

# INFRASTRUKTUR

## PERILAKU GESER BALOK KAYU KELAPA (SUATU KAJIAN EKSPERIMENTAL DENGAN KONSEP ENERGI FRACTURE)

### Experimental Investigation of Shear Behaviour of Coconut Timber Beam by Energy Fracture Concept

Hermin Oktivina

Alumnus Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Kusnindar A. Chauf

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118 Email : kus\_untad@yahoo.co.id

---

#### ABSTRACT

*Strength analysis of timber need to be a heterogen material aproach, by applying the concept of fracture energy. This concept was explaint that each material had a fracture and potential energy that influenced of crack dimension. This concept is relevant to be applied to coconut timber, because it is composed of parallel fibers that tend to shear failure. From the test results of physical and mechanical properties according to ISO 1975 and four-point bending of beam test, the analysis of deformation patterns of the curve deformation based on the concept of energy. In this case obtained by the fact that the density of coconut wood in a row, the top 0.64 gr/cm<sup>3</sup>, the middle 0.83 gr/cm<sup>3</sup> and 0.91 gr/cm<sup>3</sup> in bottom zone, with non-linear elastic deformation curves, except drag the parallel fibers. Comparison of shear and bending beam is 9.76% with the collapse of the slide. Shear damage pattern characterized by horizontal cracks initiated from the supported and then propagates towards the midspan beam, and shear stress maximum is reached earlier than the bending stress.*

*Keywords : shear, coconut timber, beam, fracture energy*

#### ABSTRAK

Analisis karakteristik kayu perlu didekatkan pada kondisi material non-homogen dengan menerapkan konsep energi fracture. Konsep energi fracture menjelaskan adanya energi elastisitas dan potensial yang mempegaruhi dimensi retak. Konsep ini sangat relevan diaplikasikan pada material kayu kelapa, karena kayu kelapa tersusun dari serat sejajar longitudinal yang cenderung gagal geser. Dari hasil uji sifat fisis dan mekanis menurut ISO 1975 dan uji lentur balok empat titik, maka dilakukan analisis pola deformasi terhadap kurva deformasi berdasarkan konsep energi fracture. Dalam hal ini diperoleh fakta bahwa kerapatan kayu kelapa berturut-turut, bagian atas 0,64 gr/cm<sup>3</sup>, bagian tengah 0,83 gr/cm<sup>3</sup> dan bagian bawah 0,91 gr/cm<sup>3</sup> dengan kurva deformasi elastis non linear, kecuali tarik sejajar serat. Perbandingan tegangan geser dan lentur balok adalah 9,76% dengan keruntuhan geser. Pola kerusakan geser ditandai adanya retak horizontal dimulai dari tumpuan kemudian merambat kearah tengah bentang balok, dan tegangan geser maksimum lebih dulu tercapai daripada tegangan lentur.

Kata Kunci : geser balok, kayu kelapa, energi fracture

#### PENDAHULUAN

##### a. Latar Belakang

Kayu kelapa sangat berpotensi sebagai sumber kayu konstruksi, meskipun memiliki kerapatan yang sangat heterogen. Kerapatan maksimum terdapat pada daerah pangkal untuk arah longitudinal, dan di sekitar kulit untuk arah radial. Oleh karena itu diperlukan suatu informasi komprehensif mengenai sifat-sifat kayu kelapa bila akan dimanfaatkan sebagai material konstruksi. Sifat-sifat yang dimaksud adalah karakteristik fisik dan mekanik kayu yang masing-masing akan saling mempengaruhi.

Oleh karenan itu perlu dikaji hubungan yang saling mempengaruhi tersebut. Dalam penelitian ini difokuskan pada hubungan sifat fisis dan mekanis kayu kelapa terhadap perilaku geser balok, termasuk rasio tegangan lentur-geser serta pola keruntuhan. Untuk itu, konsep energi fracture sangat relevan diaplikasikan. Konsep ini bisa mengakomodasi adanya energi elastis dan potensial material. Energi ini selanjutnya akan mempengaruhi dan menentukan lebar dan pola perambatan retak akibat aplikasi beban.

**b. Karakteristik Kayu dan Konsep Energi Fracture**

Kayu konstruksi harus berada dalam kondisi kadar air seimbang dengan kerapatan optimum. Kerapatan terkecil terdapat pada zona inti dan optimum pada zona sekitar kulit dan pangkal tegakan. Selanjutnya yang menentukan daya dukung kayu adalah modulus of elasticity (MOE), Modulus of Rupture (MOR), modulus geser (Shearing Modulus) dan kelengkungan (curvature). Modulus geser dan kelengkungan masing-masing ditentukan dengan Persamaan 1 (Sardy. S, 1990) dan Persamaan 2 ( Singer dkk, 1985).

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{1}$$

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \tag{2}$$

Keterangan:

- G = Modulus geser (MPa).
- $\gamma$  = Regangan geser
- EI = Kekakuan (Nmm<sup>2</sup>).
- $\tau$  = Tegangan geser (MPa)
- $\rho$  = Jari – jari kelengkungan (mm)
- $\phi$  = Kelengkungan (1/mm)
- M = Momen (Nmm).

Fracture adalah proses yang meliputi retak awal, perambatan retak dan lendutan. Beban retak balok tergantung pada dimensi (b/h), MOE dan G. Dalam hal ini terdapat tiga model perambatan retak pada kayu, yaitu mode terbuka, geser dan tersobek. Lendutan aktual total dapat dihitung dengan Persamaan 3 (Reshke dkk,2002).

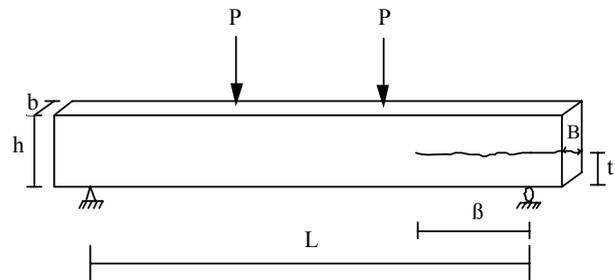
$$\delta = \frac{Pa}{24EI}(3L^2 - 4a^2) + \frac{4.8PL}{AG} \tag{3}$$

Keterangan:

- $\delta$  = Lendutan balok (mm).
- MOE = Modulus elastisitas (MPa).
- P = Beban (N).
- L = Jarak tumpuan (mm).
- a = Jarak beban terhadap tumpuan (mm).
- I = Momen Inersia (mm<sup>4</sup>).
- G = Modulus geser (MPa).
- A = Luas penampang balok (mm<sup>2</sup>).

Retak pada balok kayu (Gambar 1) terjadi karena adanya energi pada ujung balok sehingga menyebabkan pergeseran serat kayu yang disebut energi release kritis. Besarnya nilai energi release kritis saat kayu mengalami retak sepanjang balok

dapat dihitung dengan persamaan berikut (Serrano dan Larsen, 1999). Pada saat pembebanan terjadi perlawanan terhadap arah beban berupa beban fracture. Besarnya beban fracture balok yang terjadi pada kayu ketika mengalami penyebaran retak dapat dihitung dengan persamaan berikut (Blass dkk, 1995).



**Gambar 1.** Retak pada Balok Kayu (Sumber: Serrano dan Larsen, 1999)

$$G_c = \frac{M^2 \left( \frac{1}{\alpha^3} - 1 \right)}{2bEI} \tag{4}$$

$$V_c = \frac{b \cdot \alpha \cdot h \cdot \left( \frac{G_c}{h} \right)^{\frac{1}{2}}}{\left( \frac{0,6 \cdot (\alpha - \alpha^2)}{G} \right)^{\frac{1}{2}} + \beta \cdot \left( \frac{6 \cdot (1/\alpha - \alpha^2)}{E_o} \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{5}$$

Keterangan:

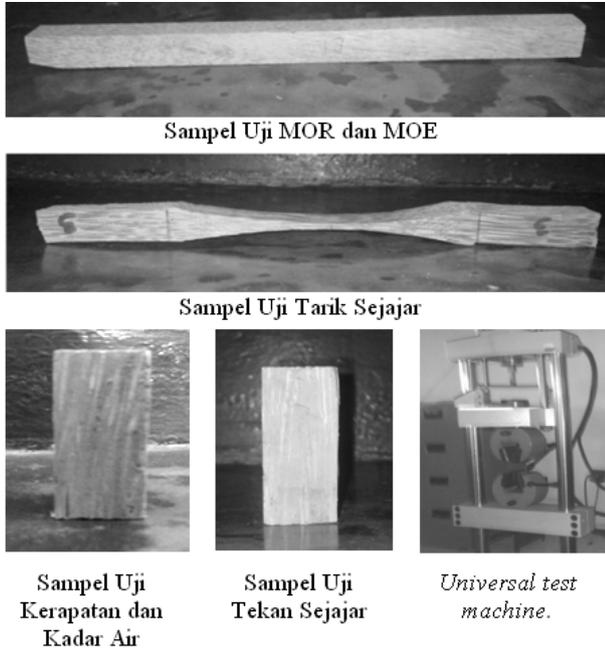
- $G_c$  = Energi *release* kritis per panjang *fracture* (N/mm).
- M = Momen yang terjadi (Nmm).
- b = Lebar balok (mm).
- MOE = Modulus elastisitas kayu (MPa).
- I = Momen Inersia (mm<sup>4</sup>).
- $\alpha$  = (h - t)/ h
- $V_c$  = Beban fracture (N).
- G = Modulus geser (MPa)
- $\beta$  = Panjang retak (mm)
- h = Panjang balok (mm)
- $\alpha$  = (h - t)/ h
- t = Tinggi retak (mm)

**METODE PENELITIAN**

Lokasi Bahan utama penelitian ini adalah balok kayu kelapa yang diambil pada bagian sekitar 1 m dari akar sampai ke bagian sekitar 2 m dari pucuk dan dibagi dalam tiga zona pangkal, tengah dan atas. Pengambilan secara radial untuk masing-masing zona yaitu dengan membuang 1/4 diameter bagian dalam (inner part) untuk menghindari kerapatan yang sangat rendah (Kusnindar, 2009).

**a. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik**

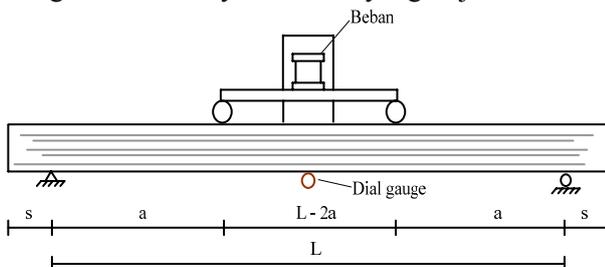
Pengujian sifat fisik dan mekanik kayu kelapa mengikuti standar ISO 1975 sebagaimana pada Gambar 2. Jumlah setiap sampel adalah 20. Semua hasil pengujian mekanis diperoleh berupa data-data beban dan lendutan



**Gambar 2.** Sampel dan Alat Uji Sifat dasar kayu

**b. Pengujian Lentur Balok**

Pembebanan statik sebagaimana Gambar 3 dilakukan dengan kecepatan konstan hingga benda uji mengalami keruntuhan. Selama pembebanan berlangsung, dilakukan pembacaan dial gauge untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi.



**Gambar 3.** Setting up pembebanan balok pada bending testing machine

Beberapa penetapan dilakukan terlebih dahulu berupa  $b/h \approx 1/2$ ,  $a = 1/3 L$ , dan  $s = 1/2 h$  dan penentuan dimensi balok didasarkan pada hasil uji kuat lentur dan geser dengan jumlah benda uji sebanyak 20 balok

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Hubungan Kerapatan dan Sifat Mekanik Kayu Kelapa**

Besaran sifat fisik dan mekanik kayu kelapa pada kondisi kadar air setimbang disajikan dalam Tabel 1. Besaran-besaran itu sangat ditentukan oleh kerapatan.

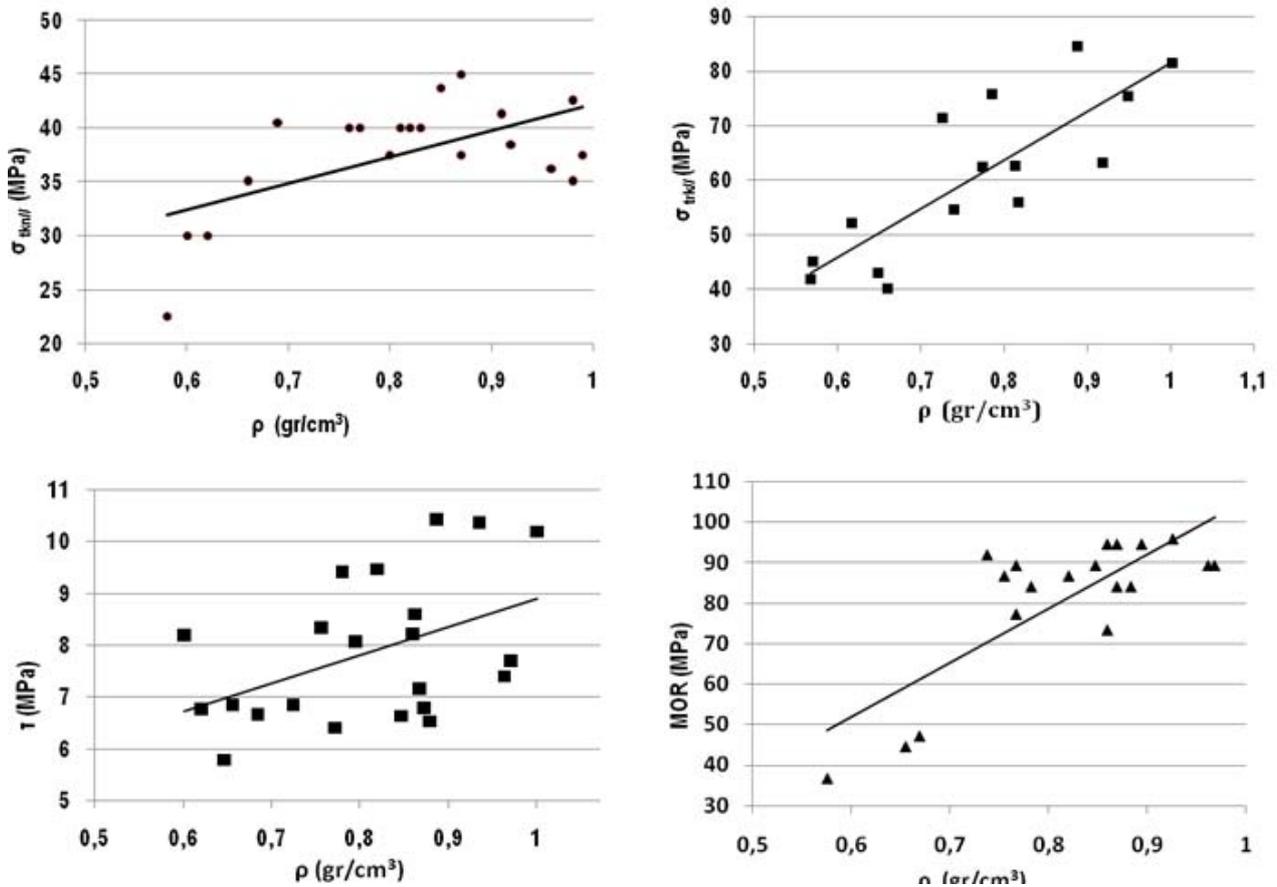
Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 1 diketahui bahwa semakin besar angka kerapatan maka semakin besar intensitas sifat mekanik kayu kelapa. Kuat tekan sejajar bagian bawah adalah 25,62% lebih besar dibandingkan kayu bagian atas. Kayu kelapa bagian bawah memiliki kuat tarik sejajar serat 53,11% lebih besar dibandingkan kayu kelapa bagian atas

Tegangan geser terdistribusi merata sepanjang luas bidang geser dengan intensitas untuk kayu bagian atas 6,85 MPa, bagian tengah 8,06 Mpa dan bagian bawah 8,34 Mpa. Secara umum kekuatan kayu kelapa untuk melawan gaya geser sejajar bersifat nonlinier dan relatif lebih rendah dibanding perlawanan terhadap gaya tarik atau tekan sejajar.

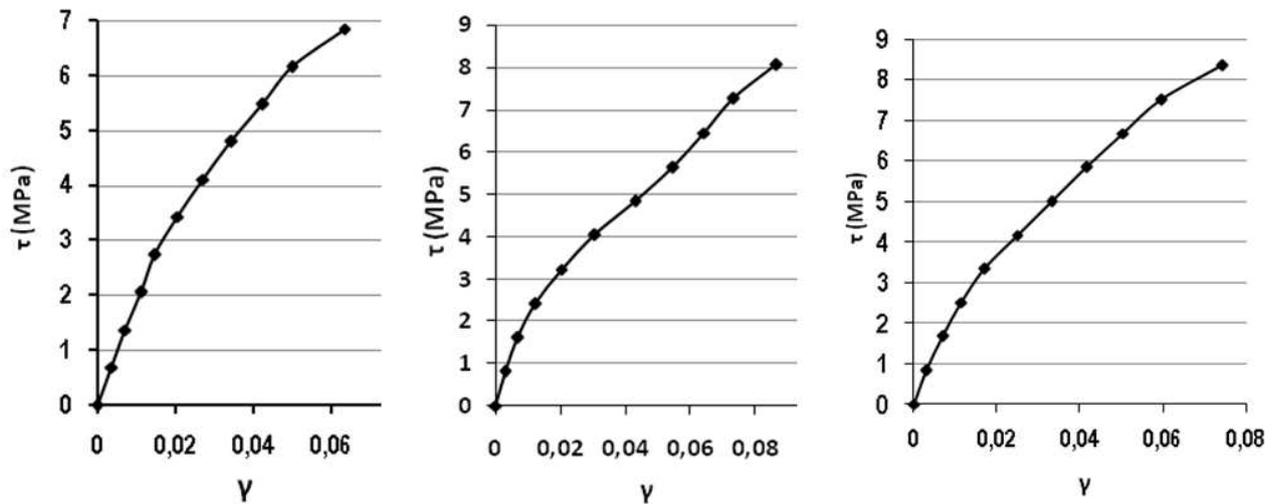
Modulus geser dipengaruhi oleh kerapatan sebagaimana disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Semakin besar kerapatan maka semakin besar pula kekuatan kayu untuk menahan perubahan atau pergeseran berupa nilai modulus geser pada kayu kelapa. Hubungan kerapatan dan tegangan geser sejajar serat adalah berbanding lurus, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kerapatan maka semakin besar pula tegangan geser sejajar serat yang mampu ditahan kayu kelapa

**Tabel 1.** Sifat fisis dan mekanis kayu kelapa

Zona Sampel	Ka (%)	P (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_{tk//}$ MPa	$\sigma_{tr//}$ MPa	$\tau$ MPa	G MPa	MOR MPa	MOE MPa
Atas	11,45	0,64	31,60	49,72	6,85	185,00	62,0	5191,0
Tengah	11,09	0,83	39,58	64,18	8,06	206,24	85,5	6676,0
Bawah	10,94	0,91	39,69	76,13	8,34	207,28	88,8	7067,4



Gambar 4. Hubungan kerapatan dan sifat mekanis kayu kelapa



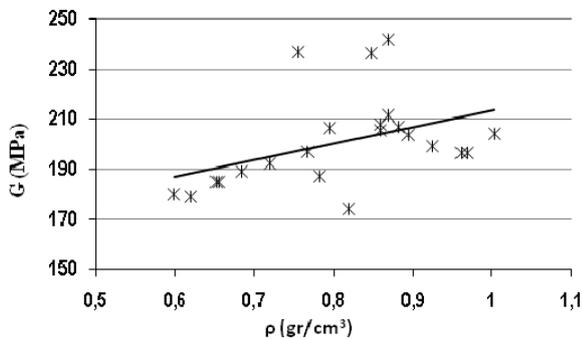
Gambar 5. Hubungan regangan dan tegangan geser sejajar sera

Nilai MOR dan MOR menurut letak bagian batang kelapa dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 untuk kayu kelapa bagian atas dengan kerapatan rata-rata = 0,66 gram/cm<sup>3</sup> diperoleh nilai MOR rata-rata = 62,0 MPa dan MOE rata-rata = 5191,0 MPa, untuk kayu kelapa bagian tengah dengan kerapatan rata-rata = 0,79 gram/cm<sup>3</sup> diperoleh MOR rata-rata = 85,5 MPa dan MOE rata-rata = 6676,0 MPa sedangkan untuk kayu kelapa

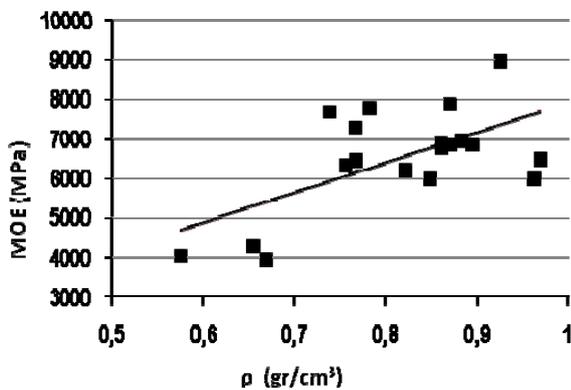
bagian bawah dengan kerapatan rata-rata = 0,90 gram/cm<sup>3</sup> diperoleh MOR rata-rata = 88,8 MPa dan MOE rata-rata = 7067,4 MPa.

Untuk mengetahui hubungan kerapatan dan MOR kayu kelapa dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa hubungan kerapatan dan MOR adalah berbanding lurus. Semakin besar kerapatan maka semakin besar

pula kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha mematahkan kayu berupa Modulus of Rupture (MOR).



Gambar 6. Hubungan kerapatan dan modulus geser



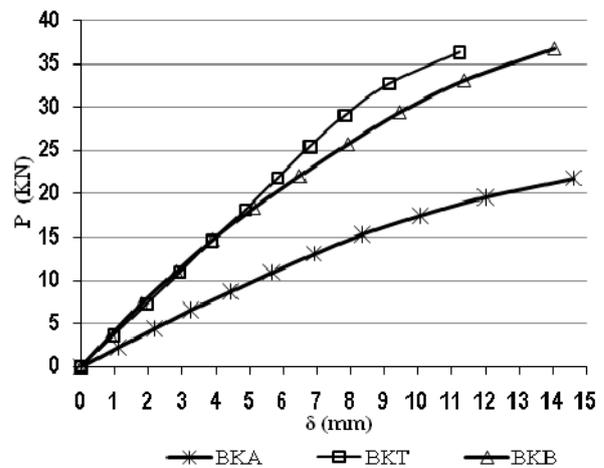
Gambar 7. Hubungan kerapatan dan MOE

Dari Gambar 7 diketahui bahwa hubungan antara kerapatan dan MOE adalah berbanding lurus artinya semakin besar kerapatan maka semakin besar pula ketahanan terhadap perpanjangan atau pemampatan akibat pembebanan dari luar berupa Modulus of Elasticity (MOE). Nilai kekuatan yang berbeda-beda untuk masing-masing ragam pengujian sifat mekanis pada setiap benda uji menunjukkan bahwa kayu kelapa merupakan salah satu materi non homogen yaitu material dengan struktur penyusun yang berbeda proporsinya pada setiap bagian. Selain itu, sifat-sifat mekanis kayu kelapa berbanding lurus dengan nilai kerapatannya

#### b. Perilaku Geser Balok Kayu Kelapa

Dari ketiga variasi posisi pengambilan balok kayu kelapa diperoleh nilai beban maksimum rata-rata = 21,75 KN, lendutan = 14,65 mm dan kerapatan 0,65 gram/cm<sup>3</sup> untuk kayu kelapa bagian atas (BKA), untuk kayu kelapa bagian tengah (BKT) diperoleh nilai beban rata-rata = 36,29 KN, lendutan = 11,25 mm dan kerapatan 0,83 gram/cm<sup>3</sup> sedangkan untuk kayu kelapa bagian bawah (BKB) memperoleh nilai beban rata-rata = 36,79 KN,

lendutan = 14.05 mm dan kerapatan 0,92 gram/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian hubungan beban dan lendutan balok kayu kelapa umur 50 tahun dapat dilihat pada Gambar 8



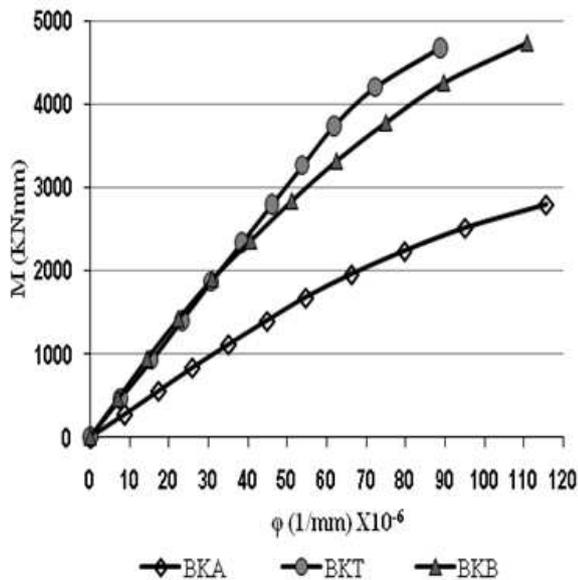
Gambar 8. Hubungan lendutan dan beban balok kayu kelapa

#### Momen (M) dan kelengkungan (φ)

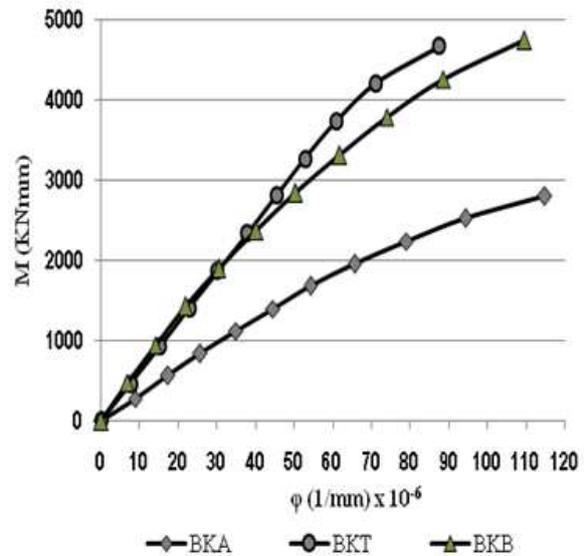
Hubungan momen dan kelengkungan balok kayu kelapa dianalisa dengan dua cara yaitu dengan pendekatan metode perpindahan elastis dan konsep energi fracture. Pada analisa konsep energi fracture, analisa dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh momen lentur dan gaya geser.

Berdasarkan analisis perpindahan elastis untuk kayu kelapa bagian atas dengan kerapatan 0,65 gram/cm<sup>3</sup> diperoleh nilai rata-rata kekakuan = 29,87 KNmm<sup>2</sup>, momen = 2796,43 KNmm dan kelengkungan = 115,60x10<sup>-6</sup>/mm, untuk kayu kelapa bagian tengah dengan kerapatan 0,83 gram/cm<sup>3</sup> nilai rata-rata kekakuan = 57,54 KNmm<sup>2</sup>, momen = 4665,31 KNmm dan kelengkungan = 88,79x10<sup>-6</sup>/mm. Sedangkan untuk kayu kelapa bagian bawah dengan kerapatan 0,92 gram/cm<sup>3</sup> diperoleh nilai rata-rata kekakuan = 47,2 KNmm<sup>2</sup>, momen = 4729,59 KNmm dan kelengkungan = 110,90x10<sup>-6</sup>/mm.

Grafik hubungan momen dan kelengkungan menurut metode perpindahan elastis memiliki bentuk identik dengan grafik hubungan beban dan lendutan. Grafik hubungan momen dan kelengkungan untuk balok kayu kelapa bagian bawah dan tengah hampir berhimpit pada awal kelengkungan dan mulai menjauh hingga nilai kelengkungan maksimum. Hubungan momen dan kelengkungan dengan metode perpindahan elastis dapat dilihat pada Gambar 9.



Hubungan momen dan kelengkungan balok kayu kelapa dengan metode hukum Hooke



Hubungan momen dan kelengkungan balok kayu kelapa dengan konsep energi fracture

**Gambar 9.** Hubungan momen dan kelengkungan balok

Selanjutnya berdasarkan analisis menurut konsep energi fracture, diperoleh nilai rata-rata kekakuan balok = 30,26 KNmm<sup>2</sup>, momen = 2796,43 KNmm dan kelengkungan = 114,7510-6/mm untuk kayu kelapa bagian atas, untuk kayu kelapa bagian tengah diperoleh nilai rata – rata kekakuan = 58,56 KNmm<sup>2</sup>, momen = 4665,31 KNmm dan kelengkungan = 87,53x10-6/mm. Sedangkan untuk kayu kelapa bagian bawah diperoleh nilai rata – rata kekakuan = 47,89 KNmm<sup>2</sup>, momen = 4729,59 KNmm dan kelengkungan = 109,62x10-6/mm.

Dari hasil pengujian, diperoleh grafik hubungan momen dan kelengkungan dengan konsep energi fracture yang juga memiliki bentuk identik dengan grafik hubungan beban dan lendutan. Untuk kayu kelapa bagian bawah grafik yang terbentuk cenderung linear sedangkan kayu kelapa bagian tengah dan atas mengalami perubahan sedikit parabolik saat mencapai tegangan maksimum karena interval perubahan tegangan menurun dari pada awal tegangan yang cenderung konstan.

Berdasarkan analisa momen dan kelengkungan balok kayu kelapa umur 50 tahun dengan konsep energi fracture diperoleh nilai kekakuan (EI) 2% lebih besar dan nilai kelengkungan ( $\phi$ ) 1,1% lebih kecil daripada metode hukum Hooke. Semakin besar nilai kerapatan kayu kelapa maka makin besar selisih nilai EI yang terjadi. Nilai EI yang besar akan menghasilkan desain balok yang lebih ekonomis

### Tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ )

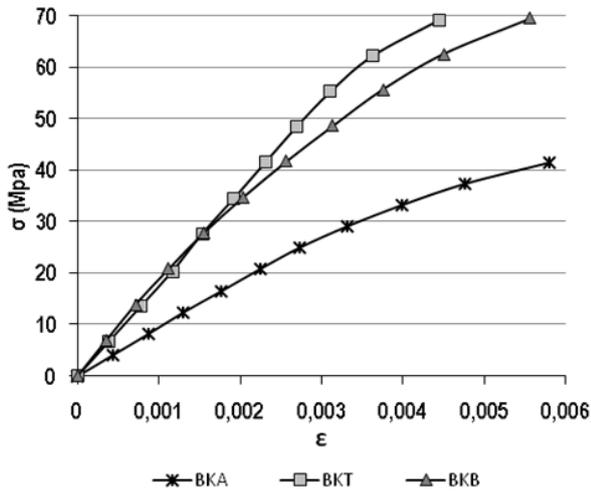
Hubungan tegangan dan regangan balok kayu kelapa berdasarkan letak bagiannya juga akan dianalisa dengan dua cara yaitu dengan metode perpindahan elastis dan dengan konsep energi fracture. Nilai tegangan, MOE dan regangan kayu kelapa dengan metode perpindahan elastis memiliki nilai rata-rata tegangan = 41,25 MPa, MOE = 12243 MPa dan regangan = 0,00578 untuk kayu kelapa bagian atas, untuk kayu kelapa bagian tengah diperoleh nilai rata – rata tegangan = 67,87 MPa, MOE = 19007 MPa dan regangan = 0,00447. Sedangkan untuk kayu kelapa bagian bawah diperoleh nilai rata-rata tegangan = 69,46 MPa, MOE = 21234 Mpa dan regangan = 0,00556. Hal ini disajikan dalam Gambar 10

Rata-rata tegangan lentur balok = 41,25 MPa, MOE = 12477 MPa dan regangan = 0,00574 untuk kayu kelapa bagian atas, untuk kayu kelapa bagian tengah diperoleh nilai rata – rata tegangan = 67,87 MPa, MOE = 19352 MPa dan regangan = 0,00441. Sedangkan untuk kayu kelapa bagian bawah diperoleh nilai rata – rata tegangan = 69,46 MPa, MOE = 21719 MPa dan regangan = 0,00550. Hubungan tegangan dan regangan dengan dengan konsep energi fracture dapat dilihat pada Gambar 10.

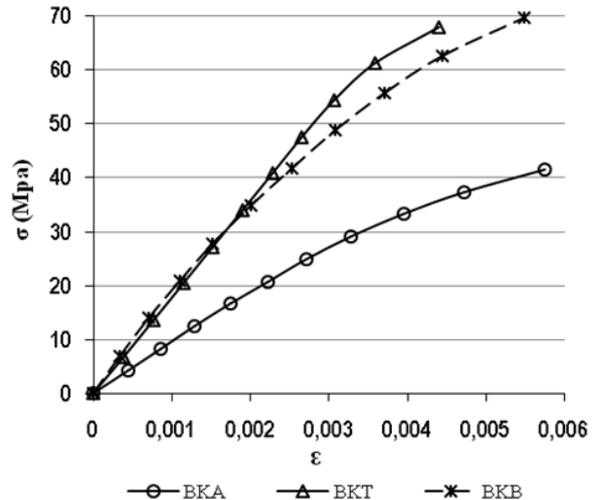
Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan tegangan dan regangan balok kayu kelapa baik dengan metode perpindahan elastis maupun dengan konsep energi fracture, memiliki bentuk identik dengan grafik hubungan beban dan lendutan serta

grafik hubunganmomen dan kelengkungan. Dengan konsep energi fracture diperoleh MOE 2% lebih besar dan regangan ( $\square$ ) 1,1% lebih kecil daripada dengan metode hukum Hooke. Semakin besar kerapatan maka semakin besar pula selisih nilai

MOE dan regangan dengan membandingkan perhitungan konsep energi fracture dan metode perpindahan elastis



Tegangan dan regangan balok menurut metode perpindahan elastis



Tegangan dan regangan balok menurut konsep energi fracture.

**Gambar 10.** Kurva hubungan tegangan dan regangan balok

### Nilai energi release kritis ( $G_c$ ) dan beban fracture ( $V_c$ )

Berdasarkan uji pendahuluan tegangan geser sejajar serat diperoleh nilai modulus geser ( $G$ ) dan dari pengujian balok kayu kelapa yang telah mengalami keruntuhan diperoleh panjang retak ( $\beta$ ), lebar retak ( $b$ ) dan tinggi retak ( $t$ ). Nilai panjang, lebar dan tinggi retak tersebut akan digunakan untuk

menganalisa besarnya nilai beban fracture ( $V_c$ ) dan energi release kritis ( $G_c$ ) yang mengakibatkan keruntuhan geser dengan perhitungan konsep energi fracture. Analisa perhitungan nilai energi release kritis ( $G_c$ ) dan beban fracture ( $V_c$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai energi release kritis ( $G_c$ ) dan beban fracture ( $V_c$ ) kayu kelapa.

Zona Sampel	$G$ (Mpa)	$\beta$ (mm)	$b$ (mm)	$\tau$ (mm)	$G_c$ (N/mm)	$V_c$ (N)	$A$ (MPa)	$G_c / b$ (MPa)
BKA	185	192,17	54,67	36,67	8.39	84.90	0.159	0.153
BKT	206,24	189,57	53,71	30,86	8.58	126.33	0.175	0.167
BKB	207,28	165	46,71	35	10.16	171.92	0.229	0.218

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa untuk kayu kelapa bagian atas diperoleh nilai rata-rata  $G_c = 8,39$  N/mm,  $V_c = 84,90$  MPa,  $A = 0,159$  MPa dan  $G_c/B = 0,153$  MPa, untuk kayu kelapa bagian tengah nilai rata-rata rata  $G_c = 8,58$  N/mm,  $V_c = 126,33$  MPa,  $A = 0,175$  MPa dan  $G_c/B = 0,167$  MPa sedangkan kayu kelapa bagian bawah diperoleh nilai rata-rata rata  $G_c = 10,16$  N/mm,  $V_c = 171,92$  MPa,  $A = 0,229$  MPa dan  $G_c/B = 0,218$ MPa.

Nilai energi release kritis ( $G_c$ ) adalah jumlah energi yang menyebabkan terjadinya retak

sepanjang garis retak arah longitudinal dan luasan dari grafik hubungan tegangan dan regangan ( $A$ ) merupakan jumlah energi yang menyebabkan terjadinya retak per luas permukaan retak. Sedangkan  $b$  adalah lebar retak, sehingga nilai  $G_c/b$  dan  $A$  dapat diidentikkan.

Dapat disimpulkan bahwa nilai  $G_c/b$  dan  $A$  relatif sama untuk balok kelapa bagian atas dan tengah sedangkan untuk balok kayu kelapa bagian bawah menghasilkan nilai dengan selisih yang lebih besar. Balok kelapa bagian bawah memiliki sifat getas yang tinggi dibanding balok kelapa bagian atas dan tengah sehingga tidak mudah untuk

mengamati panjang retak awal sebab retak terjadi dengan sangat cepat saat mencapai beban maksimum.

**Tabel 3.** Perbandingan tegangan lentur dan tegangan geser kayu kelapa

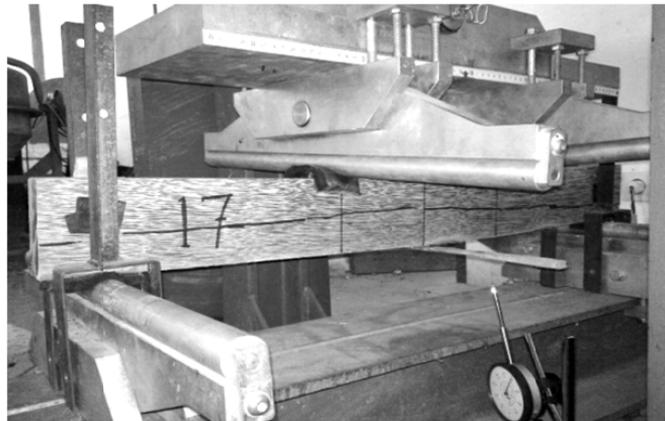
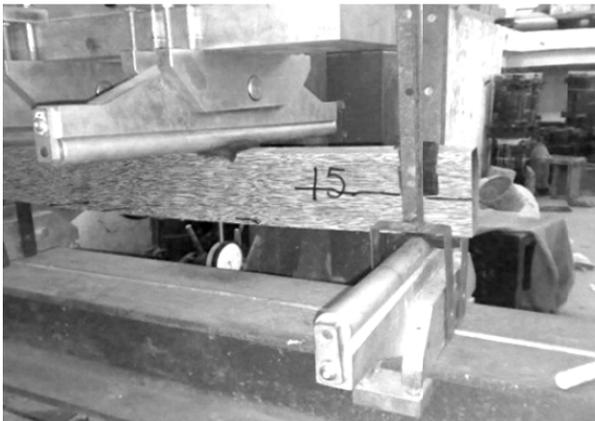
Zona Sampel	$\rho_{rata-rata}$ (gram/c m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$\tau/\sigma$
BKA	0,65	41,25	4,02	9,74
BKT	0,83	67,87	6,65	9,79
BKB	0,92	69,46	6,77	9,75

Nilai tegangan lentur dan tegangan geser yang terjadi pada balok kayu kelapa memiliki nilai perbandingan rata-rata sebesar 9,76% tegangan

geser terhadap tegangan lentur. Nilai perbandingan tersebut dapat digunakan sebagai referensi mendesain dimensi balok kayu kelapa dalam pengujian keruntuhan geser. Untuk lebih jelas, hasil analisa dari tegangan lentur dan tegangan geser dapat dilihat pada Tabel 3.

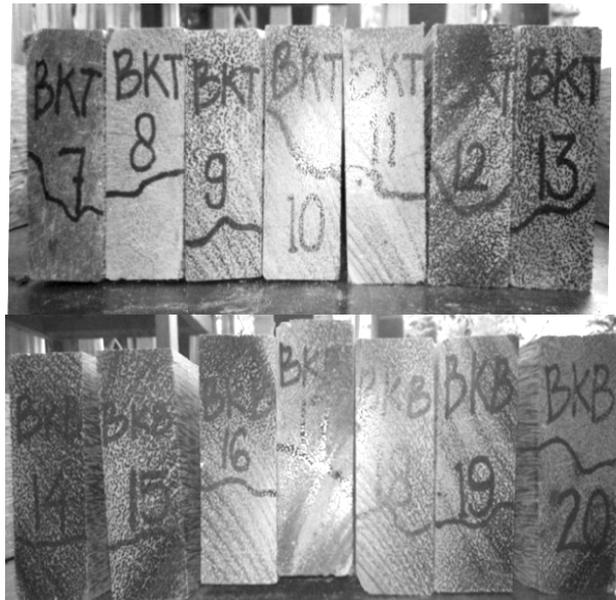
**Pola Keruntuhan Geser Balok**

Pola keruntuhan balok kayu kelapa terlihat pada alur retak horizontal yang terjadi. Retak terjadi disekitar sumbu netral, dan membentuk garis yang cenderung lurus sejajar serat, dimulai dari tumpuan dan merambat kearah tengah bentang. Khusus Retak memanjang balok BKB 17 terjadi menerus menembus kedua tepian. Hal ini disajikan dalam Gambar 11



**Gambar 11.** Pola keruntuhan arah memanjang

Pola keruntuhan geser arah melintang pada balok kayu kelapa dapat dilihat pada Gambar 12. Untuk arah melintang, model garis keretakan menembus kedua sisi vertikal. Hal itu disebabkan pengambilan sampel yang tepat karena tidak terletak pada daerah transisi antara hati kayu (inner part) dan bagian sekitar kulit maupun transisi antara bagian pangkal/akar dan bagian tengah.



**Gambar 12.** Pola keruntuhan arah melintang

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kerapatan kayu kelapa bagaian atas, tengah dan pangkal berturut-turut adalah 0,64 gr/cm<sup>3</sup>; 0,83 gr/cm<sup>3</sup> dan 0,91 gr/cm<sup>3</sup>. Semakin besar kerapatan kayu kelapa, maka intensitas sifat mekanisnya cenderung semakin meningkat, dengan pola deformasi elastis non linear, kecuali kuat tarik. Melalui pendekatan konsep energi fracture diperoleh kelengkungan dan regangan 1,1% lebih kecil daripada analisa dengan pendekatan metode elastis, sedangkan kekakuan (EI) dan modulus elastisitas (MOE) 2% lebih besar. Dengan demikian akan diperoleh desain balok konstruksi yang lebih efisien.

Perbandingan tegangan geser dan lentur adalah 9,76% tegangan geser terhadap tegangan lentur. Jenis keruntuhan yang dialami balok kayu kelapa adalah keruntuhan akibat geser. Pola kerusakan geser ditandai adanya retak horizontal dimulai dari tumpuan/tepi balok merambat kearah tengah balok. Tegangan geser maksimum lebih dulu tercapai daripada tegangan lentur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2009. Distribusi Kandungan Kimia Kayu Kelapa (Cocos Nucifera). [www.ForestResourcesTechnologyCommunity.com](http://www.ForestResourcesTechnologyCommunity.com), Jakarta.
- Anonim. 2009. Klasifikasi dari *Elaeis guineensis*, *Cocos nucifera*, *Tectona grandis* dan *Swietenia mahagoni*. [www.indeks-MIMT.go.id](http://www.indeks-MIMT.go.id), Jakarta.
- Anonim. 2009. Potensi Tanaman Kelapa Provinsi Sulawesi Tengah. [www.InfokomSulteng.go.id](http://www.InfokomSulteng.go.id), Biro Infokom Sulteng, Palu.
- Anonim. 2009. Bagaimana Menentukan Umur Pohon Kelapa?. [www.Pikiran-Rakyat.com](http://www.Pikiran-Rakyat.com), Jakarta.
- Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Gorchler, D.R., Griffiths., dan G. Steck. 1995. Timber Engineering Step I. Centrum Hout, The Nederland.
- Killmann, W. and M.P. Koh. 1988. Oil Palm Stem Densification Using Ammonia Treatment: A Preliminary Study. Journal of Tropical Forest Science. Malaysia.
- Kollman, F.F.P dan W.A. Cote, 1968. Principal Of Wood Science and Technology. Volume 1. Springer-Varleg Berlin Heildenberg, New York.
- Kusnindar, 2009. Optimasi Kinerja Balok Kayu Kelapa (Cocos Nucifera) dengan Metode Laminasi (Kajian terhadap Respon Mekanis dengan Konsep Energy Fracture). Jurnal SMARTEK, UNTAD.
- Prayitno, T.A, 1995. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Menurut ISO 1975 (terjemahan). Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Randriani, E. dan Saefudin. 1993. Persilangan buatan pada kelapa. Kumpulan Makalah Seminar Ilmiah tahun 1992/1993. Sub Balai Penelitian Kelapa Pakuwon. hlm. 2-3.
- Rao, K.N, 2003. The Coconut and Other Palm. [www.Chennaionline.com.Chennai](http://www.Chennaionline.com.Chennai).
- Reshke, R.G., M. Mohammad, dan J.H.P. Quenneville. 2002. Influence of Joint-configuration Parameters on Strength of Perpendicular-to Grain-bolted Timber Connections. Thesis. Departement of civil Engineering, Royal Military College of Canada, Kingston, Ontario.
- Sardy, S.1990. Dasar Analisis Tegangan. Universitas Indonesia, Salemba 4 Jakarta.
- Sebayang, D. 1991. Kekuatan Bahan Terapan. Erlangga, Jakarta.
- Serrano, E., and H.J. Larsen. 1999. Numerical Investigation Of The Laminating Effect In Laminated Beam. Journal of Structural Engineering. 125 ( 7 ) : 740-745
- Singer, F.L., Pytel, A., Sebayang, D., 1999, Kekuatan bahan (Teori Kokoh-Strength Of Material) 3rd edition, Erlangga, Jakarta.
- Sulistyawati I, 2006. Ratio of Shear to Bending Deflection and Its Influence to Bending Stiffness (EI) of Timber Beam. J. Ilmu & Teknologi Kayu Tropis..4 (2): 44 - 49.
- Thampake, P.K. 1982. Handbook of Coconut Palm. Oxford and IBH, New Delhi. 311.
- Timoshenko, S.P dan J.M, Gere, 1996. Mekanika Bahan. P.T Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Yue.J.J. 2009. Energy Concepts for Fracture. [http://www.lib.umich.edu/libhome/Dentistry.lib/Dental tables/Surffreener.html](http://www.lib.umich.edu/libhome/Dentistry.lib/Dental%20tables/Surffreener.html)