapat dilakukan dengan menambahkan plat/batang penguat pada balok tersebut. Permasalahan yang timbul dengan cara ini adalah menentukan panjang plat penguat yang dibutuhkan sesuai dengan besarnya defleksi lateral yang diijinkan terjadi pada balok tersebut. Untuk menentukan panjang efektif dari plat penguat pada suatu balok, dapat dilakukan dengan suatu kaji teoritis yang mencari hubungan antara panjang plat penguat terhadap defleksi lateral yang akan terjadi pada suatu balok. Dari hasil kaji teoritis ini menunjukkan bahwa semakin kecil defleksi lateral yang terjadi maka panjang plat penguat yang dibutuhkan semakin besar.

Kata kunci : *momen inersia, defleksi lateral, plat penguat*

PENDAHULUAN

Suatu balok dengan tumpuan sederhana pada kedua ujungnya, bila mendapatkan beban lentur akan mengalami defleksi lateral. Defleksi lateral adalah besarnya simpangan yang diukur dari sumbu balok sebelum mendapatkan beban terhadap sumbu balok setelah mendapat beban atau pada saat mengalami lenturan. Nilai defleksi yang terjadi tergantung dari kekakuan balok tersebut. Apabila kekakuan balok tersebut besar maka defleksi lateral yang terjadi kecil, demikian sebaliknya.

Dalam aplikasinya, defleksi yang terjadi pada balok dapat diperkecil dengan cara memberikan pengekang pada balok tersebut yang berupa plat-plat kecil yang disambungkan pada balok dengan jarak tertentu. Penyambungan tersebut dilakukan dengan cara pengelasan. Tujuan dari pemberian plat-plat kecil tersebut adalah untuk meningkatkan kekakuan dari balok tersebut tanpa merubah dimensi dari balok awalnya. Kekakuan yang diperoleh akan dipengaruhi juga oleh panjang plat dan jarak antar plat.

Dengan prinsip yang sama, sebuah balok dapat diperkuat dengan menambahkan plat tunggal yang disambungkan secara simetri tepat ditengah-tengah balok. Tentunya panjang dari plat penguat tersebut akan berpengaruh pada besarnya kekakuan balok.

Untuk menentukan hubungan antara panjang plat penguat terhadap besarnya defleksi lateral yang terjadi pada suatu balok, maka dalam tulisan ini akan dilakukan pengkajian secara teoritis perubahan panjang plat penguat terhadap defleksi lateral yang terjadi pada balok.

Pada kaji teoritis ini diperlukan asumsi untuk menyederhanakan analisis, sbb :

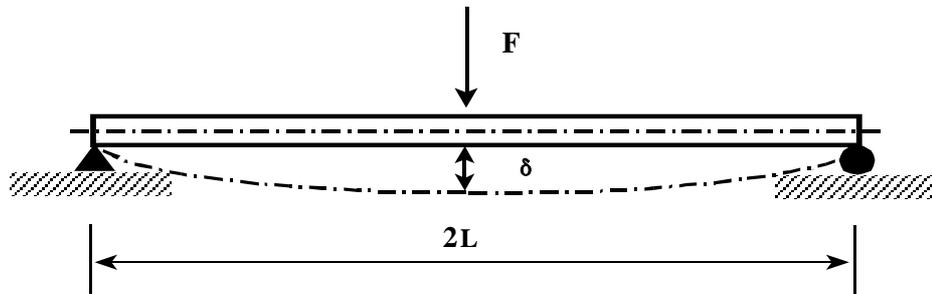
1. Bahan balok dan plat penguat yang dipakai sama sehingga nilai Modulus Elastisitas bahan sama.
2. Penampang balok dan plat penguat dibuat sama sehingga nilai inersia (I) keduanya sama.

* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Univ. Merdeka Malang

KAJIAN PUSTAKA

Balok didefinisikan sebagai sebuah batang panjang, dimana beban luar yang bekerja dalam bidang yang tegak lurus dengan bidang sumbu netral balok, dan bentuk penampang baloknya adalah prismatis.

Salah satu contohnya adalah gambar berikut :



Gambar 1. Defleksi Lateral Balok

Defleksi lateral yang terjadi pada suatu balok dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu

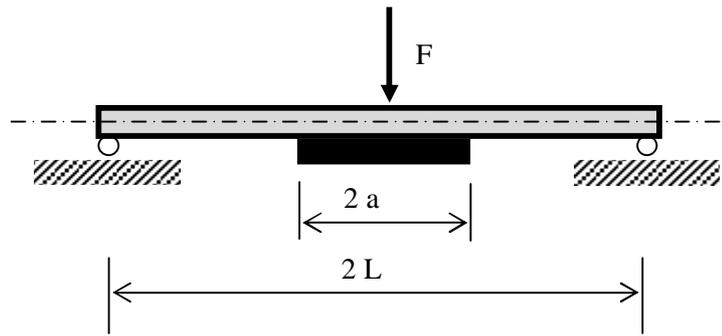
1. beban yang bekerja pada balok
2. panjang balok
3. kekakuan balok
4. jenis tumpuan balok

Untuk pengaruh kekakuan balok, semakin besar kekakuan balok maka defleksi lateral yang terjadi semakin kecil. Kekakuan balok dapat dipengaruhi oleh jenis bahan (ditentukan oleh Modulus Elastisitas Bahan) dan juga oleh penampang balok (momen inersia penampang balok).

$$\text{Besarnya defleksi yang terjadi pada balok diatas adalah : } \delta = \frac{F.(2L)^3}{48.E.I} = \frac{F.L^3}{6.E.I}$$

Untuk memperkecil besarnya defleksi yang terjadi dapat dilakukan dengan memperbesar kekakuan balok yaitu dengan cara mengganti bahan yang memiliki Modulus Elastisitas yang lebih besar atau dengan memperbesar inersia penampang balok.

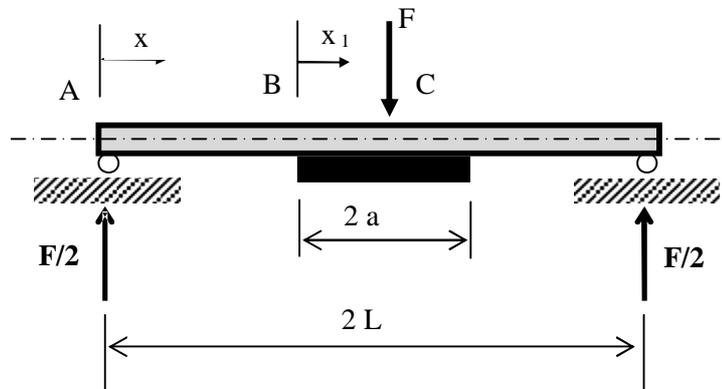
Memperbesar inersia penampang dapat dilakukan dengan cara memperbesar ukuran penampang balok secara keseluruhan atau dengan menambahkan plat penguat pada penampang balok.



Gambar 2 Balok Dengan Penguat

Gambar diatas menunjukkan sebuah balok yang mendapat tambahan plat penguat sepanjang $2a$ pada bagian tengah balok. Dengan penambahan plat penguat ini, inersia dari balok akan bertambah hanya pada bagian sepanjang plat penguat ($2a$) yang ditambahkan. Inersia balok adalah I dan inersia total pada bagian penampang balok yang mendapat tambahan pelat penguat adalah $2I$.

Dalam makalah ini yang akan dikaji adalah hubungan perubahan panjang pelat penguat terhadap besarnya defleksi lateral yang terjadi. Balok dan pelat penguat mempunyai bahan yang sama sehingga mempunyai Modulus Elastisitas (E) yang sama.



Gambar 3 Pembagian Segmen Balok

Analisa untuk segmen AB [$0 < x < (L - a)$]

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{F \cdot x}{2 \cdot E \cdot I} \quad (a)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot x^2}{4 \cdot E \cdot I} + C_1 \quad (b)$$

$$y = \frac{F \cdot x^3}{12 \cdot E \cdot I} + C_1 \cdot x + C_2 \quad (c)$$

Untuk segmen BC [$0 < x_1 < a$]

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{F \cdot [(L-a) + x_1]}{2 \cdot E \cdot [2 \cdot I]} \quad (d)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot [(L-a) + x_1]^2}{8 \cdot E \cdot I} + C_1 \quad (e)$$

$$y = \frac{F \cdot [(L-a) + x_1]^3}{24 \cdot E \cdot I} + C_1 \cdot x_1 + C_2 \quad (f)$$

Dari persamaan (c), pada saat $x = 0$ maka nilai $y = 0$ sehingga diperoleh $C_2 = 0$.

Dari persamaan (b), pada saat $x = 0$ maka nilai $\frac{dy}{dx} = \theta_A$ sehingga $C_1 = \theta_A$.

Persamaan (b) dan (c) menjadi :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot x^2}{4 \cdot E \cdot I} + \theta_A \quad (g)$$

$$y = \frac{F \cdot x^3}{12 \cdot E \cdot I} + \theta_A \cdot x \quad (h)$$

Dari persamaan (e), pada saat $x_1 = a$ maka nilai $\frac{dy}{dx} = 0$ sehingga diperoleh

$$C_1 = -\frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I}$$

Persamaan (e) dan (f) menjadi :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot [(L-a) + x_1]^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \quad (i)$$

$$y = \frac{F \cdot [(L-a) + x_1]^3}{24 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \cdot x_1 + C_2 \quad (j)$$

Untuk mencari nilai θ_A ,

persamaan (g), pada saat $x = (L-a)$ $\Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot (L-a)^2}{4 \cdot E \cdot I} + \theta_A$

persamaan (i), pada saat $x_1 = 0$ $\Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{F \cdot (L-a)^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I}$

dengan menyamakan kedua persamaan tersebut, maka akan diperoleh :

$$q_A = \frac{F \cdot (L-a)^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^2}{4 \cdot E \cdot I} = -\frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^2}{8 \cdot E \cdot I} \quad (k)$$

Persamaan (k) dimasukkan ke persamaan (h), sehingga

$$y = \frac{F \cdot x^3}{12 \cdot E \cdot I} + \left(-\frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^2}{8 \cdot E \cdot I} \right) \cdot x \quad (l)$$

Dari persamaan (l), pada saat $x = (L - a)$, maka

$$y = \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I} + \left[-\frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^2}{8 \cdot E \cdot I} \right] \cdot (L-a)$$

Dari persamaan (f), pada saat $x_1 = 0$, maka

$$y = \frac{F \cdot (L-a)^3}{24 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \cdot 0 + C_2$$

dengan menyamakan kedua persamaan diatas, maka diperoleh :

$$C_2 = -\frac{F \cdot L^2 \cdot (L-a)}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I}$$

Nilai C_2 dimasukkan ke persamaan (f), dan diperoleh :

$$y = \frac{F \cdot (L-a+x_1)^3}{24 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2 \cdot (x_1)}{8 \cdot E \cdot I} + \left(-\frac{F \cdot L^2 \cdot (L-a)}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I} \right) \quad (m)$$

Defleksi maksimum terjadi di setengah panjang batang pada saat $x_1 = a$, sehingga persamaan (m) menjadi :

$$y = \frac{F \cdot (L-a+a)^3}{24 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2 \cdot (a)}{8 \cdot E \cdot I} + \left(-\frac{F \cdot L^2 \cdot (L-a)}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I} \right)$$

$$y = \frac{F \cdot (L)^3}{24 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot L^2 \cdot (a)}{8 \cdot E \cdot I} + \left(-\frac{F \cdot L^2 \cdot (L-a)}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I} \right)$$

$$y = -\frac{F \cdot (L)^3}{12 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot (L-a)^3}{12 \cdot E \cdot I} = -\frac{F}{12 \cdot E \cdot I} (L^3 + (L-a)^3) \quad (n)$$

Jadi dari persamaan (n) dapat diketahui hubungan antara panjang balok dan panjang pelat penguat terhadap besarnya defleksi lateral yang terjadi pada balok yang mendapatkan tambahan pelat penguat.

Sebagai contoh aplikasi, sebuah balok mempunyai penampang dengan lebar (b) = 0,03 m, tinggi (h) = 0,005 m, panjang balok (L) = 1 m. Balok tersebut mendapatkan tambahan plat penguat dengan penampang yang sama dengan penampang balok diatas sedangkan panjang plat penguat (a) yang diberikan bervariasi dari 0,1 m sampai 0,4 m. Bahan dari balok dan plat penguat sama sehingga mempunyai nilai modulus elastisitas yang sama.

Momen inersia (I) penampang balok dan plat penguat yang berbentuk persegi diperoleh dari :

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

dimana b = lebar (m)

h = tinggi (m)

sehingga

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,03 \cdot 0,015^3}{12} = 8,84 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Balok dan plat penguat mempunyai bahan yang sama yaitu S₃₀ C yang mempunyai Modulus Elastisitas (E) = 2 . 10⁵ MPa = 2 . 10¹¹ N / m² . Gaya lentur yang bekerja pada balok F = 10 N.

Untuk kondisi dimana balok tanpa tambahan plat penguat, maka nilai defleksi yang terjadi :

$$d = -\frac{F \cdot (2L)^3}{48 \cdot E \cdot I} = -\frac{10 \cdot (2 \cdot 1)^3}{48 \cdot (2 \cdot 10^{11}) \cdot (8,84 \cdot 10^{-9})} = -0,00098 \text{ m}$$

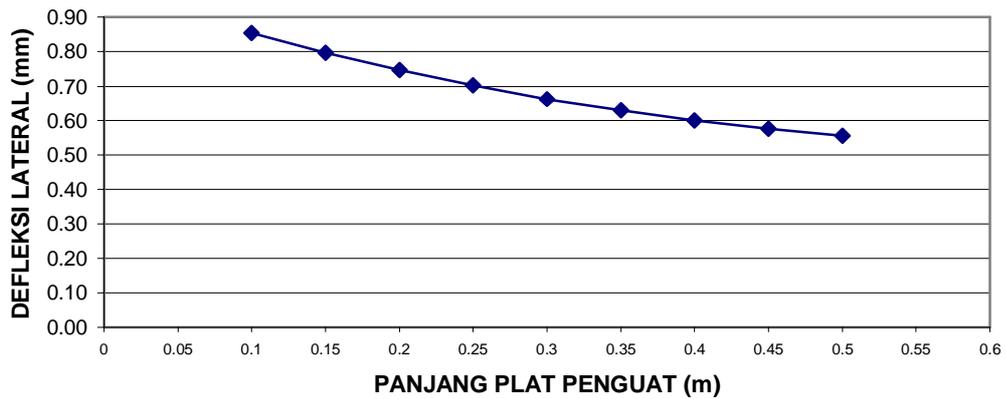
Untuk kondisi dimana balok mendapat tambahan plat penguat dengan panjang a = 0,1 m, maka defleksi yang terjadi :

$$y = -\frac{F}{12 \cdot (2 \cdot 10^7) \cdot (8,84 \cdot 10^{-9})} (1^3 - (1 - 0,1)^3) = 0,000853 \text{ m}$$

Defleksi yang terjadi untuk kondisi panjang plat penguat bervariasi dari 0,1 m sampai 0,5 m dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 1 Hasil Perhitungan

Gaya Lentur (F) N	Lebar (b) m	Tinggi (h) m	Momen Inersia (I) m	Modulus Elastisitas (E)	Panjang Balok (L) m	Panjang Plat Penguat (a) m	Defleksi (y) m
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.10	0.0008538
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.15	0.0007971
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.20	0.0007467
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.25	0.0007022
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.30	0.0006632
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.35	0.0006294
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.40	0.0006005
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.45	0.0005758
10	0.03	0.015	8.44E-09	2.00E+11	1	0.50	0.0005554



Gambar 4. Grafik Defleksi Lateral Terhadap Perubahan Panjang Plat Penguat

PEMBAHASAN

Dari table 1 dapat dilihat bahwa perubahan panjang plat penguat akan mempengaruhi defleksi lateral yang terjadi pada balok, dimana defleksi lateral yang terjadi semakin berkurang apabila panjang plat penguat bertambah panjang. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekakuan balok pada segmen yang mendapat tambahan plat penguat, sehingga dapat menahan defleksi yang terjadi pada balok.

Berdasarkan grafik defleksi lateral, dapat dilihat bahwa defleksi lateral mengalami penurunan dengan bertambahnya panjang plat penguat. Penurunan defleksi lateral yang terjadi menunjukkan kecenderungan semakin kecil apabila panjang plat penguat bertambah. Garis grafik cenderung mendatar apabila panjang plat penguat diperbesar diatas 0,5 m. Hal ini berarti bahwa pada kondisi ini penambahan panjang plat penguat tidak diikuti dengan penurunan defleksi lateral secara signifikan.

SIMPULAN

Dari analisis diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan plat penguat pada balok dapat meningkatkan kekakuan sehingga dapat menahan defleksi lateral yang terjadi.
2. Penurunan defleksi lateral yang terjadi menjadi tidak signifikan apabila penambahan panjang plat penguat melebihi setengah dari panjang balok.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jensen, A., Alih bahasa Ir Darwin Sebayang, 1991, *Kekuatan Bahan Terapan*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- [2] L. Singer, F., Alih bahasa Ir. Darwin Sebayang (LAPAN) , 1985, *Kekuatan Bahan* , Edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- [3] Popov, EP, Alih bahasa Lainul Astamar Tanisa MSc. , 1986 , *Mekanika Teknik*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

