

Rasio Lendutan Geser terhadap Lendutan Lentur dan Pengaruhnya terhadap Kekakuan Lentur (EI) pada Balok Kayu

Ratio of Shear to Bending Deflection and Its Influence to Bending Stiffness (EI) of Timber Beam

Indah Sulistyawati

Abstract

Bending Stiffness values which is expressed in EI can be obtained by using bending test of beam in laboratory. Base on value of deflection that was entered to one particular equation, can be calculated the bending stiffness. Usually bending test in laboratory was conducted with beam put down above two simple placements by giving one point loading in the middle span or two points loading in one-third span each. The deflection was measured in the middle of span. In the calculation of bending stiffness, usually used the deflection of the bending moment only. In fact, there was deflection caused by shear load, so total deflection in the middle span is bending deflection plus shear deflection. The shear deflection on beams with certain length and dimension was compared to bending deflection that has different value to each other. The test of *Acacia mangium* timber beam showed that comparison value has variety; it can reach more than 15%. This matter will influence the value of the bending stiffness of beam. By including shear deflection higher bending stiffness value will be obtained, so it will yield more economical design.

The objective of this research was to determine ratio of shear to bending deflection, and the influence of calculation of bending stiffness if shear deflection on the beam with certain dimension and length of span is calculated.

Key words: bending stiffness, deflection, bending moment, shear load, *Acacia mangium*

Pendahuluan

Didalam memperoleh nilai kekakuan lentur (EI) dari hasil uji lentur balok hampir atau selalu mengabaikan lendutan akibat gaya geser. Pada kondisi tertentu gaya geser yang dipikul oleh balok mempunyai pengaruh terhadap lendutan total sehingga memungkinkan untuk diperhitungkan. Lendutan total sebenarnya yang terjadi adalah jumlah lendutan akibat momen lentur dan gaya geser, sehingga dapat dituliskan sebagai persamaan

$$y_{total} = y_{momenlentur} + y_{geser}$$

Apabila lendutan akibat gaya geser diabaikan dan hanya memperhitungkan lendutan akibat momen lentur, dapat mempengaruhi nilai kekakuan lentur (EI) dari balok. Besar lendutan geser dari balok dapat diperoleh dari perhitungan dengan cara analitik, selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menghitung kekakuan lentur sebenarnya. Dengan memperhitungkan lendutan geser akan diperoleh nilai kekakuan lentur yang berbeda apabila tanpa memperhitungkan lendutan gesernya. Didalam desain balok, dengan memperhitungkan nilai EI yang lebih besar menunjukkan kemampuan balok menahan lendutan lebih besar pula atau dapat dikatakan bahwa balok lebih kaku. Hal ini menghasilkan desain yang lebih ekonomis dibandingkan kalau menggunakan nilai EI yang lebih kecil. Nilai EI yang sebenarnya dapat diperoleh apabila memperhitungkan lendutan yang terjadi akibat

momen lentur maupun gaya geser. Besaran dan perbedaan kedua lendutan tersebut perlu diketahui dan dikaji pengaruhnya sehubungan dengan sifat kekakuan lentur balok.

Berdasarkan teori energi yang telah dibahas didalam beberapa buku pustaka (Radcliffe 1953; Biblis 1965; Beer dan Johnston 1992; Gere dan Timoshenko 1997; Oden dan Ripperger 1981; Timoshenko 1976; Tauchert 1974) dan selanjutnya diselesaikan dengan teori Castigliano dapat diperoleh persamaan lendutan akibat momen lentur maupun gaya geser.

Persamaan untuk lendutan akibat momen lentur adalah:

$$y_b = \int_0^L \frac{M}{EI} \Big|_{x=0} \frac{\partial M}{\partial X} dx \dots\dots\dots(1)$$

dimana $M \Big|_{x=0}$ adalah momen lentur akibat beban luar

dan dapat ditulis sebagai M , sedangkan $\frac{\partial M}{\partial X}$ adalah

momen lentur m akibat beban satu satuan pada titik yang lendutannya akan dicari, dan lendutan akibat gaya geser adalah:

$$y_s = k \int_0^L \frac{V}{GA} \Big|_{x=0} \frac{\partial V}{\partial X} dx \dots\dots\dots(2)$$

dimana $V|_{x=0}$ adalah gaya geser akibat beban luar dan dapat ditulis sebagai V , sedangkan $\frac{\partial V}{\partial X}$ adalah gaya

geser v akibat beban satu satuan pada titik yang lendutannya akan dicari. E adalah modulus elastisitas, I adalah momen inersia penampang, G adalah modulus geser, A adalah luas penampang, dan k adalah faktor bentuk penampang balok.

Didalam mendapatkan nilai lendutan akibat gaya geser terlebih dahulu harus mengetahui besar nilai G material kayu, karena didalam menghitung besar lendutan geser diperlukan nilai tersebut yang dapat diperoleh dari pengujian laboratorium, yaitu dengan memanfaatkan perbandingan lendutan akibat pengujian balok ukuran sebenarnya dan bebas cacat (Sulistiyawati 2005).

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah memperoleh rasio lendutan geser terhadap lendutan lentur dan pengaruh didalam perhitungan kekakuan lentur EI apabila juga memperhitungkan lendutan geser yang

terjadi pada balok dengan dimensi dan panjang bentang tertentu.

Material dan Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini terdiri dari 2 (dua) tahap yaitu :

1. Pengujian Laboratorium:
 Pengujian laboratorium dilakukan untuk mendapatkan nilai G material kayu. Kayu yang digunakan sebagai benda uji adalah *Acacia mangium* yang ditebang dari hutan di Parung Panjang dengan umur kayu 10 tahun 6 bulan. Pengerinan dilakukan secara alamiah dengan cara menyusun kayu, diberi antara dan diletakkan pada ruang terbuka dan beratap. Pada saat pengujian kayu dalam kondisi kering udara dengan kadar air sekitar 14 sampai dengan 16%.

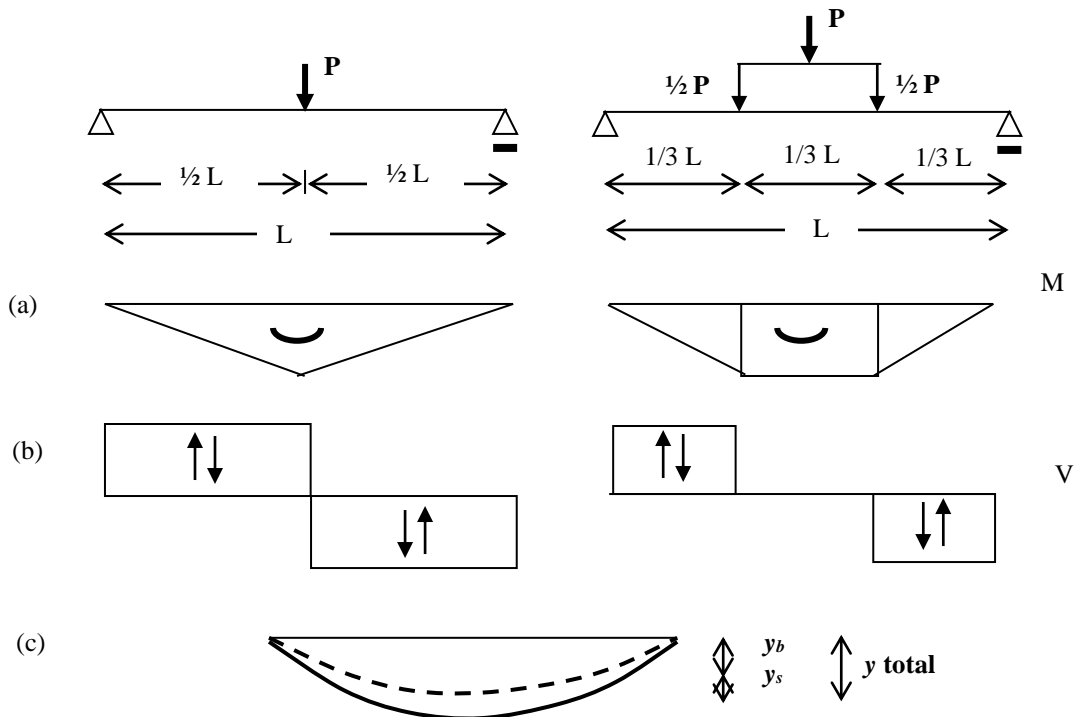


Figure 1. Two loading conditions.
 (a) Bending Moment (M) diagram
 (b) Shear Load (V) diagram
 (c) Deflection
 P = Load
 L = Length of Span
 y_b = Bending Deflection
 y_s = Shear Deflection

Table 1. Dimension of each category (in mm). Notes: b = width; h = height; L = span.

Category 1				Category 2				Category 3				Category 4			
No	b	h	L = 14 h	No	b	h	L = 14 b	No	b	h	L	No	b	h	L
1	50	100	1400	1	100	50	1400	1	50	100	3000	1	100	50	3000
2	60	120	1680	2	120	60	1680	2	60	120	3000	2	120	60	3000
3	80	150	2100	3	150	80	2100	3	80	150	3000	3	150	80	3000
4	80	200	2800	4	200	80	2800	4	80	200	3000	4	200	80	3000
5	100	200	2800	5	200	100	2800	5	100	200	3000	5	200	100	3000
6	120	200	2800	6	200	120	2800	6	120	200	3000	6	200	120	3000
7	150	200	2800	7	200	150	2800	7	150	200	3000	7	200	150	3000
8	100	250	3500	8	250	100	3500	8	100	250	3000	8	250	100	3000
9	120	250	3500	9	250	120	3500	9	120	250	3000	9	250	120	3000
10	150	250	3500	10	250	150	3500	10	150	250	3000	10	250	150	3000
11	200	250	3500	11	250	200	3500	11	200	250	3000	11	250	200	3000
12	100	300	4200	12	300	100	4200	12	100	300	3000	12	300	100	3000
13	120	300	4200	13	300	120	4200	13	120	300	3000	13	300	120	3000
14	150	300	4200	14	300	150	4200	14	150	300	3000	14	300	150	3000

2. Perhitungan Analitik:

Perhitungan secara analitik dilakukan untuk mendapatkan persamaan lendutan akibat momen lentur dan gaya geser. Modulus geser hasil pengujian laboratorium digunakan didalam perhitungan lendutan geser. Selanjutnya dihitung besar perbandingan nilai lendutan geser terhadap lendutan lentur, kemudian digambarkan dalam bentuk grafik.

Pengamatan dilakukan dengan dua macam pembebanan yaitu (1) beban terpusat ditengah bentang, merupakan pembebanan untuk kategori 1 sampai dengan 4 dan (2) beban terpusat pada masing-masing satu pertiga bentang untuk kategori 5 sampai 8, seperti pada Gambar 1. Seluruh kategori dilakukan untuk balok yang terletak diatas perletakan sederhana. Masing-masing kategori terdiri dari 14 variasi dimensi balok kayu yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1. Lebar balok (b) merupakan sisi pada arah sumbu x dan tinggi balok (h) pada sumbu y. Kategori dengan nomor ganjil merupakan balok yang diletakkan secara vertikal dan nomor genap balok diletakkan secara horizontal.

Hasil dan Pembahasan

Telah diketahui bahwa persamaan untuk lendutan akibat lentur mempunyai faktor pembagi EI dan GA untuk lendutan akibat gaya geser. Nilai G diperoleh dari pengujian laboratorium dengan melakukan pengujian

balok lentur untuk mendapatkan modulus elastisitas benda uji dengan ukuran full scale (E_{fs}) dan benda uji ukuran small clear (E_{sc}). Dengan menggunakan grafik hubungan $a = G/E_{fs}$ pada sumbu x dan perbandingan E_{fs}/E_{sc} pada sumbu y maka akan diperoleh nilai G , seperti dapat dilihat pada Gambar 2 (Sulistiyawati 2005).

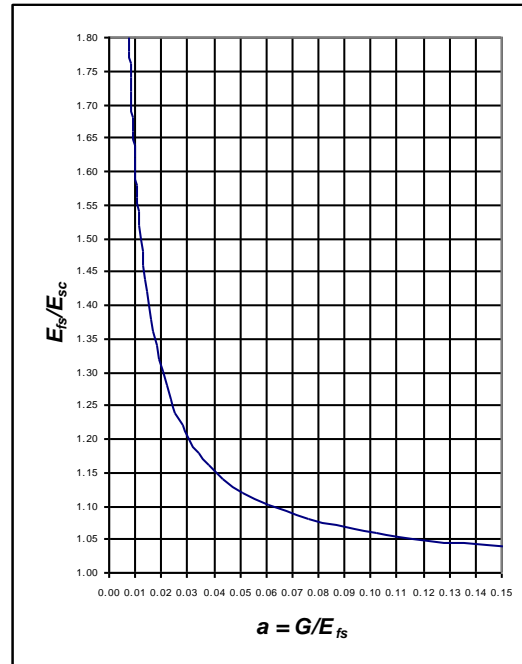


Figure 2. Shear modulus (G) of timber

Nilai G kayu *Acacia mangium* adalah $1/17.45 \times E$. Berdasarkan perhitungan secara analitik menggunakan persamaan (1) dan (2), diperoleh perbandingan besar lendutan geser terhadap lendutan lentur dalam bentuk persamaan dan dapat dilihat seperti pada Tabel 2 dimana

- h = tinggi balok
- L = panjang bentang
- $\alpha = E/G$ material

Berdasarkan persamaan seperti pada Tabel 2, dihitung rasio lendutan geser terhadap lendutan lentur

balok kayu *Acacia mangium* ($G = 1/17.45 E$) dengan kondisi kategori 1 sampai dengan 8 yang selanjutnya dinyatakan dalam bentuk grafik (Gambar 3). Untuk balok yang mempunyai panjang bentang dengan faktor tetap terhadap h yaitu 14 seperti pada kategori 1 dan 5 mempunyai rasio y_s/y_b yang tetap yaitu masing-masing 10.6% dan 8.36%. Meskipun pada masing-masing kategori terdiri dari balok yang mempunyai lebar berbeda, rasio tidak berubah.

Table 2. Ratio of shear to bending deflection.

	One point loading in the middle span	Two point loading in one-third span each
y_s/y_b	$\frac{0.3PL}{GA} \times \frac{48EI}{PL^3} = 1.2 \cdot 1.2 \frac{h^2}{L^2} \alpha$	$0.9391 \frac{h^2}{L^2} \alpha$

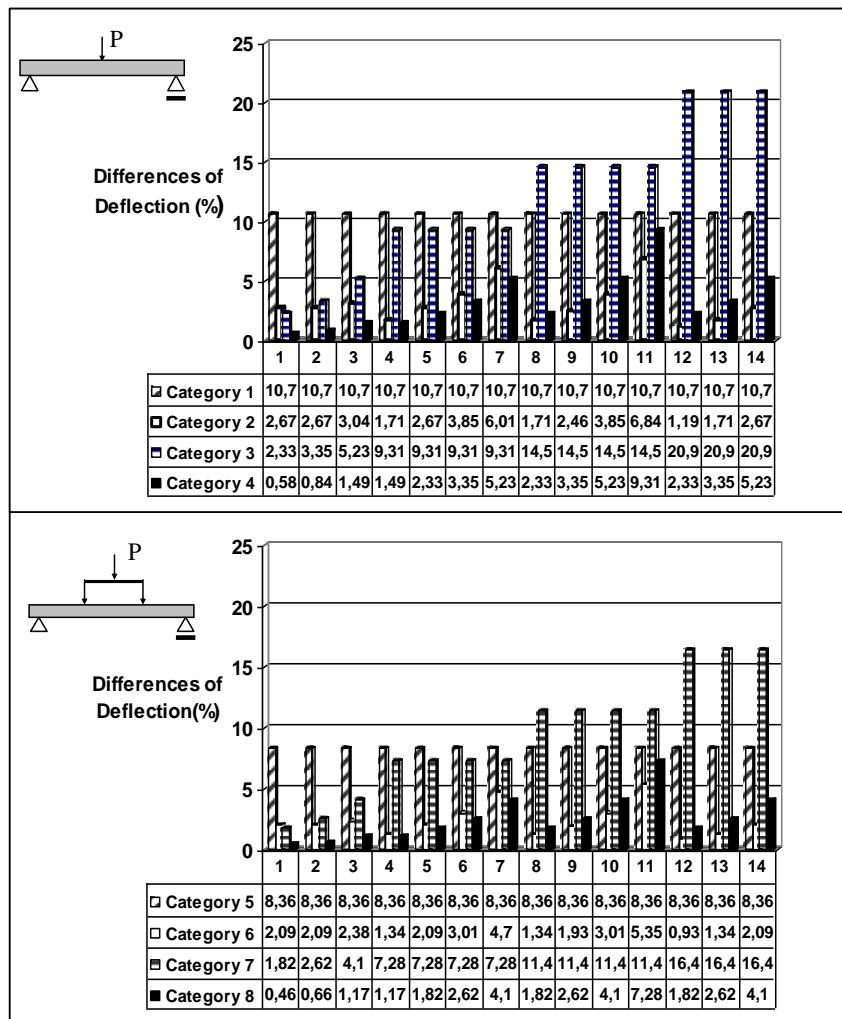


Figure 3. Ratio of shear to bending deflection.

Hal itu terjadi oleh karena persamaan rasio lendutan geser terhadap lendutan lentur merupakan fungsi kuadrat dari tinggi terhadap panjang bentang balok. Rasio modulus elastisitas terhadap modulus geser dikalikan dengan faktor 1.2 untuk satu beban terpusat ditengah bentang dan 0.9391 untuk dua beban terpusat masing-masing pada 1/3 bentang merupakan nilai tetap. Untuk panjang balok yang bukan fungsi tetap dari tinggi balok mempunyai rasio y_s/y_b masing-masing berbeda.

Gambar 4 merupakan kurva hubungan h^2/L^2 terhadap y_s/y_b , dapat digunakan untuk menentukan besar perbedaan lendutan geser terhadap lendutan lentur maksimum yang diinginkan, sehingga dapat menentukan tinggi dan panjang bentang balok.

Dari nilai lendutan geser yang diperoleh dari perhitungan secara analitis kemudian dapat digunakan untuk menghitung besar EI sebenarnya, yaitu

$$EI = \frac{PL^3}{48(y_{ujilab} - y_s)} \dots\dots(3)$$

untuk satu beban terpusat ditengah bentang, dan

$$EI = \frac{23 PL^3}{1296 (y_{ujilab} - y_s)} \dots\dots(4)$$

untuk dua beban terpusat masing-masing pada 1/3 bentang

Dari persamaan (3) dan (4) terlihat bahwa faktor pembagi akan menjadi lebih kecil apabila memperhitungkan lendutan geser, sehingga nilai kekakuan lentur balok akan lebih besar.

Kesimpulan

Dari hasil analisis pada delapan kategori pengamatan untuk balok kayu *Acacia mangium* dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan kuadrat tinggi terhadap panjang bentang merupakan nilai faktor yang mempengaruhi rasio lendutan geser dan lendutan lentur selain rasio modulus elastisitas terhadap modulus geser material
2. Apabila perbandingan panjang bentang merupakan perkalian tinggi balok dengan nilai tetap, maka rasio lendutan geser terhadap lentur tidak berubah.
3. Dengan memperhitungkan lendutan geser akan memperbesar kekakuan lentur (EI)
4. Dengan nilai EI yang lebih besar berarti kapasitas balok menahan lendutan lebih besar, sehingga desain akan lebih ekonomis.
5. Bertambah besar nilai h^2/L^2 , nilai y_s/y_b akan semakin besar pula.

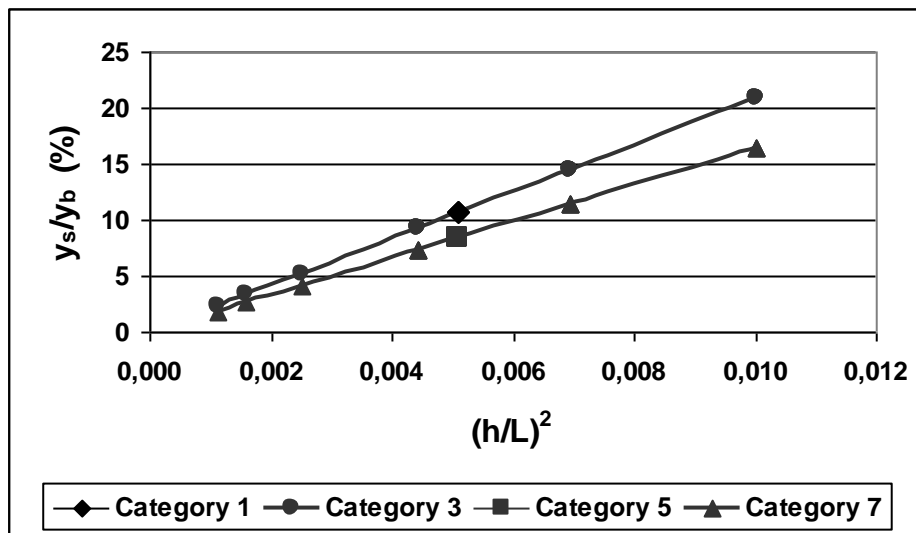


Figure 4 The relation of square of height divided by length of span to ratio of shear divided by bending deflection of *Acacia mangium* species.

Daftar Pustaka

- ASTM D 198-99. Standard Test Methods of Static Test of Lumber in Structural Sizes.
- Radeliffe B.M. 1953. Shear Deflection in Timber Beams and A Method for the Determination of Shear Moduli, Purdue University Agricultural Experiment Station Lafayette, Indiana.
- Biblis E.J. 1965. Shear Deflection of Wood Beams. Yale University, New Haven, Conn.
- Beer F.P. and E.R. Johnston, Jr. 1992. Mechanics of Material, Second Edition. McGraw Hill Book Company England.
- Gere J.M. and S.P. Timoshenko. 1997. Mechanics of Material, Fourth Edition. PWS Publishing Company, a Division of International Thomson Publishing Inc.
- Oden J.T. and E.A. Ripperger. 1981. Mechanics of Elastic Structures. Second Edition. Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Timoshenko S. 1976. Strength of Materials. Robert E, Third Edition. Krieger Publishing Company Huntington, New York.
- Sulistiyawati I. 2005. Menduga Modulus Geser dengan Memanfaatkan Modulus Elastisitas Contoh Uji Ukuran Pemakaian dan Bebas Cacat. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, 3 (1): 15-21.
- Tauchert T.R. 1974. Energy Principles in Structural Mechanics. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.

Diterima (*accepted*) tanggal 25 April 2006

Indah Sulistiyawati
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan
(*Lecturer of Civil Engineering and Planning Department*)
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti
(*Faculty of Civil Engineering and Planning, Trisakti University*)
Gedung Hafidin Rohyan It 5 (Gedung C) Kampus A
Jl. Kyai Tapa no. 1, Grogol 11620 Jakarta Barat
Tel : 021- 5663232 ext 219, 220
Hp : 08161316634
Email : indswt1423@yahoo.com, indahusakti@yahoo.com