



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS KEHUTANAN INSTITUT PERTANIAN BOGOR
DEPARTEMEN HASIL HUTAN**

Kampus IPB Darmaga PO BOX 168 Bogor 16001 Alamat Kawat FAHUTAN Bogor
Phone : (0251) 621285, Fax : (0251) 621 256 - 621 285, E-mail : jthh-ipb@indo.net.id

SURAT KETERANGAN

Nomor: 19 /K13.3.3/TU/2005

Yang bertanda tangan di bawah ini Ketua Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB, menerangkan bahwa makalah dengan judul “**Modulus Geser, Sifat Elastis dan Keteguhan Lentur Patah Kayu *Acacia mangium***”, tahun 2005 sebagaimana terlampir, telah dipresentasikan pada Seminar Nasional MAPEKI VIII yang telah diselenggarakan di Tenggarong, Kutai Kartanegara, tanggal 03-05 September 2005, dan didokumentasikan di perpustakaan Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.

Surat Keterangan ini dibuat terkait dengan belum selesainya pembuatan Proceeding Seminar Nasional MAPEKI VIII, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bogor,
Ketua

18 SEP 2005

Dr. Ir. Dede Hermawan, MSc
NIP.: 131 950 984

MODULUS GESER, SIFAT ELASTIS, dan KETEGUHAN LENTUR PATAH KAYU *Acasia Mangium*

Effendi Tri Bahtiar

Abstrak

Penentuan modulus geser, sifat elastis yang meliputi E apparent (E_f) dan E true (E dan E_G), serta keteguhan lentur patah (MOR) dapat dilakukan dengan cara lendutan. Makalah ini lebih memberikan tekanan pada teori dan rumus-rumus yang melandasi pengukuran modulus geser kayu yang menggunakan cara lendutan, dan menerapkan aplikasinya pada kayu *Acasia mangium*.

Kata Kunci : modulus geser, E apparent, E true, *Acasia mangium*

1) Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Kayu merupakan salah satu produk alam yang telah melayani peradaban manusia sejak keberadaannya di muka bumi. Kayu telah dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti kertas, sumber bahan kimia, kayu bakar, furniture, bahan bangunan, tiang pancang, jembatan, darmaga, kapal, bahkan komponen pesawat terbang. Karena keanekaragaman manfaat kayu, baik untuk keperluan struktural maupun non struktural, sifat dasar kayu meliputi struktur anatomi, sifat fisis, mekanis, dan kimia merupakan salah satu obyek penting yang perlu diperhatikan. Untuk keperluan struktural, sifat mekanis kayu memegang peranan utama, meskipun sifat mekanis ini dipengaruhi oleh sifat-sifat lainnya.

Berbeda dengan bahan struktur lainnya seperti besi, baja dan beton yang relatif lebih mudah diatur komponen input dan proses pembuatannya untuk mendapatkan produk dengan sifat yang diinginkan, kayu merupakan produk alam yang diproduksi dalam waktu panjang oleh sebatang pohon. Selama pertumbuhannya sebatang pohon dipengaruhi berbagai aspek internal maupun lingkungan. Meskipun perlakuan silvikultur dapat dilakukan untuk memperoleh kayu dengan sifat-sifat yang diinginkan, variasinya masih sangat tinggi dibandingkan variasi sifat besi, baja, dan beton. Kayu tidak dapat

diukur sifat kekuatannya dengan cara sampel seperti pada bahan bangunan lainnya. Meskipun pengujian contoh kecil bebas cacat (*small clear specimen*) merupakan salah satu pendekatan yang mirip dengan pengujian kubus atau silinder pada beton, masih banyak faktor-faktor koreksi pada batang kayu ukuran sebenarnya (*full scale*) yang harus diperhatikan karena setiap kayu ukuran sebenarnya (*full scale*) tentu mengandung cacat-cacat kayu antara lain miring serat, mata kayu, lubang gerek, pingul, retak-retak dan pecah, dan sebagainya. Karena sifatnya yang higroskopis dan anisotropis, kayu memiliki kembang susut yang berbeda pada arah tangensial, radial dan longitudinal. Perubahan kadar air juga mengakibatkan perubahan sifat kekuatan kayu. Kayu dapat menjadi sumber makanan atau tempat tinggal bagi organisme tertentu sehingga rentan terhadap serangan organisme perusak. Kayu berukuran kecil dapat terbakar dengan mudah. Meskipun tetap elastis, pada pembebanan berjangka panjang pada balok kayu, akan terjadi lendutan yang cukup besar. Karena sifat-sifat yang demikian, kayu harus diperlakukan secara lebih berhati-hati dalam perhitungan analisa struktur. Berbeda dengan material lain, kayu tidak dapat dengan mudah diidealisasi dalam analisa matematis seperti pada mekanika teknik untuk bahan besi, baja, atau beton yang dianggap sebagai bahan yang sempurna homogenitas dan elastisitasnya. Sifat-sifat yang demikian menjadi salah satu penyebab para insinyur teknik sipil di Indonesia tidak menyukai menggunakan kayu sebagai bahan bangunan rancangannya, meskipun hampir seluruh kelemahan kayu sudah dapat diatasi dengan teknologi yang ada saat ini seperti pengeringan, pengawetan, pemberian bahan tahan api, dan sebagainya.

Terlepas dari berbagai kelemahannya, kayu memiliki banyak keunggulan. Sumbernya yang dapat diperbaharui (*renewable*) menjamin ketersediaannya sepanjang masa selama pengelolaan sumberdaya alamnya dilakukan secara lestari. Terlebih kayu merupakan satu-satunya bahan konstruksi yang berperan sangat penting bagi kehidupan karena selama pertumbuhannya pohon berkayu dapat berfungsi sebagai pembersih udara dan air, penyedia tempat hidup bagi berbagai makhluk, dan keindahan alamnya menarik untuk rekreasi. Efisiensi kayu dapat sangat tinggi mengingat hampir seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk, kebutuhan energi selama pengerjaan paling rendah, dan hanya menghasilkan emisi gas dan cairan yang lebih rendah dibanding bahan alternatif lainnya. Kayu dapat didaur ulang secara total, dan 100% dapat dibiodegradasi

sehingga menjadi satu-satunya bahan utama konstruksi yang ramah lingkungan. Kayu memiliki kekuatan yang tinggi dan berat yang rendah, tahan terhadap pengaruh kimia, isolator thermal dan listrik yang baik, mudah dikerjakan, mudah diganti dalam proses renovasi, dan dapat diperoleh dalam waktu singkat di mana saja. Kayu memiliki kesan natural yang indah dan memberikan nilai tambah yang tinggi pada bangunan arsitektural.

Kayu sejak jaman dahulu, hingga masa datang tetap merupakan bahan konstruksi yang “menjanjikan”. Ketika bahan yang tidak dapat diperbaharui yang diperoleh dari penambangan mineral dari dalam bumi seperti bijih besi dan semen mulai menipis tidak dapat dipungkiri akan terjadi kuota pemanfaatan besi, baja, maupun beton karena terbatasnya persediaan, sementara kebutuhan terus meningkat. Berkaitan dengan itu ketergantungan terhadap bahan besi, baja, dan beton harus mulai dikurangi dan secara bertahap beralih ke bahan yang lebih terjamin ketersediaannya. Untuk menjawab tantangan ini penelitian sifat-sifat kayu untuk bahan konstruksi masih harus dikembangkan.

B. TUJUAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk :

1. Mengetahui modulus geser, sifat elastis (E_t , E , dan E_G), dan keteguhan lentur patah kayu *Acasia mangium*
2. Mengetahui apakah E true yang diukur dengan beban tunggal di tengah bentang (ASTM D-198) setara dengan E true yang diukur dengan cara third point loading
3. Membandingkan E true dan E apparent (ASTM D-198) dengan E panter
4. Membandingkan kemampuan E true, E apparent, dan E panter untuk menduga keteguhan lentur patah kayu *Acasia mangium*.

II. LANDASAN TEORI

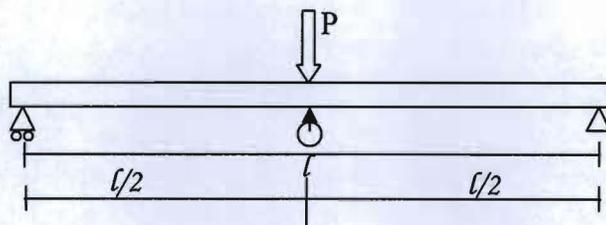
Modulus Elastisitas Lentur (E) merupakan salah satu istilah yang sangat populer di bidang Keteknikan Kayu. Meskipun berbagai cara telah dikembangkan untuk mengukur E kayu, cara lendutan merupakan cara konvensional yang masih sangat populer sampai saat ini karena sangat mudah dan sederhana. Pengukuran lendutan yang paling sederhana dilakukan dengan perletakan sederhana yang diberikan beban lentur

terpusat di tengah bentang (gambar 1), sehingga lendutan sebenarnya yang terjadi tidak hanya diakibatkan oleh momen lentur, tetapi juga oleh gaya geser (persamaan 1).

$$\Delta_t = \Delta + \Delta_g \dots\dots\dots (1)$$

di mana : Δ_t = lendutan total
 Δ = lendutan akibat momen lentur
 Δ_g = lendutan akibat gaya geser

Untuk keperluan praktis, seringkali lendutan akibat gaya geser diabaikan dan dianggap seluruh lendutan diakibatkan oleh momen lentur. E yang diperoleh dengan cara ini disebut E apparent (E_f). E apparent (E_f) akan lebih kecil daripada yang seharusnya karena lendutan total tentu lebih besar daripada lendutan akibat momen lentur saja.



Gambar 1. Pengukuran lendutan pada balok dengan perletakan sederhana yang menerima beban terpusat di tengah bentang.

$$E_f = \frac{PL^3}{48\Delta_t I} \dots\dots\dots (2)$$

di mana : E_f = E apparent
P = beban yang diberikan
L = panjang bentang
I = momen inersia

Pendugaan E yang akan digunakan sebagai nilai desain (E desain) melalui E apparent yang nilainya lebih kecil daripada E akan menguntungkan karena meningkatkan keamanan struktur. Namun penyederhanaan ini cukup mengganggu dan dapat menimbulkan kesalahan perhitungan dan analisisnya terutama untuk batang lentur yang perbandingan tinggi dan bentangnya (h/L) cukup besar karena semakin besar h/L pengaruh gaya geser akan semakin besar.

Akibat adanya momen lentur dan gaya geser pada balok terlentur, lendutan total yang terjadi dapat dinyatakan sebagaimana persamaan 3:

$$\Delta_t = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{PL}{4GA'} \dots\dots\dots(3)$$

di mana : E = E sebenarnya (E true)
 G = Modulus Geser
 A' = Luas Penampang Geser Termodifikasi.

Semua parameter pada persamaan 3 merupakan parameter yang merdeka kecuali luas Penampang termodifikasi (A'). A' merupakan luas Penampang melintang (*cross section*) dikalikan dengan koefisien geser (K), sehingga diperoleh persamaan 4:

$$\Delta_t = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{PL}{4KGA} \dots\dots\dots(4)$$

di mana : K = koefisien geser
 A = luas Penampang

Koefisien geser merupakan regangan geser transversal dibanding dengan tegangan rata-rata pada bagian tersebut. Koefien geser dapat pula dinyatakan sebagai perbandingan antara regangan geser rata-rata pada suatu bagian dengan regangan geser pada *centroidnya*. Koefien geser selain dipengaruhi bentuk geometri Penampang, juga dipengaruhi *Poisson ratio*-nya. Untuk Penampang persegi panjang, hubungan koefisien geser dengan *Poisson ratio* dinyatakan dalam persamaan berikut :

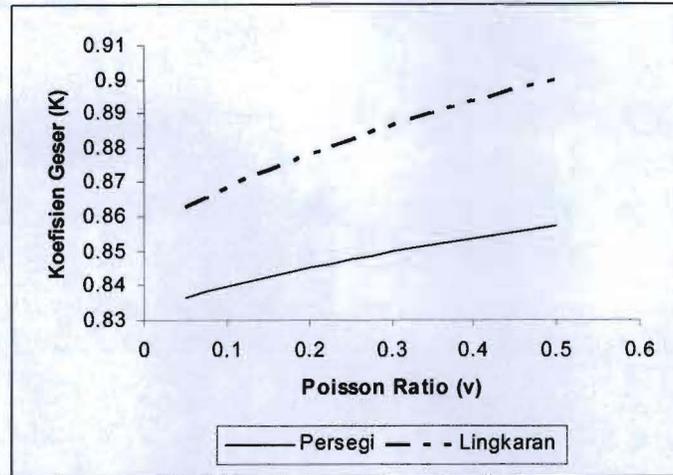
$$K = \frac{10(1 + \nu)}{12 + 11\nu} \dots\dots\dots(5)$$

di mana : ν = Poisson ratio

Sedangkan untuk Penampang lingkaran hubungan keduanya seperti pada persamaan 6:

$$K = \frac{6(1 + \nu)}{7 + 6\nu} \dots\dots\dots(6)$$

Gambar 2 memperlihatkan kurva hubungan antara *Poisson ratio* dengan Koefien Geser untuk Penampang Persegi dan Lingkaran:



Gambar 2. Hubungan Koefisien Geser dengan Poisson Ratio untuk Penampang Persegi dan Penampang Lingkaran
 E apparent telah dikenal luas sebagai Modulus Elastisitas yang mengabaikan pengaruh geser, sehingga lendutan total dianggap sebagai akibat dari E apparent. Dengan menyatukan persamaan 4 dan 2 diperoleh persamaan 7:

$$\frac{PL^3}{48E_f I} = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{PL}{4KGA} \dots\dots\dots(7)$$

Untuk Penampang persegi dengan lebar b, dan tinggi h, persamaan 7 dapat direduksi menjadi :

$$\frac{L^2}{E_f h^2} = \frac{L^2}{Eh^2} + \frac{1}{KG} \dots\dots\dots(8)$$

di mana : h = tinggi balok

Dengan mengalikan kedua ruas dengan $(h/L)^2$, menghasilkan :

$$\frac{1}{E_f} = \frac{1}{E} + \frac{1}{KG} (h/L)^2 \dots\dots\dots(9)$$

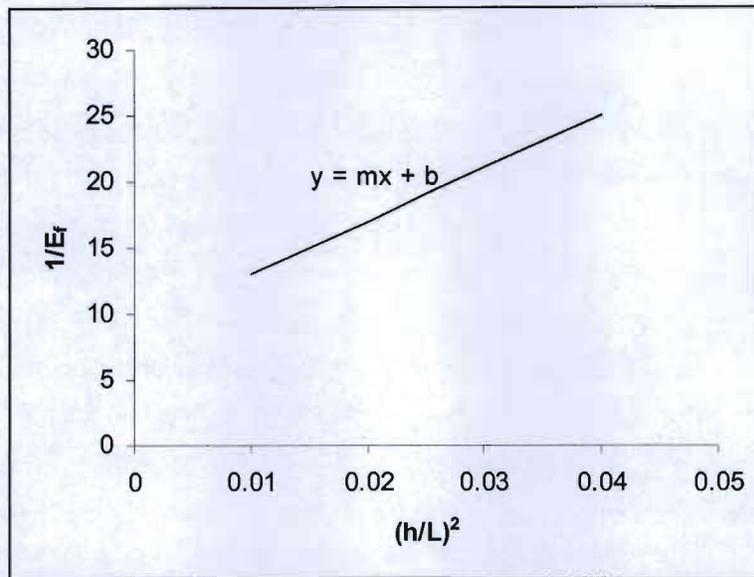
E apparent dapat dihitung karena sebagaimana persamaan 2, seluruh parameternya dapat diukur dengan mudah. Demikian pula tinggi balok (h) dan panjang bentang (L). Dengan mengubah-ubah panjang bentang pada saat pengujian E apparent akan diperoleh pasangan-pasangan $\frac{1}{E_f}$ dengan $(h/L)^2$. Dan dengan memanfaatkan $\frac{1}{E_f}$ sebagai y dan $(h/L)^2$ sebagai x melalui persamaan regresi linier sederhana dapat diperoleh plot linier

$y=b+mx$, dimana kemiringan garis (m) setara dengan $\frac{1}{KG}$, sebagaimana ditunjukkan gambar 3.

$$m \cong \frac{1}{KG} \dots\dots\dots(10)$$

sehingga :

$$G \cong \frac{1}{Km} \dots\dots\dots(11)$$



Gambar 3. Hubungan antara $1/E_f$ dengan $(h/L)^2$

Poisson ratio kayu berkisar antara 0.05 sampai dengan 0.5 sehingga untuk Penampang persegi sebagaimana persamaan 5 dan gambar 2, nilai koefisien geser (K) berkisar antara 0.84 sampai 0.86. Oleh karena itu sesuai dengan persamaan 11 nilai G berkisar antara

$G = \frac{1.17}{m}$ sampai dengan $G = \frac{1.20}{m}$. ASTM D198 menyarankan digunakan nilai

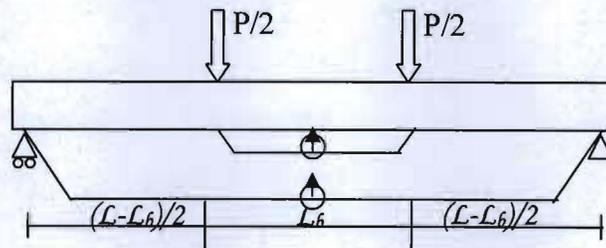
$G = \frac{1.20}{m}$ untuk Penampang persegi dan $G = \frac{1.50}{m}$ untuk Penampang lingkaran. Notasi m

menunjukkan kemiringan (slope) dari persamaan regresi sebagaimana disajikan pada gambar 3.

Berlandaskan teori di atas maka koefisien geser kayu dapat ditentukan melalui tahapan berikut:

1. Kayu disusun dengan perletakan sederhana dengan beban tunggal di tengah bentang (gambar 1). Lendutan diukur dengan deflektometer (*dial gauge*), dan dihitung E apparent sesuai dengan persamaan 2.
2. Tahapan 1 diulang sekurang-kurangnya 4 (empat) kali dengan memperpendek bentang sehingga diperoleh peningkatan $(h/L)^2$ kira-kira berkisar 0.035 sampai 0.0025. Penampang melintang sepanjang bentang harus seragam, sehingga tidak diijinkan adanya pingul.
3. Pasangan E apparent dan $(h/L)^2$ diplotkan dalam sumbu Kartesius dan dibuat persamaan regresi liniernya ($y = b + mx$).
4. Modulus Geser dihitung sesuai dengan persamaan 11. Sehingga untuk Penampang persegi, G adalah 1.20 dibagi kemiringan garis regresi $\left(G \cong \frac{1.20}{m} \right)$.

Selain melalui perletakan sederhana dengan beban lentur terpusat di tengah bentang, Modulus geser kayu dimungkinkan diukur dengan perletakan sederhana yang diberikan beban ganda melalui perletakan two point loading. Pengukuran Modulus Geser dengan metode ini dilakukan dengan meletakkan dua deflektometer (*dial gauge*). Satu untuk mengukur seluruh lendutan sepanjang bentang, dan satu lagi untuk mengukur lendutan di antara dua beban. (Gambar 4).



Gambar 4. Pengukuran lendutan pada balok dengan perletakan sederhana dengan metode two point loading.

Pada kasus sesuai dengan gambar 4 akan diperoleh E true sesuai dengan persamaan 12 :

$$E = \frac{3P'aL_b^2}{4bh^3\Delta_{L_b}} \dots\dots\dots (12)$$

di mana :

L_b = Panjang bentang di antara dua beban

Δ_{Lb} = Lendutan yang terjadi pada bentang di antara dua beban

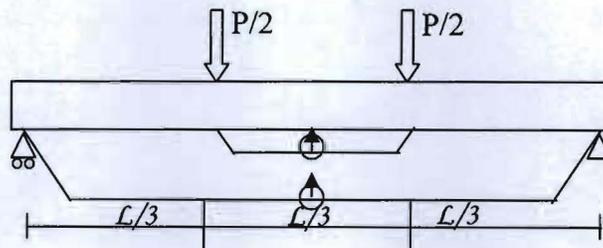
Nilai E true yang diperoleh melalui persamaan 12 harus setara dengan E true yang diperoleh melalui koreksi gaya geser seperti pada persamaan 13.

$$E_G = \frac{P'a(3L^2 - 4a^2)}{4bh^3\Delta\left(1 - \frac{3P'a}{5bhG\Delta}\right)} \dots\dots\dots(13)$$

sehingga berdasarkan persamaan 12 dan 13 dapat diperoleh nilai modulus geser melalui persamaan 14:

$$G \cong \frac{3P'aL_b^2}{5bh\left(L_b^2\Delta - \left(L^2 - \frac{4}{3}a^2\right)\Delta_{L_b}\right)} \dots\dots\dots(14)$$

Salah satu bentuk khusus dari metode two-point loading adalah third-point loading, yaitu beban diletakkan simetris sedemikian sehingga membagi bentang menjadi tiga bagian yang sama panjang. (Gambar 5).



Gambar 5. Pengukuran lendutan pada balok dengan perletakan sederhana dengan metode third point loading.

Pada kasus seperti Gambar 5, E true dapat dihitung dengan persamaan 15 :

$$E = \frac{P'LL_b^2}{4bh^3\Delta_{L_b}} \dots\dots\dots(15)$$

yang harus setara dengan persamaan (16) :

$$E_G = \frac{P'L^3}{4.7bh^3\Delta\left(1 - \frac{P'L}{5bhG\Delta}\right)} \dots\dots\dots(16)$$

sehingga G dapat diperoleh melalui persamaan 17:

$$G \cong \frac{4.7P'LL_b^2}{5bh(4.7L_b^2\Delta - 4L^2\Delta_{L_b})} \dots\dots\dots(17)$$

Meskipun ketiga metode tersebut di atas (beban tunggal di tengah bentang, two point loading, dan third point loading) dimungkinkan untuk dilakukan, ASTM secara resmi menyarankan penentuan modulus geser dengan beban tunggal di tengah bentang meskipun pada tabel X2.1 ASTM D-198 menyediakan rumus-rumus lentur, termasuk E true dan E apparent untuk two point loading dan third point loading. Tetapi penentuan modulus geser melalui beban tunggal di tengah bentang memerlukan waktu dan energi yang lebih besar dibandingkan dua cara lainnya. Waktu dan tenaga untuk menentukan modulus geser sepotong kayu dengan cara beban tunggal di tengah sekurang-kurangnya 4 (empat) kali lebih besar daripada two point loading atau third point loading karena satu contoh uji diukur sekurang-kurangnya 4 (empat) kali.

III. BAHAN DAN METODE

A. BAHAN DAN ALAT

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah 30 (tiga puluh) batang balok kayu *Acasia mangium* berukuran 6 cm x 12 cm x 2 m. Sedangkan alat yang dipergunakan adalah Mesin Pemilah Kayu „Panter“, Universal Testing Machine merk Shimadzu, dial gauge, moisture meter, kaliper dan meteran.

B. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Pengukuran Kadar Air Kayu dengan moisturemeter
2. Pengukuran E Kayu dengan Mesin Pemilah Panter
3. Pengukuran Modulus Geser Kayu *Acasia mangium*

Pengukuran modulus geser dilakukan melalui tahapan sbb:

- a. Kayu disusun dengan perletakan sederhana dengan beban tunggal di tengah bentang (gambar 1). Lendutan diukur dengan deflektometer (*dial gauge*), dan E apparent dihitung sesuai dengan persamaan 2.

- b. Tahapan 1 diulang 4 (empat) kali dengan memperpendek bentang sehingga diperoleh peningkatan $(h/L)^2$ kira-kira berkisar 0.035 sampai 0.0025.
- c. Pasangan E apparent dan $(h/L)^2$ diplotkan dalam sumbu Kartesius dan dibuat persamaan regresi liniernya ($y = b + mx$).
- d. Modulus Geser dihitung sesuai dengan persamaan $\left(G \cong \frac{1.20}{m} \right)$.
4. Penentuan E apparent dan E true kayu
 E apparent dan E true dilakukan dengan cara third point loading (gambar 5). Lendutan diukur pada posisi sepanjang bentang dan di antara beban sehingga E apparent dapat dihitung dengan persamaan 2, sedangkan E-true dihitung dengan dua cara yaitu sesuai persamaan 15 dan 16.
5. Pengukuran Keteguhan Lentur Patah (MOR) kayu
 MOR kayu diukur dengan cara third point loading sehingga MOR dihitung dengan rumus : $MOR = \frac{PL}{bh^2}$.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. MODULUS GESER KAYU ACASIA MANGIUM

Modulus geser kayu Acasia mangium pada posisi tidur (flatwise) berkisar antara 15 sampai 75 MPa dengan nilai rata-rata 42 MPa dan standar deviasi 17 MPa. Sedangkan pada posisi berdiri (edgewise) Modulus geser Acasia mangium secara nyata lebih tinggi daripada posisi tidur (Tabel 1). Pada posisi berdiri Modulus geser kayu Acasia mangium berkisar antara 23 hingga 154 MPa dengan nilai rata-rata 62 MPa dan standar deviasi 36 MPa. Kondisi pengujian dilakukan pada rata-rata kadar air adalah 18,3% dengan standar deviasi 0.9%.

Tabel 1. Hasil Pengujian beda nilai tengah berpasangan antara Modulus Geser Kayu *Acasia mangium* posisi tidur dan berdiri .

	<i>Tidur</i>	<i>Berdiri</i>
Mean	42	62
Variance	274	1294
Observations	30	30
Pearson Correlation	-0.062	

Hypothesized Mean Difference	0
df	29
t Stat	-2.7073
P(T<=t) one-tail	0.006
t Critical one-tail	1.6991
P(T<=t) two-tail	0.011
t Critical two-tail	2.0452

B. MODULUS ELASTISITAS APPARENT (E apparent) KAYU

E apparent balok kayu *Acasia mangium* pada posisi tidur berkisar antara 43.000 kg/cm² sampai 82.000 kg/cm² dengan nilai rata-rata 62.800 kg/cm² dan standar deviasi 13.000 kg/cm². Sedangkan pada posisi berdiri berkisar antara 32.000 kg/cm² sampai 70.000 kg/cm² dengan nilai rata-rata 52.000 kg/cm² dan standar deviasi 10.000 kg/cm². MOE Apparent pada posisi tidur jauh lebih besar daripada posisi berdirinya (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian beda nilai tengah berpasangan E apparent Kayu *Acasia mangium* posisi tidur dan berdiri .

	Tidur	Berdiri
Mean	62800	51900
Variance	1.72E+08	99420000
Observations	30	30
Pearson Correlation	0.3029	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	4.3365	
P(T<=t) one-tail	0.0001	
t Critical one-tail	1.6991	
P(T<=t) two-tail	0.0002	
t Critical two-tail	2.0452	

C. MODULUS ELASTISITAS SEBENARNYA (E true) KAYU

1. E true diukur dari E apparent dikoreksi dengan Modulus Geser

E true pada posisi tidur berkisar antara 44.000 s.d. 83.000 kg/cm² dengan nilai rata-rata 64.000 kg/cm² dan standar deviasi 13.400 kg/cm². Sedangkan pada posisi berdiri berkisar antara 32.000 s.d. 76.000 kg/cm² dengan nilai rata-rata 54.000 kg/cm² dengan standar deviasi 10.700. E true yang diperoleh dengan cara ini ternyata menghasilkan nilai E true posisi tidur lebih besar daripada berdiri (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil pengujian beda nilai tengah berpasangan E true yang diperoleh dari E apparent yang dikoreksi dengan geser kayu *Acasia mangium* posisi tidur dan berdiri

	<i>Tidur</i>	<i>Berdiri</i>
Mean	63900	54200
Variance	1.79E+08	1.15E+08
Observations	30	30
Pearson Correlation	0.2911	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	3.6600	
P(T<=t) one-tail	0.0005	
t Critical one-tail	1.6991	
P(T<=t) two-tail	0.0001	
t Critical two-tail	2.0452	

2. E true diukur dengan dengan third point loading

Pengukuran dengan cara third point loading pada posisi tidur menghasilkan E true berkisar antara 46000 s.d. 103000 kg/cm² dengan nilai rata-rata 72000 kg/cm² dan standar deviasi 15300 kg/cm² sedangkan pada posisi berdiri E true yang diperoleh berkisar antara 53000 s.d. 144000 kg/cm² dengan nilai tengah 81000 kg/cm² dan standar deviasi 20000 kg/cm². Berbeda dengan pengukuran menggunakan metode sebelumnya, E true yang diperoleh pada posisi tidur sedikit lebih rendah daripada posisi berdiri (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil Pengujian beda nilai tengah berpasangan E true Kayu *Acasia mangium* posisi tidur dan berdiri yang diukur dengan metode third point loading .

	<i>Tidur</i>	<i>Berdiri</i>
Mean	72000	81000
Variance	2.34E+08	3.81E+08
Observations	30	30
Pearson Correlation	0.0439	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	-2.0607	
P(T<=t) one-tail	0.0242	
t Critical one-tail	1.6991	
P(T<=t) two-tail	0.0484	
t Critical two-tail	2.0452	

3. Perbandingan E true hasil koreksi modulus geser dengan E true diukur dengan third point loading

Pada posisi tidur, metode pengukuran dengan third point loading menghasilkan E true jauh lebih tinggi daripada yang diperoleh dengan cara koreksi modulus geser. (Tabel 5). Hal serupa terjadi pula pada .posisi berdiri. E true posisi berdiri yang diperoleh dengan cara third point loading jauh lebih besar daripada yang diperoleh dengan koreksi modulus geser (Tabel 6)

Tabel 5. Hasil Pengujian beda nilai tengah berpasangan E true Kayu Acasia mangium posisi tidur yang diukur dengan metode third point loading (E) dan koreksi modulus geser (E_G).

	E_G	E
Mean	63900	72000
Variance	1.79E+08	2.34E+08
Observations	30	30
Pearson Correlation	0.9177	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	-7.3221	
P(T<=t) one-tail	0.0000	
t Critical one-tail	1.6991	
P(T<=t) two-tail	0.0000	
t Critical two-tail	2.0452	

Tabel 6. Hasil Pengujian beda nilai tengah berpasangan E true Kayu Acasia mangium posisi berdiri yang diukur dengan metode third point loading dan koreksi modulus geser .

	E_G	E
Mean	54200	81200
Variance	1.15E+08	3.81E+08
Observations	30	30
Pearson Correlation	0.6142	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	-9.5598	
P(T<=t) one-tail	0.0000	
t Critical one-tail	1.6991	
P(T<=t) two-tail	0.0000	
t Critical two-tail	2.0452	

D. MODULUS ELASTISITAS DIUKUR DENGAN PANTER (E_{panter})

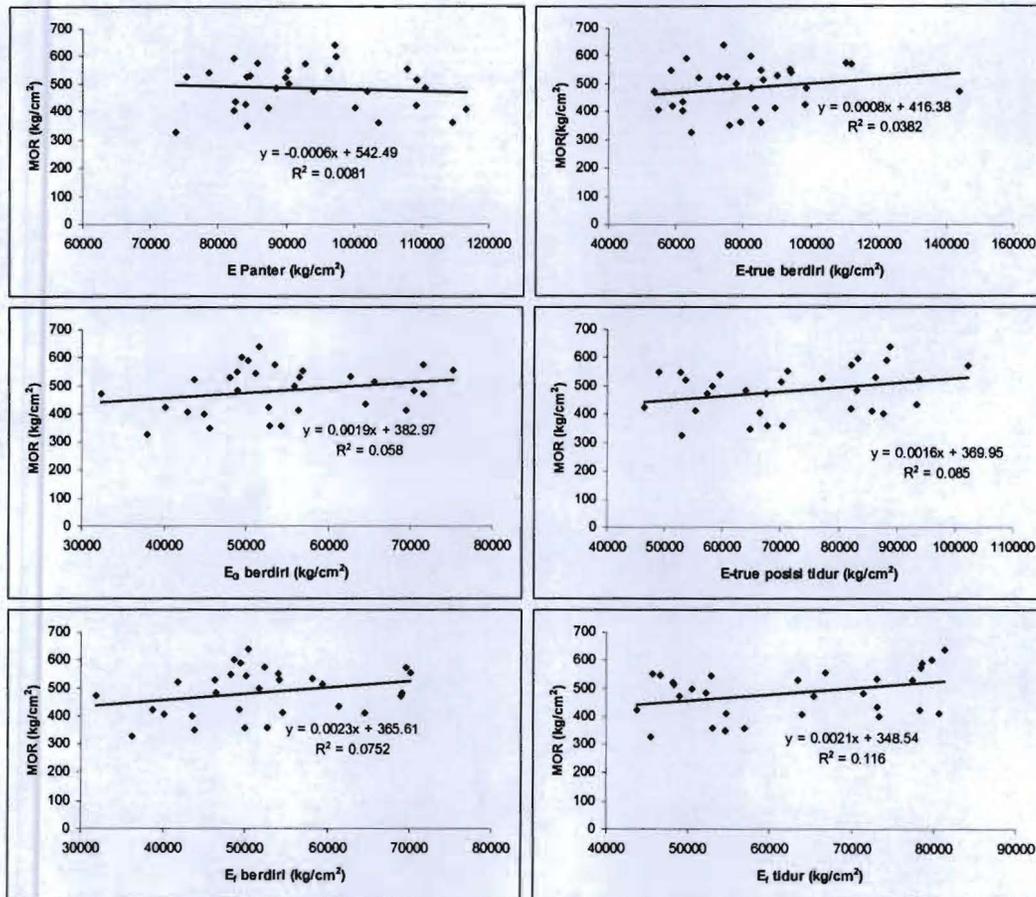
E_{panter} kayu *Acasia mangium* yang diuji berkisar antara 73000 s.d. 117000 kg/cm^2 dengan nilai rata-rata 93000 kg/cm^2 dan standar deviasi 11700 kg/cm^2 . Berdasarkan 30 balok kayu yang diuji E_{panter} jauh lebih tinggi daripada $E_{apparent}$ maupun E_{true} baik pada posisi berdiri maupun posisi tidur. Oleh karena itu, meskipun banyak penelitian menyebutkan bahwa E_{panter} dapat digunakan sebagai variabel pemilah yang baik, E_{panter} tidak disarankan digunakan sebagai E_{desain} karena nilainya terlalu tinggi. Apabila E_{panter} digunakan sebagai E_{desain} , lendutan maksimum yang terjadi akibat pada suatu struktur bisa melebihi lendutan yang diijinkan. Lebih lanjut hal ini akan mempengaruhi bentuk geometri struktur dan berpengaruh terhadap sebaran gaya dan penampakan arsitekturnya.

E. KETEGUHAN LENTUR PATAH (MOR) KAYU ACASIA MANGIUM

Keteguhan lentur (MOR) kayu *Acasia mangium* berkisar antara 326 sampai 641 kg/cm^2 dengan nilai rata-rata 484 kg/cm^2 dan standar deviasi 83 kg/cm^2 . Penelitian ini memperlihatkan bahwa E_{panter} , E_{true} dan $E_{apparent}$ tidak mempunyai korelasi erat dengan MOR. Dengan demikian E_{panter} , E_{true} , dan $E_{apparent}$ kurang baik digunakan sebagai penduga MOR. (Tabel 7)

Tabel 7. Persamaan Regresi antara E_{panter} , E_{true} , dan $E_{apparent}$ dengan MOR

No.	Variabel Bebas	Posisi	Persamaan Regresi	R^2
1	E_{panter}	Tidur	$MOR = -0.0006E_{panter} + 542$	0.008
2	E_{true}	Berdiri	$MOR = 0.0008E_{true} + 416$	0.038
		Tidur	$MOR = 0.0016E_{true} + 370$	0.085
3	E_G ($E_{apparent}$ dikoreksi geser)	Berdiri	$MOR = 0.0019E_G + 383$	0.058
		Tidur	$MOR = 0.0021E_G + 347$	0.120
4	$E_{apparent}$	Berdiri	$MOR = 0.0023E_f + 366$	0.075
		Tidur	$MOR = 0.0021E_f + 349$	0.116



Gambar 6. Persamaan Regresi antara E panter, E true, E apparent pada posisi tidur maupun berdiri dengan MOR kayu *Acasia mangium*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Modulus geser (G) kayu *Acasia mangium* posisi tidur (flatwise) adalah 42 ± 17 MPa dan pada posisi berdiri adalah 62 ± 36 MPa. Modulus geser pada posisi berdiri lebih tinggi daripada posisi tidur.
2. E apparent balok kayu *Acasia mangium* posisi tidur adalah 62800 ± 13000 kg/cm² dan pada posisi berdiri adalah 52000 ± 10000 kg/cm². E apparent posisi tidur jauh lebih tinggi daripada posisi berdiri.
3. E true hasil koreksi E apparent dengan modulus geser (E_G) pada posisi tidur adalah 64000 ± 13400 kg/cm² dan pada posisi berdiri adalah 54000 ± 10700 kg/cm². E apparent posisi tidur lebih tinggi daripada posisi berdiri.