

Penentuan Hubungan Antara Defleksi Lateral dan Radial Poros Baja Pada Berbagai Jenis Tumpuan Secara Teoritik

Viktus Kolo Koten^[1] dan Duma Hasan^[2]

[1] Jurusan Teknik Mesin, Universitas Atma Jaya Makassar

[2] Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin

E-mail: victus_koten@yahoo.com

ABSTRAK

Defleksi lateral dan radial memiliki persamaan tersendiri karena selain memiliki arah defleksi yang berbeda juga memiliki turunan persamaan yang berbeda. Oleh karena itu perhitungan untuk kedua jenis defleksi ini masih dilakukan secara terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara defleksi radial dan lateral pada jenis tumpuan jepit-bebas, jepit-roll, dan jepit-jepit secara teoritik; sebuah hubungan yang memungkinkan penentuan defleksi lateral dan radial dilakukan secara bersamaan. Metode penentuan defleksi radial dan lateral serta hubungannya dilakukan berdasarkan kajian pada berbagai literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya hubungan yang diperoleh antara defleksi radial dan lateral berupa beberapa persamaan. Persamaan hubungan yang diperoleh pada jenis tumpuan jepit-bebas, jepit-roll, dan jepit-jepit secara berturut-turut adalah $\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{3E}{4G} \right)$, $\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{768E}{56G} \right)$, dan $\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{24E}{G} \right)$. Semua

persamaan hubungan ini dapat ditulis menjadi $\frac{\gamma}{y} = K_k \frac{d}{L^2}$ yang mana K_k adalah konstanta Kotten.

Konstanta Kotten ini memiliki nilai sebesar 1,93 untuk jenis tumpuan jepit-bebas, 35,39 untuk tumpuan jepit-roll, dan 61,93 untuk jenis tumpuan jepit-jepit.

Kata Kunci: Defleksi, Lateral, radian

PENDAHULUAN

Defleksi lateral dan radial masing-masing memiliki formula teoritik secara tersendiri oleh karena selain arah defleksi yang berbeda juga mempunyai dasar turunan persamaan yang berbeda. Defleksi radial merupakan sebagian fungsi dari modulus geser dan defleksi lateral merupakan sebagian fungsi dari modulus elastis.

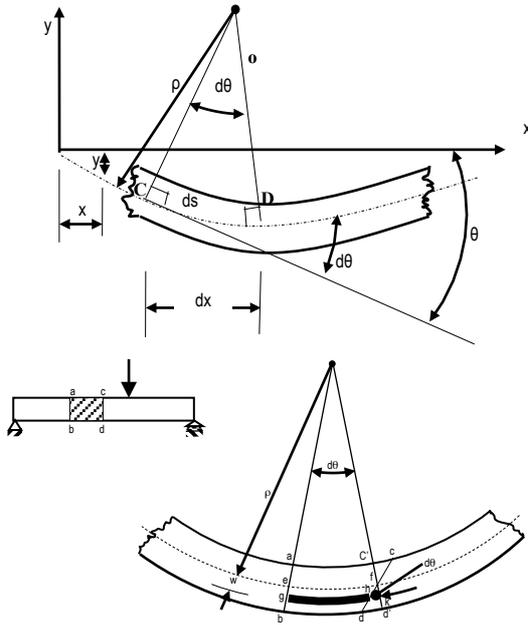
Jika suatu bahan memiliki sifat fisik dan jenis tumpuan yang sama namun mengalami perlakuan pembebanan yang berbeda maka pada bahan tersebut akan terjadi suatu hubungan perubahan geometri. Suatu poros dapat mengalami pembebanan lateral dan radial secara bergantian dan/atau bersamaan pada kondisi tertentu. Perhitungan defleksi lateral dan radial secara terpisah merupakan suatu persoalan yang tidak perlu dilakukan jika hubungan defleksi lateral dan radial ini dapat ditentukan.

Kajian tentang defleksi lateral telah dikembangkan oleh Popov E. P, Ferdinand L. Singer dan Andrew Pythel. Walaupun kedua kajian tersebut memiliki teknik uraian yang berbeda, secara umum mendapatkan hasil yang sama. Berikut ini adalah kajian defleksi lateral menurut Ferdinand L. Singer dan Andrew Pythel. Dari Gambar 1, persamaan defleksi lateral dapat diperoleh,

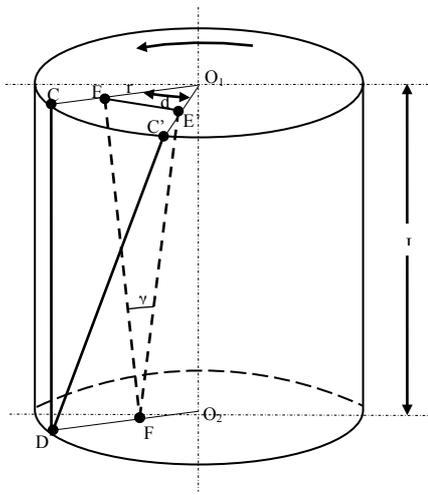
$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1)$$

Kajian tentang defleksi radial telah dikembangkan oleh Popov E. P., Ferdinand L. Singer dan Andrew Pythel, serta Timoshenko P. Stephen, dan Gere M. James. Walaupun kajian-kajian tersebut memiliki teknik uraian yang berbeda, secara umum kajian tersebut mendapatkan hasil yang sama. Berikut ini kajian defleksi radial menurut Ferdinand L. Singer dan Andrew Pythel. Dari Gambar 2, persamaan defleksi radial dapat diperoleh,

$$\gamma = \frac{Mp.L}{GIp} \quad (2)$$



Gambar 1. Defleksi lateral poros

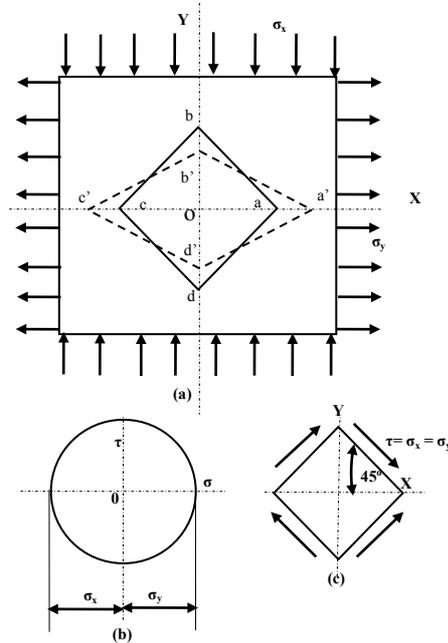


Gambar 2. Defleksi radial poros

Kajian tentang hubungan antara defleksi lateral dan radial belum pernah dilakukan. Kajian yang telah dilakukan adalah hubungan antara modulus geser dan modulus elastis. Berikut ini adalah kajian hubungan antara modulus geser dan modulus elastis menurut Ferdinand L. Singer dan Andrew Pythel. Dari Gambar 3, hubungan antara modulus geser dan modulus elastis dapat diperoleh,

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3)$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan hubungan antara defleksi lateral dan radial pada jenis tumpuan jepit-bebas, jepit-roll, dan jepit-jepit; sebuah hubungan yang memungkinkan penentuan defleksi lateral dan radial dapat dilakukan secara bersamaan.



Gambar 3. Geser murni dan regangan geser

ρ , $d\theta$, θ , ds , y , dx , w , σ , τ , L , dan γ berturut-turut adalah jari-jari lentur poros, perubahan sudut lentur, sudut lentur, perubahan panjang lentur, defeksi lateral, perubahan panjang poros, jarak antara serat terluar dengan sumbu poros, tegangan tarik, tegangan geser, panjang poros, dan defleksi radial poros.

METODE

Instrumen Penelitian.

Instrumen penelitian diperlihatkan seperti pada Gambar 4.

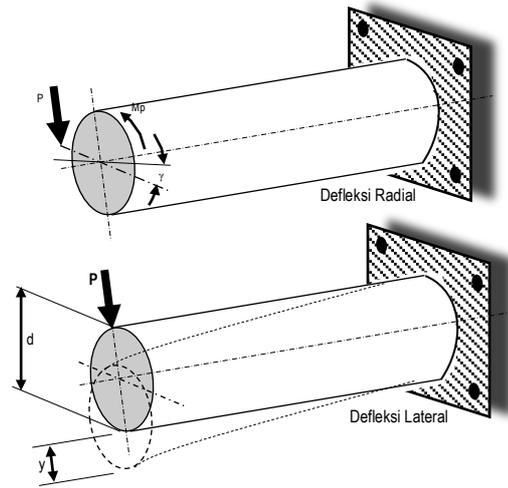
Langkah Penyelesaian Defleksi Lateral.

Langkah penyelesaian defleksi lateral dilakukan sebagai berikut: (1) Menggambar dan menyederhanakan persoalan dalam bentuk diagram benda bebas berdasarkan jenis tumpuan; jepit-bebas. (2) Memilih metode penyelesaian dan menjabarkan rumusnya. (3) Menghitung momen inersia penampang poros berdiameter 4 mm. (4) Memasukkan modulus elastis bahan poros dari literatur ke dalam Persamaan (1) yang telah dijabarkan. (5) Memasukkan panjang poros 50 mm ke dalam Persamaan (1) yang telah dijabarkan. (6)

Memasukkan beban 50 gram ke dalam Persamaan (1) yang telah dijabarkan. (7) Melakukan perhitungan defleksi lateral poros berdasarkan Persamaan (1) yang telah dijabarkan. (8) Mengulangi langkah (6) dan (7) namun dengan beban 100, 150, 200, dan 250 gram secara berturut-turut. Setelah perhitungan defleksi lateral pada beban 250 gram selesai maka perhitungan untuk panjang poros 100 mm sudah dapat dilakukan. (9) Mengulangi langkah (5) sampai (8) namun dengan panjang poros 100, 150, 200 dan 250 mm secara berturut-turut. Setelah perhitungan untuk panjang poros 250 mm selesai maka perhitungan untuk jenis tumpuan yang lain sudah dapat dilakukan. (10) Mengulangi langkah (1) sampai (8) namun dengan jenis tumpuan jepit-roll dan jepit-jepit secara berturut-turut. Setelah perhitungan untuk jenis tumpuan jepit-jepit selesai maka semua hasil perhitungan sudah dapat ditabelkan.

Langkah Penyelesaian Defleksi Radial

Langkah penyelesaian defleksi radial dilakukan sebagai berikut: (1) Menggambar dan menyederhanakan persoalan yang diteliti menjadi diagram benda bebas serta menjabarkan Persamaan (2) berdasarkan jenis tumpuan; jepit-bebas. (2) Menghitung momen inersia polar berdasarkan diameter poros 4 mm. (3) Memasukkan modulus geser bahan poros dari literatur ke Persamaan (2) yang telah dijabarkan. (4) Memasukkan panjang poros 50 mm ke dalam Persamaan (2) yang telah dijabarkan. (5) Menghitung momen torsi berdasarkan jari-jari poros dengan beban 50 gram dan memasukkannya ke dalam Persamaan (2) yang telah dijabarkan. (6) Menghitung defleksi radial dengan bantuan Persamaan (2) yang telah dijabarkan. (7) Mengulangi langkah (5) dan (6) namun dengan beban 100, 150, 200, dan 250 gram secara berturut-turut. Setelah perhitungan untuk beban 250 gram selesai maka perhitungan untuk panjang poros yang lainnya sudah dapat dilakukan. (8) Mengulangi langkah (4) sampai (7) namun dengan panjang poros 100, 150, 200, dan 250 mm secara berturut-turut. Setelah perhitungan untuk panjang poros 250 mm selesai maka perhitungan untuk jenis tumpuan lainnya sudah dapat dilakukan. (9) Mengulangi langkah (1) sampai (8) namun dengan jenis tumpuan jepit-roll dan jepit-jepit secara berturut-turut. Setelah perhitungan untuk jenis tumpuan jepit-jepit selesai maka semua hasil perhitungan sudah dapat ditabelkan.



Gambar 4. Instrumen penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjabaran Rumus Defleksi Lateral.

Sebagai contoh, penjabaran rumus dilakukan pada jenis tumpuan jepit-bebas. Berdasarkan jenis tumpuan yang dianalisis maka diagram benda bebasnya diperlihatkan pada Gambar 6. Metode yang digunakan untuk menjabarkan Persamaan (1) berdasarkan jenis tumpuan ini adalah metode integral. Dari hubungan antara diagram benda bebas dan metode yang dipilih maka penjabaran rumus pada Persamaan (1) menghasilkan Persamaan (4), (5), (6), (7), dan (8) sebagai berikut.

Dari analisis kesetimbangan momen lentur pada Gambar 5 (c) menghasilkan,

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = PL - Px \quad (4)$$

Integral pertama dan ke dua dari persamaan ini menghasilkan,

$$EI \frac{dy}{dx} = PLx - \frac{Px^2}{2} + C_1 \quad (5)$$

$$EIy = \frac{PLx^2}{2} - \frac{Px^3}{6} + C_1x + C_2 \quad (6)$$

Kondisi batas;

Pada $x=0$ menghasilkan $\frac{dy}{dx}=0$; Persamaan (5) =

0, sehingga $C_1 = 0$.

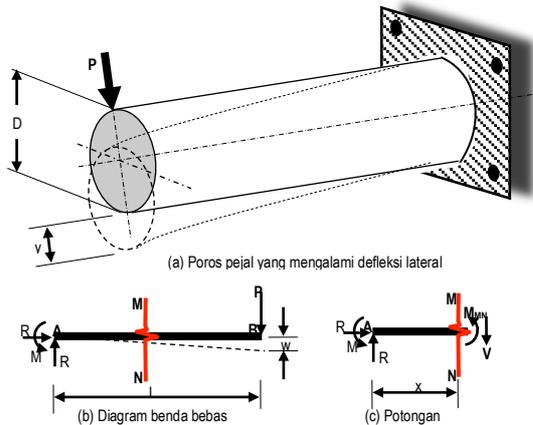
Pada $x=0$ menghasilkan $y=0$; Persamaan (6) = 0, sehingga $C_2 = 0$.

Pemasukan nilai C_1 dan C_2 ke dalam Persamaan (6) menghasilkan,

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{PLx^2}{2} - \frac{Px^3}{6} \right] \quad (7)$$

Sehingga pada $x = L$, Persamaan (7) menjadi

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{PL^3}{3} \right] \quad (8)$$



Gambar 5. Diagram benda bebas defleksi lateral poros untuk jenis tumpuan jepit-bebas.

I , E , L , dan P berturut-turut adalah momen tahanan lentur, modulus elastis, panjang bentangan poros, dan beban. Momen tahanan lentur dalam arah z dihitung berdasarkan diameter poros, $I = \frac{\pi d^4}{64}$. Dengan memasukkan

diameter poros 4 mm dan konstanta $\pi = 3,14$ ke dalam persamaan momen tahanan lentur, diperoleh nilai $I = 12,56 \text{ mm}^4$. Modulus elastis E^+ bahan poros baja diambil dari literatur sebesar 190-210 GPa dipilih sebesar 200 GPa, menjadi 20387359,84 gram/mm². Panjang dan beban dipilih secara berturut-turut sebesar 50 mm dan 50 gram. Dengan memasukkan nilai I , E , L , dan P yang sudah dihitung dan ditentukan ke Persamaan (8) menghasilkan

$$y = \frac{1}{20387359,84 \times 12,56} \left[\frac{50(50)^3}{3} \right] = 0,00814 \text{ mm.}$$

Perhitungan defleksi lateral untuk variasi beban dan panjang poros lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

Penjabaran Rumus Defleksi Radial

Dari analisis kesetimbangan momen lentur pada Gambar 6 (c) menghasilkan,

$$\gamma = \frac{Mpx}{GI_p} \quad (9)$$

Pada $x = L$ maka

$$\gamma = \frac{PRL}{GI_p} \quad (10)$$

I_p , G , L , R , dan P berturut-turut adalah momen tahanan puntir (momen inersia polar), modulus geser, panjang bentangan poros, jari-jari poros, dan beban. Momen tahanan puntir dihitung

berdasarkan diameter poros; 4 mm, yaitu

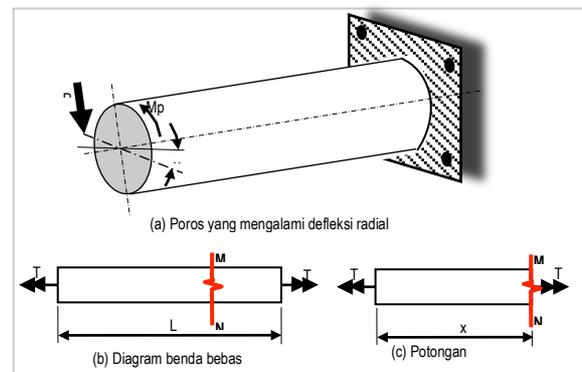
$$I_p = \frac{\pi}{32} d^4 = 25,12 \text{ mm}^4.$$

Dari literatur diperoleh modulus geser G^{++} dari bahan baja sebesar 75-80 GPa (dipilih 77,5 GPa) menjadi 7900101,937 gram/mm². Panjang bentangan poros yang diinput untuk contoh perhitungan ini sebesar 50 mm, beban sebesar 50 gram, dan jari-jari poros sebesar 2 mm. Dengan memasukkan I_p , G , L , R , dan P ke dalam

Persamaan (10) menghasilkan, $\gamma = \frac{Mp.L}{GI_p}$, $\gamma =$

$$\frac{50 \times 2 \times 50}{7900101,937 \times 25,12} = 2.5195E-05 \text{ radian.}$$

Perhitungan pada beban dan panjang poros lainnya dilakukan dengan cara yang sama.



Gambar 6. Diagram benda bebas defleksi radial poros untuk jenis tumpuan jepit-bebas

Hubungan Defleksi Lateral Dan Radial

Hubungan antara defleksi radial dan lateral dilakukan berdasarkan Persamaan (8) dan Persamaan (10). Hubungan kedua persamaan

ini memberikan, $\frac{\gamma}{y} = \frac{MpL/GI_p}{PL^3/3EI}$, dimana $Mp = P \times R$

R yang mana $R = d/2$, sehingga diperoleh

$$\frac{\gamma}{y} = \left(\frac{3E}{4G} \right) \frac{d}{L^2}. \quad (11)$$

Pemasukan modulus elastis dan modulus geser ke Persamaan (11) menghasilkan,

$$\frac{\gamma}{y} = 1,93 \frac{d}{L^2}. \quad (12)$$

Penentuan bentuk hubungan antara defleksi lateral dan radial pada jenis tumpuan jepit-roll dan jepit-jepit dilakukan dengan cara yang sama. Pada jenis tumpuan jepit-roll menghasilkan,

$$\frac{\gamma}{y} = 35,39 \frac{d}{L^2}. \quad (13)$$

Pada jenis tumpuan jepit-jepit menghasilkan,

$$\frac{\gamma}{y} = 61,93 \frac{d}{L^2}. \quad (14)$$

Persamaan (12), (13), dan (14) dapat ditulis menjadi

$$\frac{\gamma}{y} = K_k \frac{d}{L^2} \quad (15)$$

Untuk kepentingan kemudahan aplikasi Persamaan (15) dapat ditulis kembali menjadi,

$$y = \frac{\gamma L^2}{K_k d}. \quad (16)$$

Keseluruhan hasil turunan rumus diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil perhitungan defleksi lateral dan radial pada berbagai jenis tumpuan akibat variasi beban luar dan panjang poros diperlihatkan pada Tabel 2.

Pembahasan

Pada jenis tumpuan jepit-bebas, defleksi radial maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram pada panjang poros 250 mm sebesar 0,00062988 radian. Defleksi radial minimum terjadi pada beban 50 gram pada panjang poros 50 mm sebesar 2,5195E-05 radian. Defleksi lateral maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram dan panjang poros 250 mm sebesar 5,08497 mm. Defleksi lateral minimum terjadi pada beban 50 gram dan panjang poros 50 mm sebesar 0,00814 mm. Besarnya defleksi maksimum maupun minimum ini diambil pada ujung bebas bentangan poros karena pada titik ini, poros mengalami defleksi maksimum baik lateral maupun radial.

Pada jenis tumpuan jepit-roll, defleksi radial maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram pada panjang poros 250 mm sebesar 0,00031494 radian. Defleksi radial minimum terjadi pada beban 50 gram pada panjang poros 50 mm sebesar 1.2598E-05 radian. Defleksi lateral maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram dan panjang poros 250 mm sebesar 0,13904 mm. Defleksi lateral minimum terjadi pada beban 50 gram dan panjang poros 50 mm sebesar 0,00022 mm. Besarnya defleksi maksimum maupun minimum ini diambil pada setengah dari panjang bentangan poros karena pada titik ini poros mengalami defleksi maksimum baik lateral maupun radial.

Pada jenis tumpuan jepit-jepit, defleksi radial maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram pada panjang poros 250 mm sebesar 0,00031494 radian. Defleksi radial minimum terjadi pada beban 50 gram pada

panjang poros 50 mm sebesar 1.2598E-05 radian. Defleksi lateral maksimum akibat beban eksternal terjadi pada beban 250 gram dan panjang poros 250 mm sebesar 0,07945 mm. Defleksi lateral minimum terjadi pada beban 50 gram dan panjang poros 50 mm sebesar 0,00013 mm. Besarnya defleksi maksimum maupun minimum ini diambil pada setengah dari panjang bentangan poros karena pada titik ini, poros mengalami defleksi maksimum baik lateral maupun radial.

Pemilihan posisi penentuan defleksi ini dilakukan berdasarkan posisi dimana poros mengalami defleksi maksimum baik defleksi lateral maupun radial. Hal ini dilakukan karena pertimbangan keamanan dalam perencanaan konstruksi mesin khususnya poros. Penentuan diameter poros minimum sering dilakukan pada posisi dimana poros mengalami defleksi maksimum. Jika posisi defleksi maksimum poros dan diameter poros minimum dapat ditentukan secara tepat maka keamanan poros di sepanjang bentangan poros selebihnya dapat dijamin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa defleksi maksimum baik lateral maupun radial terjadi pada jenis tumpuan jepit-bebas. Hal ini terjadi karena dari hasil turunan rumus pada tabel 1 kolom 2 dan 3 memperlihatkan nilai penyebut cenderung mengalami peningkatan berturut-turut terhadap jenis tumpuan jepit-roll dan jepit-jepit. Hasil ini juga menunjukkan bahwa jenis tumpuan jepit-bebas tidak cukup kuat untuk menerima beban luar jika dibandingkan secara berturut-turut terhadap jenis tumpuan jepit-roll dan jepit-jepit.

Tidak seperti metode yang selama ini dilakukan; perhitungan defleksi lateral dan radial dilakukan secara terpisah meskipun memiliki kesamaan kondisi pembebanan dan parameter-parameter terkait lainnya, perhitungan defleksi lateral dan radial dari hasil penelitian ini dapat dilakukan secara bersamaan pada kondisi dan parameter-parameter terkait lainnya sama.

Parameter yang digunakan untuk menghitung defleksi radial harus sama dengan parameter yang digunakan untuk menghitung defleksi lateral. Persamaan 12, 13, 14, dan 15 serta hasil pada tabel 1 kolom 4, 5, dan 6, ini berlaku jika kondisi pembebanan yang terjadi seperti yang tergambar pada tabel 1 kolom 1, besar beban, panjang bentangan poros, jenis bahan, bentuk poros, dan diameter poros yang sama. Persamaan 12, 13, 14, dan 15 serta hasil

pada tabel 1 kolom 4, 5, dan 6, tidak dapat digunakan bila salah satu dari parameternya (kondisi pembenan, besar beban, panjang poros, jenis bahan, bentuk poros, dan diameter poros) tidak sama.

Penemuan konstanta Kotten dari penelitian ini memudahkan perhitungan satu jenis defleksi dari kedua jenis defleksi yang ada pada penelitian ini. Dalam kebanyakan kasus, penentuan defleksi radial lebih mudah dilakukan dari pada defleksi lateral. Dengan demikian sebelum menerapkan konstanta Kotten ini sebaiknya terlebih dahulu menghitung defleksi radial. Perhitungan defleksi lateral dilakukan melalui memasukkan nilai konstanta Kotten hasil temuan ini ke dalam persamaan (16). Melalui definisi ini maka memungkinkan seorang disainer tidak perlu melakukan perhitungan defleksi radial dan lateral secara terpisah.

Perubahan konstanta Kotten pada ruas kanan tabel 1 kolom 6 sangat tergantung pada jenis tumpuan. Semakin kaku suatu jenis tumpuan maka semakin besar pula nilai konstanta Kottennya. Pada jenis tumpuan jepit bebas nilai konstanta Kottennya sebesar 1,93, pada jenis tumpuan jepit-roll nilai konstanta Kottennya 35,39, dan pada jenis tumpuan jepit-jepit nilai konstanta Kottennya sebesar 61,93.

Suatu ketetapan baru yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah hubungan antara defleksi radial dan lateral yang didefinisikan seperti persamaan (12), (13), dan (14) secara berturut-turut,

$\frac{\gamma}{y} = 1,93 \frac{d}{L^2}$ untuk jenis

tumpuan jepit-bebas, $\frac{\gamma}{y} = 35,39 \frac{d}{L^2}$ untuk

jenis tumpuan jepit-roll, dan $\frac{\gamma}{y} = 61,93 \frac{d}{L^2}$

untuk jenis tumpuan jepit-jepit. Bentuk persamaan hubungan defleksi yang diperoleh ini memperlihatkan perbedaan konstanta pada ruas kanan persamaan. Nilai konstanta-

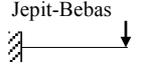
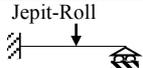
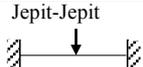
konstanta ini dapat ditulis menjadi $\frac{\gamma}{y} = K_k \frac{d}{L^2}$

Di mana K_k = konstanta Kotten. Konstanta Kotten ini memiliki nilai sebesar 1,93 untuk jenis tumpuan jepit-bebas, 35,39 untuk tumpuan jepit-roll, dan 61,93 untuk tumpuan jepit-jepit.

DAFTAR PUSTAKA

1. Beer P. Ferdinand, Johnston Russel E. 1987. *Mechanics for Engineering*. New York : McGRAW-HILL. International editions.
2. Budynas G. Richard, 1977. *Advanced Strength And Applied Stress Analysis*. New York. McGRAW-HILL.
3. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 02 Desember 2006. *An Exact High Order Beam Element*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
4. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 12 Desember 2006. *Stiffness Matrices For Flexural-Torsional/Lateral Buckling And Vibration Analysis Of Thin-Walled Beam*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
5. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). Desember 2006. *The Influence of Instrumental Errors on The Static Identification of Damage Parameters For Elastic Beams*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
6. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 16 January 2007. *Exact Static Analysis of Partially Composite Beams And Beam-Columns*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
7. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 16 January 2007. *Two Approaches to The Dynamic Analysis of Foundation Beams Subjected to Subtangential Forces*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
8. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 04 February 2007. *Elastic-Plastic Beam-on-Foundation Subjected to Mass Impact or Impulsive Loading*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
9. Michael Lumentut. (milum2004@yahoo.com). 06 Maret 2007. *The Optimum Shape of A Bending Beam*. E-mail to Victus K. Koten (Victus_koten@yahoo.com).
10. Popov E. P. 1978. *Mekanika Teknik*. Translate by Zainul Astamar. 1996. Jakarta. Erlangga.
11. Singer F. L., Pytel Andrew. 1980. *Kekuatan Bahan*. Translate by Darwin Sebayang. 1985. Jakarta : Erlangga.
12. Timoshenko P. Stephen, Gere M. James, 1997. *Mekanika Bahan*. Translate by Suryoatmo Bambang. 2000. Jakarta : Erlangga.

Tabel 1. Hubungan antara defleksi lateral dan radial poros pejal baja pada berbagai jenis tumpuan

Jenis Tumpuan	Persamaan Defleksi Lateral	Persamaan Defleksi Radial	Hubungan Defleksi Radial dan Lateral	Rekomendasi Persamaan	Besaran Konstanta Kotten (K _k)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Jepit-Bebas 	$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{PL^3}{3} \right]$	$\gamma = \frac{Mp.L}{GIp}$	$\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{3E}{4G} \right)$	$\frac{\gamma}{y} = K_k \frac{d}{L^2}$	1,93
Jepit-Roll 	$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{7PL^3}{768} \right]$	$\gamma = \frac{Mp.L}{2GIp}$	$\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{768E}{56G} \right)$		35,39
Jepit-Jepit 	$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{PL^3}{192} \right]$	$\gamma = \frac{Mp.L}{2GIp}$	$\frac{\gamma}{y} = \frac{d}{L^2} \left(\frac{24E}{G} \right)$		61,93

Tabel 2. Hasil perhitungan defleksi lateral dan radial pada berbagai jenis tumpuan akibat beban variasi beban dan panjang poros

Panjang Poros (mm)	Beban (gram)	Defleksi Lateral (mm)			Defleksi Radial (radian)		
		Jepit-Bebas	Jepit-Roll	Jepit-Jepit	Jepit-Bebas	Jepit-Roll	Jepit-Jepit
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
50	50	0.00814	0.00022	0.00013	2.5195E-05	1.2598E-05	1.2598E-05
	100	0.01627	0.00044	0.00025	5.0390E-05	2.5195E-05	2.5195E-05
	150	0.02441	0.00067	0.00038	7.5586E-05	3.7793E-05	3.7793E-05
	200	0.03254	0.00089	0.00051	0.00010078	5.0390E-05	5.0390E-05
	250	0.04068	0.00111	0.00064	0.00012598	6.2988E-05	6.2988E-05
100	50	0.06509	0.00178	0.00102	5.0390E-05	2.5195E-05	2.5195E-05
	100	0.13018	0.00356	0.00203	0.00010078	5.0390E-05	5.0390E-05
	150	0.19526	0.00534	0.00305	0.00015117	7.5586E-05	7.5586E-05
	200	0.26035	0.00712	0.00407	0.00020156	0.00010078	0.00010078
	250	0.32544	0.00890	0.00508	0.00025195	0.00012598	0.00012598
150	50	0.21967	0.00601	0.00343	7.5586E-05	3.7793E-05	3.7793E-05
	100	0.43934	0.01201	0.00686	0.00015117	7.5586E-05	7.5586E-05
	150	0.65901	0.01802	0.01030	0.00022676	0.00011338	0.00011338
	200	0.87868	0.02403	0.01373	0.00030234	0.00015117	0.00015117
	250	1.09835	0.03003	0.01716	0.00037793	0.00018896	0.00018896
200	50	0.52070	0.01424	0.00814	0.00010078	5.0390E-05	5.0390E-05
	100	1.04140	0.02848	0.01627	0.00020156	0.00010078	0.00010078
	150	1.56210	0.04271	0.02441	0.00030234	0.00015117	0.00015117
	200	2.08280	0.05695	0.03254	0.00040312	0.00020156	0.00020156
	250	2.60350	0.07119	0.04068	0.00050390	0.00025195	0.00025195
250	50	1.01699	0.02781	0.01589	0.00012598	6.2988E-05	6.2988E-05
	100	2.03399	0.05562	0.03178	0.00025195	0.00012598	0.00012598
	150	3.05098	0.08343	0.04767	0.00037793	0.00018896	0.00018896
	200	4.06797	0.11123	0.06356	0.00050390	0.00025195	0.00025195
	250	5.08497	0.13904	0.07945	0.00062988	0.00031494	0.00031494