

## Sifat Fisika dan Mekanika Kayu *Acacia aulacocarpa* dari KHDTK Wanagama

### (Physical and Mechanical Properties of *Acacia aulacocarpa* Wood from KHDTK Wanagama)

Nur Indah Lumban Gaol, Fanny Hidayati\*, Widyanto Dwi Nugroho, Harry Praptoyo, Oka Karyanto, Sri Nugroho Marsoem

(Diterima Januari 2023/Disetujui Agustus 2023)

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengkajisifat fisika dan sifat mekanika pada kedudukan aksial (pangkal, tengah, dan ujung) dan radial (dekat hati, tengah, dan dekat kulit), serta hubungan antara berat jenis dan sifat mekanis kayu *Acacia aulacocarpa*. Tiga pohon berumur 27 tahun yang ditanam di KHDTK Wanagamadigunakan. Sifat fisika dan mekanika kayu diuji sesuai dengan *British Standard 373:1957*. Analisis statistik yang digunakan adalah anova dua-arah dan uji lanjut Tukey HSD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata kadar air segar ialah 98,95%; berat jenis segar dan kering udara 0,58 dan 0,61. Penyusutan radial, tangensial, dan longitudinal dari kondisi segar ke kering tanur (penyusutan total) adalah 2,02%, 5,09%, dan 0,33%. Rasio tangensial/radial (T/R) 2,80%. Keteguhan lengkung statik pada batas proporsi, modulus elastisitas (MoE), dan modulus patah (MoR) secara berurutan 498,13 kg/cm<sup>2</sup>, 116,16x1000 kg/cm<sup>2</sup>, dan 1043,68 kg/cm<sup>2</sup>. Keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat masing-masing 596,05 kg/cm<sup>2</sup> dan 227,25 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil analisis varian menunjukkan bahwa faktor kedudukan radial berpengaruh nyata pada kadar air segar, berat jenis segar, berat jenis kering udara, penyusutan total arah radial, rasio T/R, keteguhan lengkung statik (tegangan pada batas proporsi, MoE, dan MoR), keteguhan tekan sejajar serat, dan keteguhan tekan tegak lurus sejajar serat. Namun, faktor kedudukan aksial tidak menunjukkan perbedaan nyata pada sifat fisika dan mekanika kayunya. Selanjutnya, berat jenis kering udara berhubungan positif sedang hingga kuat secara nyata dengan semua sifat mekanika kayu yang diuji.

Kata kunci: *Acacia aulacocarpa*, sifat fisika, sifat mekanika, kedudukan aksial, kedudukan radial

#### ABSTRACT

This study aims to determinethe physical properties and mechanical properties at axial (base, middle, and top) and radial (near the pith, middle, and near the bark) positions, as well as the relationship between the specific gravity and mechanical properties of *Acacia aulacocarpa* wood. Three 27-year-old trees planted at KHDTK Wanagama wereused. Wood physical and mechanical propertieswere tested per *British Standard 373:1957*. The statistical analysis used was a two-way ANOVA and a follow-up test of Tukey HSD. The results showed that the average moisture content was 98.95%; the green and air-dry sepesific gravity were 0.58 and 0.61. Radial, tangential, and longitudinal shrinkage from green to oven-dry conditions (total shrinkage) were 2.02%, 5.09%, and 0.33%. The tangential/radial (T/R) ratio was 2.80%. The static bending strength of stress at proportion limit, MoE, and MoR were 498.13 kg/cm<sup>2</sup>, 116.16x1000 kg/cm<sup>2</sup>, and 1043.68 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. The compressive strength parallel to the grain and perpendicular to the grain were 596.05 kg/cm<sup>2</sup> and 227.25 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. The results of the variance analysis showed that the radial position factor has a significant effect on green moisture content, green and air-dry specificgravity, total radial shrinkage, T/R ratio, static bending strength at stress of proportion limit, MoE, MoR, compressive strength parallel to the grain, and compressive strength perpendicular to the grain. However, the axial position factor did not show any significant differences in the physical and mechanical properties of the wood. Furthermore, air-dry specific gravity has a significant moderate to high positive correlation with all mechanical properties.

Keywords: *Acacia aulacocarpa*, physical properties, mechanical properties, axial position, radial position

#### PENDAHULUAN

*Acacia aulacocarpa* merupakan salah satu jenis akasia yang telah dikembangkan di hutan tanaman industri (HTI), tetapi masih sedikit informasi mengenai

sifat dan kegunaan kayu tersebut (Suprpti & Krisdianto 2006). Jenis ini sudah dikembangkan di Thailand sejak tahun 1984 dan dapat tumbuh dengan baik di beberapa lokasi (Turnbull *et al.* 1998), dan potensial untuk ditanam sebagai penghasil kayu gergajian dan venir (Turnbull *et al.* 1998). Informasi mengenai sifat fisika dan mekanikanya masih terbatas di Indonesia. Oleh karena itu diperlukan upaya pengenalan dan pemahaman sifat kayunya sebab hal

Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Agro No. 1 Bulaksumur Yogyakarta 55281

\* Penulis Korespondensi: Email: [fanny\\_hidayati@ugm.ac.id](mailto:fanny_hidayati@ugm.ac.id)

tersebut tidak hanya penting pada kayu komersial tetapi juga pada kayu yang kurang dikenal dan yang tidak dikenal (Putro & Marsoem 2004). Penggunaan kayu kurang dikenal diharapkan dapat meningkatkan diversifikasi jenis menjadi alternatif kayu tertentu dan menjamin pasarnya (Pasaribu 2007).

Sifat fisika dan mekanika kayu perlu diketahui berdasarkan kedudukan aksial dan radial karena pertumbuhan pohon akan menghasilkan kayu yang beragam baik di sepanjang jari-jari batang (radial) maupun di sepanjang ketinggian batang (aksial) (Zobel & Sprauge 1998). Keragaman tersebut menyebabkan perbedaan sifat kayu pada kedudukan radial kayu, yaitu dari hati ke arah kulit, dan kedudukan aksial kayu, yaitu dari pangkal ke arah ujung (walaupun keragaman dari pangkal ke arah ujung tidak selalu ada) (Panshin & de Zeeuw 1980). Variasi sifat dasar kayu pada kedudukan aksial dan radial telah banyak dilaporkan, salah satunya oleh Chowdhury *et al.* (2012) pada kayu *A. auriculiformis* asal Bangladesh yang menemukan variasi dalam hal keteguhan lengkung statik pada modulus of elasticity (MoE) dan modulus of rupture (MoR) pada kedudukan radialnya. Dinyatakan bahwa nilai keteguhan lengkung statik pada MoE dan MoR menunjukkan nilai yang rendah di bagian dekat empulur, kemudian meningkat dan hampir stabil ke arah kulit. Kim *et al.* (2008) menunjukkan bahwa berat jenis kayu akasia hibrid (*A. mangium* × *A. auriculiformis*) yang berusia 8 tahun asal Vietnam pada kedudukan aksial, yaitu berat jenis tertinggi terdapat pada bagian pangkal, cenderung menurun ke bagian tengah, kemudian meningkat menuju ujung; dan bervariasi pada kedudukan radial, yaitu meningkat dari empulur ke dekat kulit. Variasi tersebut harus dipertimbangkan untuk memastikan pemanfaatan produk yang terbaik. Dalam industri perkayuan, sifat kayu yang seragam akan memudahkan pengolahan sehingga pola variasi sifat kayu perlu dipahami (Marsoem *et al.* 2015).

Berat jenis sering dianggap sebagai sifat yang paling menentukan mutu kayu baik dalam pengolahan

maupun pemanfaatan kayunya. Menurut Prawirohatmodjo (2012), berat jenis merupakan faktor yang menentukan sifat fisika dan mekanika kayu. Hubungan antara berat jenis dan sifat fisika kayu telah dilaporkan, antara lain pada tiga spesies cepat tumbuh asli Kalimantan Selatan oleh Istikowati *et al.* (2014), bahwa ditemukan korelasi positif yang nyata antara kerapatan kering udara dan keteguhan tekan sejajar serat.

Pola variasi sifat fisika dan mekanika merupakan kepentingan ilmiah dasar, sebagai informasi fundamental dalam pengolahan kayu menjadi produk kayu utuh karena dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian jenis kayu dengan penggunaannya. Dengan demikian penggunaan bahan baku dapat lebih efisien dan optimum. Hubungan berat jenis dengan sifat mekanis kayu *A. aulacocarpa* perlu diketahui karena penting untuk menduga mutu kayu agar memudahkan pemanfaatannya.

## METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah 3 pohon *A. aulacocarpa* berumur 27 tahun yang berasal dari KHDTK Wanagama, Gunung Kidul, Yogyakarta. Deskripsi lokasi ditampilkan pada Tabel 1. Pada pohon yang telah ditentukan, diukur diameter setinggi dada, selanjutnya ketiga pohon tersebut ditebang dan diukur tinggi totalnya (Tabel 2). Pada pohon yang telah rebah, batang dibagi setiap panjang 3 m dari pangkal sampai ujung (arah aksial) menjadi tiga bagian (pangkal, tengah, dan ujung). Setiap bagian batang diuji sifat fisika dan sifat mekanikanya. Selanjutnya, sampel pada arah radial diambil dengan cara membagi permukaan kayu (bidang transversal) pada bagian dekat hati, tengah, dan dekat kulit pada setiap bagian batang pada dua arah (kanan dan kiri). Pada pengujian sifat fisika kayu diambil lempeng (*disk*) dengan ketebalan 8 cm, guna menguji berat jenis, penyusutan total (kondisi segar ke kering tanur), dan rasio T/R.

Tabel 1 Kondisi lingkungan tempat tumbuh

Karakteristik	Nilai
Letak geografis	100° 30' - 100° 33' BT; 7° 53' - 7° 54' LS.
Iklim	Tipe Iklim C (klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson)
Ketinggian (mdpl)	214
Curah hujan (mm/thn)	1900
Suhu rata-rata (°C)	27,7
Kelembaban udara (%)	80–90
Jenis tanah	Entisol
Bahan induk tanah	Karst
Topografi	Datar

Tabel 2 Data pohon sampel penelitian

Keterangan	Pohon 1	Pohon 2	Pohon 3
Tinggi total (m)	22,4	25,7	26,0
TBBC (m)	8,0	11,5	9,0
Dbh (cm)	33,5	30,8	31,0

Keterangan: TBBC = Tinggi batang bebas cabang dan dbh = Diameter setinggi dada (*diameter at breast height*).

Selanjutnya, sisa log digunakan untuk pengujian sifat mekanika. Sifat mekanika kayu yang diuji adalah keteguhan lengkung statis (tegangan pada batas proporsi, MoE, dan MoR), keteguhan tekan sejajar serat, dan keteguhan tekan tegak lurus serat. Sifat mekanika kayu diuji menggunakan *Universal Testing Machine* merk Istron 3360, dan nilai yang diperoleh dirata-ratakan. Pengujian sifat fisika dan mekanika kayu mengacu pada *British Standard No. 373 Tahun 1957 (BSI, A 1957)*.

Dalam penelitian ini digunakan dua faktor, yaitu arah aksial (pangkal, tengah, ujung) dan arah radial (dekat hati, tengah, dekat kulit). Data dianalisis menggunakan *analysis of variance (ANOVA)* dua-arah dan uji lanjut Tukey HSD. Korelasi Pearson digunakan untuk menentukan hubungan antara berat jenis dan sifat mekanika kayu.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Sifat Fisis

- Kadar air

Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata sifat fisika kayu *A. aulacocarpa* serta hasil analisis statistiknya. Kayu yang tumbuh di KHDTK Wanagama ini memiliki rata-rata kadar air segar 98,95%. Hasil tersebut sesuai dengan temuan Skaar (1988) bahwa kayu daun memiliki kadar air segar 34–146%. Rata-rata kadar air

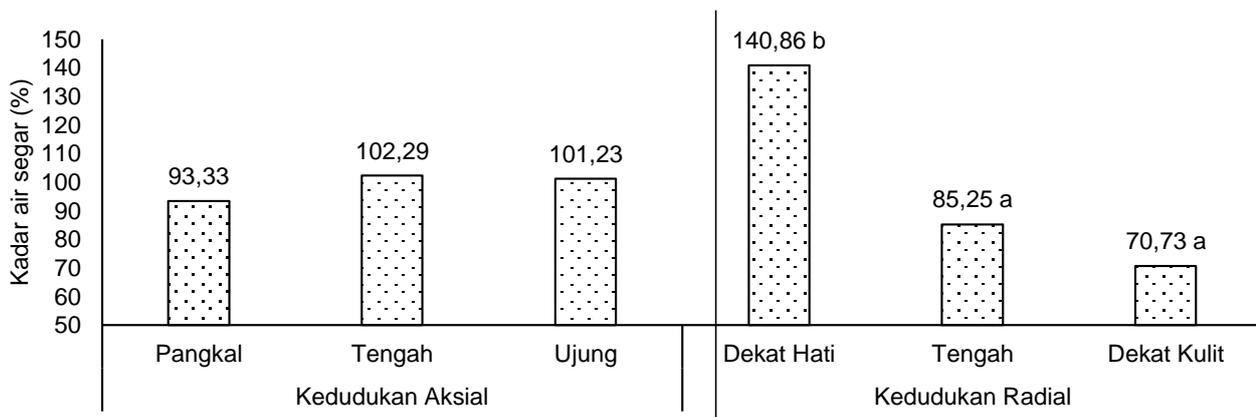
segar kayu ini lebih rendah daripada yang dilaporkan Bangrak *et al.* (2011) pada jenis yang sama berumur 18 tahun asal Prachuap Khiri Khan, Thailand, yaitu 106%, dan kadar air segar kayu *A. mangium* umur 8 tahun dari Palembang, Sumatera Selatan, yang diteliti Siarudin & Marsoem (2007), yakni 118,40%. Perbedaan kadar air segar suatu kayu bergantung pada lokasi, umur, musim, dan ukuran pohon (Smulsky & Jones 2019).

Perbandingan nilai kadar air segar pada kedudukan aksial dan kedudukan radial kayu *A. aulacocarpa* disajikan pada Gambar 1. Kadar air kayu tertinggi terdapat pada bagian tengah kemudian sedikit menurun ke ujung kayu. Pada umumnya, kayu pada bagian ujung memiliki persentase kayu gubal yang lebih tinggi dengan kadar air yang lebih tinggi pula (Desch & Dinwoodie 1996). Kadar air segar (Tabel 3) pada kedudukan aksial menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata, berarti kadar air segar hampir sama pada ketiga kedudukan aksial, yaitu pangkal, tengah, ujung kayu *A. aulacocarpa*. Kadar air rata-rata dalam kayu pada kedudukan radial meningkat dari dekat kulit ke arah dekat hati, berturut-turut 70,73%, 85,25% dan 140,86%. Hasil analisis kadar air segar pada kedudukan radial menunjukkan perbedaan yang nyata (taraf nyata 1%). Dari hasil uji lanjut Tukey, kadar air segar kedudukan tengah dan dekat kulit berbeda nyata dengan kadar air dekat hati. Kadar air segar tertinggi terdapat pada bagian dekat hati. Menurut Moya & Munoz (2008), kadar air yang tinggi tersebut dapat

Tabel 3 Nilai rata-rata sifat fisika Kayu *A. aulacocarpa* dan hasil analisis statistiknya (Anova)

Parameter uji	Rata-rata	Hasil anova arah aksial	Hasil anova arah radial	Hasil anova interaksi aksial*radial
Kadar air segar (%)	98,95	0,501 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,988 <sup>ns</sup>
Berat jenis segar	0,58	0,725 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,956 <sup>ns</sup>
Berat jenis kering udara	0,61	0,641 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,972 <sup>ns</sup>
Penyusutan total (%)				
- arah radial	2,02	0,128 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,711 <sup>ns</sup>
- arah tangensial	5,09	0,361 <sup>ns</sup>	0,056 <sup>ns</sup>	0,817 <sup>ns</sup>
- arah longitudinal	0,33	0,149 <sup>ns</sup>	0,221 <sup>ns</sup>	0,392 <sup>ns</sup>
Rasio T/R	2,80	0,495 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>**</sup>	0,782 <sup>ns</sup>

Keterangan: \*\* = Berbeda nyata pada taraf uji 1% dan ns = Tidak berbeda nyata.



Gambar 1 Rerata kadar air segar kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan kedudukan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

dikaitkan dengan posisi kayu. Yang berada di dekat hati dipengaruhi oleh keberadaan kayu juvenil yang memiliki proporsi pembuluh yang tinggi. Fenomena ini umum dan dianggap normal bagi sebagian besar spesies cepat tumbuh, tetapi ini juga dapat dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan, umur, dan dimensi pohon (Moya & Munoz 2008). Pada penelitian ini hasil analisis keragaman dalam hal interaksi kedudukan aksial dan kedudukan radial tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 5% dan 1%.

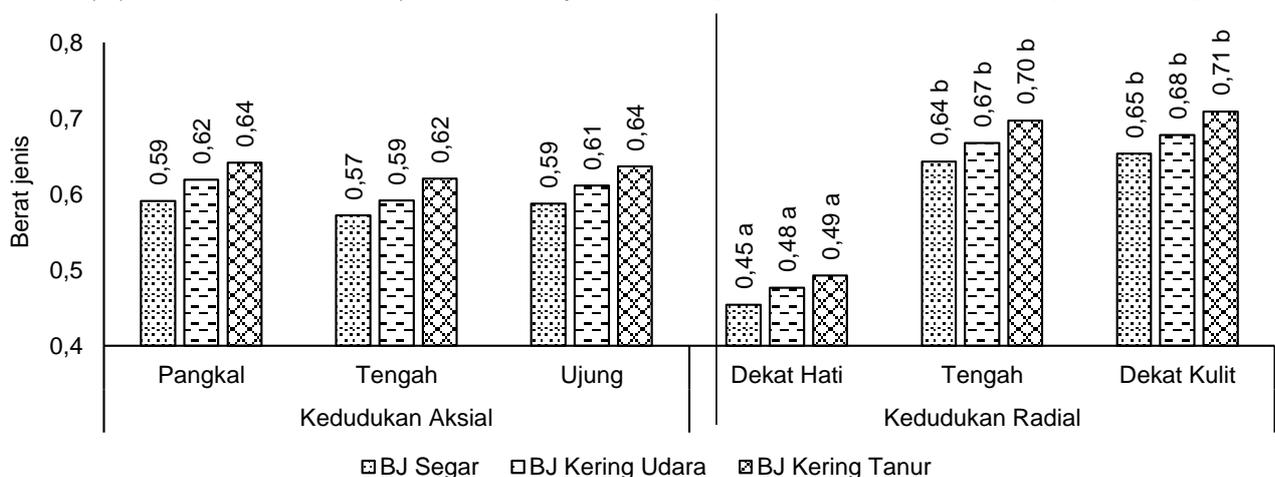
• Berat jenis

Berat jenis dapat dihitung berdasarkan perbedaan volume. Pada penelitian ini, berat jenis dihitung berdasarkan 2 kondisi volume yang berbeda, yaitu volume segar (berat jenis segar) dan volume kering udara (berat jenis kering udara). Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, *A. aulacocarpa* memiliki nilai rerata berat jenis segar 0,58 dan nilai rerata berat jenis kering udara 0,61. Berat jenis kayu *A. aulacocarpa* kondisi kering udara pada penelitian Bangrak *et al.* (2011) pada jenis yang sama umur 18 tahun asal Prachuap Khiri Khan, Thailand, menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 0,77, daripada hasil pada penelitian ini pada umur 27 tahun. Shmulsky & Jones (2019) menyatakan banyak faktor yang menyebabkan perbedaan berat jenis di antaranya adalah iklim, lokasi geografis/tempat tumbuh (kelembapan, sinar matahari, nutrisi, angin, suhu, kemiringan, jenis tanah, komposisi tegakan, dan jarak tanam), dan stres akibat pertumbuhan. Diduga faktor tersebut yang menyebabkan lebih tingginya nilai berat jenis *A. aulacocarpa* (Bangrak *et al.* 2011) dibandingkan pada penelitian ini. Hasil yang serupa juga didapatkan jika penelitian ini dibandingkan dengan spesies lain dalam genus yang sama, seperti *A. melanoxylon* umur 33–55 tahun (dbh 40 cm) asal Portugal, dengan berat jenis kering udara 0,65 (dalam kisaran 0,61–0,65) (Machado *et al.* 2014) dan *A. auriculiformis* umur 20 tahun (dbh 28,3 cm) asal Sèmè, Benin sebesar 0,74 (berkisar 0,62–0,83) (Hounlonon *et al.* 2021). Nilai berat jenis

kering udara *A. aulacocarpa* pada penelitian ini tetap menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan kedua spesies tersebut.

Berat jenis pada kedudukan aksial memiliki nilai tertinggi pada bagian pangkal, sedikit menurun ke bagian tengah, lalu naik lagi ke bagian ujung batang (Gambar 2). Pola ini sesuai dengan pola ke-dua menurut Panshin & de Zeeuw (1980). Nilai berat jenis yang lebih tinggi di bagian pangkal batang dihasilkan dari gabungan umur kayu dan pengaruh dari sistem akar (Machado *et al.* 2014). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kedudukan aksial pada berat jenis berdasarkan dua kondisi volume (segar dan kering udara) tidak berbeda nyata, yang berarti berat jenis cenderung seragam pada kedudukan aksialnya. Hasil analisis yang tidak berbeda nyata pada arah aksial diduga bahwa sampai dengan ketinggian 9 m di atas permukaan tanah, proporsi kayu juvenil dan kayu dewasa relatif sama. Hal ini terkait dengan diameter yang besar serta tinggi pohon yang tinggi (Tabel 2). Makino *et al.* (2012) melaporkan bahwa kayu dewasa dibentuk setelah 6 cm dari empulur berdasarkan pengamatan kerapatan dasar dan keteguhan tekan sejajar serat. Selain itu disebutkan pula bahwa proses pendewasaan pada kayu *A. mangium* bergantung pada laju pertumbuhannya.

Sementara itu, hasil analisis keragaman pada kedudukan radial menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 3). Berdasarkan hasil uji lanjut (Gambar 2), ketiga kondisi berat jenis pada kedudukan dekat hati berbeda sangat nyata dengan di bagian tengah dan bagian dekat kulit, sedangkan pada bagian tengah dan bagian dekat kulit tidak berbeda nyata. Nilai berat jenis kayu *A. aulacocarpa* pada penelitian ini menunjukkan pola pertama berdasarkan klasifikasi menurut Panshin & de Zeeuw (1980), yaitu berat jenis meningkat dari empulur ke arah kulit. Hal tersebut juga sesuai dengan pendapat Evans *et al.* (2000), bahwa pada kayu daun, nilai berat jenis kayu umumnya ditemukan meningkat dari empulur menuju kulit kayu. Pola keragaman radial ini serupa dengan *A. mangium* asal



Gambar 2 Rerata berat jenis kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan kedudukan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Yogyakarta pada penelitian Nugroho *et al.* (2012) dan kayu akasia hibrid (*A. mangium* × *A. auriculiformis*) umur 8 tahun asal Vietnam oleh Kim *et al.* (2008). Kedudukan dekat hati menunjukkan nilai terendah sebab keberadaan kayu juvenil yang terpusat di dekat empulur kayu. Menurut Shmulsky & Jones (2019), kayu juvenil memiliki berat jenis yang lebih rendah karena memiliki dinding sel tipis, lingkaran tumbuh lebih besar, dan sel kayu akhir lebih sedikit. Purwanto (2012) juga menyatakan bahwa keragaman berat jenis pada kedudukan yang berbeda disebabkan oleh perbedaan zat penyusun dinding sel dan kandungan ekstraktif per unit volume. Selanjutnya, hasil analisis keragaman interaksi berat jenis pada kedudukan aksial dan kedudukan radial tidak menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 3). Rerata berat jenis segar kayu adalah 0,58. Ditinjau dari berat jenisnya, kayu ini termasuk kayu dengan berat jenis sedang berdasarkan pengelompokan oleh IAWA (Wheeler *et al.* 2008). SNI 0608-2017 mensyaratkan bahan kayu untuk mebel memiliki kerapatan di atas 0,4; maka kayu *A. aulacocarpa* pada penelitian ini sudah memenuhi syarat tersebut (Anonim 2017).

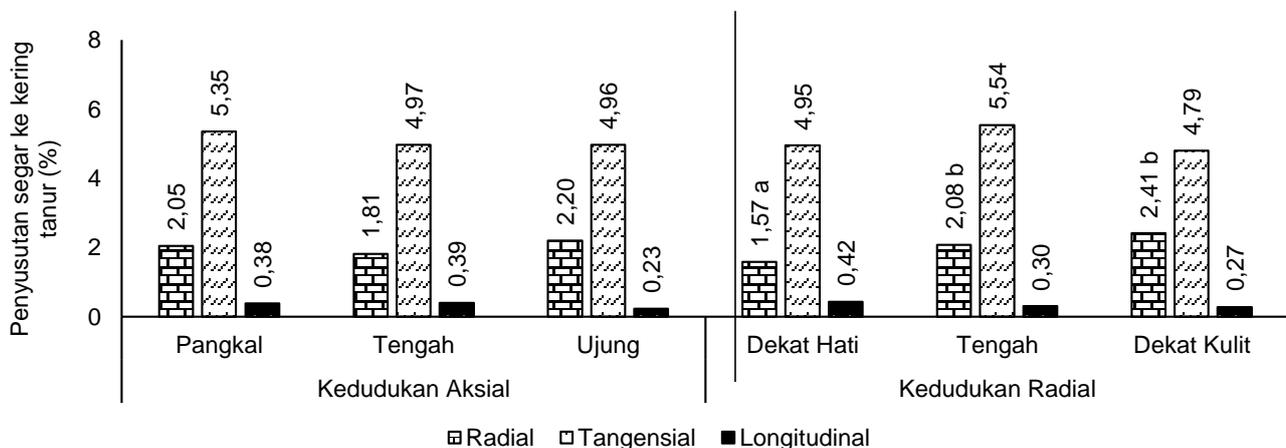
- Penyusutan total dan rasio T/R

Penyusutan kondisi segar ke kondisi kering tanur disebut juga sebagai penyusutan total. Kondisi ini menggambarkan dimensi kayu pada saat berdiri kemudian dikeringtanurkan hingga mencapai dimensi terkecilnya. Rerata penyusutan total berdasarkan Tabel 3 adalah penyusutan radial 2,02%; penyusutan tangensial 5,09%; dan penyusutan longitudinal 0,33%. Menurut Spear & Walker (2006), tingginya penyusutan radial dan tangensial seperti pada penelitian ini umum dijumpai pada kayu dengan berat jenis sedang, yaitu 2–6% pada arah radial dan 5–10% pada arah tangensial. Namun, penyusutan longitudinalnya cukup tinggi dan termasuk jarang ditemui. Pada umumnya penyusutan longitudinal hanya 0,1–0,2% dan jarang melebihi 0,4% (Shmulsky & Jones 2019). Meskipun begitu, penyusutan di atas 0,4% tersebut masih

termasuk penyusutan yang normal dan dapat diabaikan untuk sebagian penggunaan. Penyusutan longitudinal yang tinggi dapat disebabkan oleh besarnya sudut mikrofibril pada lapisan S2 (Shmulsky & Jones 2019). Hal ini dapat disebabkan oleh pohon yang sudah termasuk tua, maka dinding sel akan semakin tebal dengan bertambahnya zat kayu dan struktur kayu.

Penyusutan total arah radial dan tangensial pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan temuan Bangrak *et al.* (2011) pada jenis yang sama umur 18 tahun asal Thailand, yang melaporkan penyusutan radial 3,34% dan penyusutan tangensial 6,31%. Berdasarkan pembahasan berat jenis sebelumnya, diketahui *A. aulacocarpa* pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan penelitian Bangrak *et al.* (2011). Berat jenis yang tinggi memiliki dinding sel yang lebih banyak dan volume lumen yang sedikit, sehingga penyusutan yang terjadi lebih tinggi; begitu pula sebaliknya (Spear & Walker 2006). Hal tersebut diduga menjadi penyebab rendahnya penyusutan *A. aulacocarpa* pada penelitian ini.

Dari Gambar 3 diketahui bahwa penyusutan total tangensial lebih dari 200% dari penyusutan radialnya. Kollmann & Côté (1968) menjelaskan bahwa gejala tersebut terjadi akibat efek penahanan dari sel jari-jari, besarnya sudut fibril pada dinding sel, struktur sel, dan keberadaan molekul rantai selulosa dalam dinding sel. Pola penyusutan radial pada kedudukan aksial dari nilai tertinggi secara berurutan adalah ujung, pangkal, dan tengah. Kemudian, penyusutan tangensial menunjukkan pola yang menurun dari pangkal ke ujung. Penyusutan longitudinal juga memperlihatkan pola yang berbeda, yaitu tengah, pangkal, dan ujung. Meski memiliki nilai rerata penyusutan total berbeda di tiap kedudukannya, penyusutan pada ketiga arah tersebut tidak berbeda nyata di kedudukan aksial (Tabel 3). Hal serupa ditemui pada *A. mangium* umur 10, 15, dan 20 tahun asal Bangladesh, yakni tidak ada perbedaan nyata pada penyusutan radial, tangensial, dan longitudinal yang terjadi seiring bertambahnya lokasi



Gambar 3 Rerata penyusutan total (kondisi segar ke kering tanur) kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan kedudukan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

tinggi pohon (kedudukan aksial) (Chowdhury *et al.* 2005). Penyusutan total tangensial dan longitudinal pada kedudukan radial tidak berbeda nyata (Tabel 3), yang berarti penyusutan total pada kedua arah tersebut hampir serupa di kedudukan radialnya. Berbeda dengan penyusutan total arah radial pada kedudukan radial, analisis keragaman menunjukkan ada perbedaan nyata. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada uji lanjut Gambar 3, yaitu penyusutan total arah radial pada bagian dekat hati berbeda sangat nyata dengan di bagian tengah dan dekat kulit. Penyusutan total arah radial bagian dekat hati lebih rendah dibandingkan bagian tengah dan dekat kulit yang mengindikasikan bahwa dimensi di bagian dekat hati sedikit berubah pada arah radialnya dibandingkan bagian tengah dan dekat kulit. Hal tersebut perlu menjadi pertimbangan pada saat pengolahan dan pengeringan kayu agar tidak menyebabkan cacat, dan juga penting untuk memprediksi ukuran kayu setelah dikeringkan. Serupa dengan pembahasan sebelumnya, bagian dekat hati merupakan kayu juvenil. Kayu juvenil menyusut lebih kecil pada arah radial dibandingkan kayu dewasa karena kerapatannya yang lebih rendah (berat jenis juga rendah) (Shmulsky & Jones 2019). Keragaman penyusutan dalam suatu kayu juga dapat disebabkan oleh interaksi antara zat kayu dan banyaknya lignin dalam dinding sel (Prawirohatmodjo 2012). Penyusutan arah radial menunjukkan pola yang meningkat dari dekat hati ke arah dekat kulit. Pola tersebut juga ditemui pada penelitian kayu *A. auriculiformis* di Vietnam (Hai *et al.* 2006).

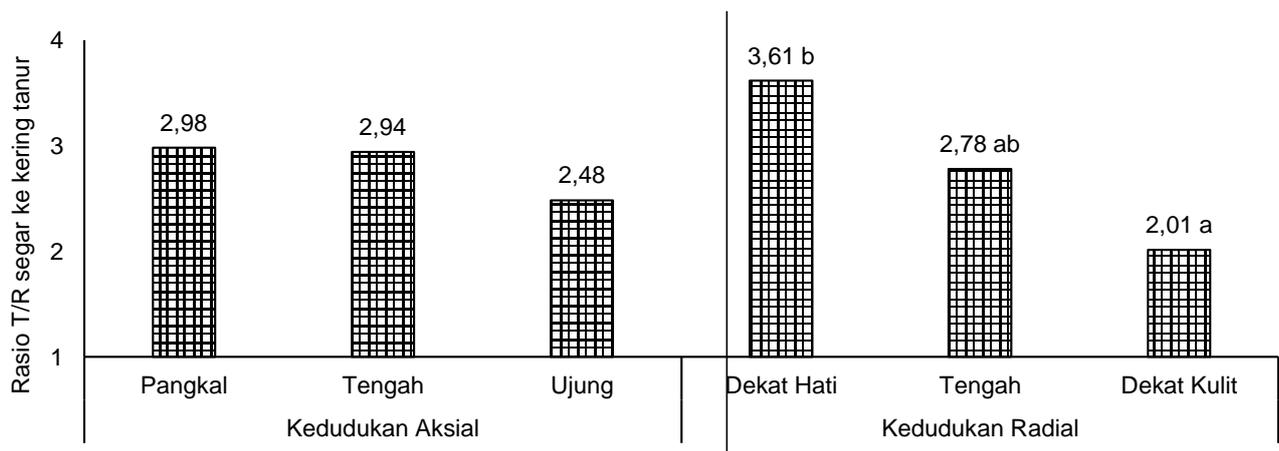
Rasioh T/R pada kedudukan radial menunjukkan perbedaan yang nyata. Berdasarkan hasil uji lanjut

(Gambar 4), rasio T/R pada bagian dekat hati berbeda sangat nyata dengan bagian dekat kulit, sedangkan bagian tengah tidak berbeda nyata dengan bagian dekat kulit dan bagian dekat hati. Rerata rasio T/R dari kayu *A. aulacocarpa* cukup tinggi, yaitu 2,8. Nilai ini lebih tinggi daripada kayu normal pada umumnya, yakni 1,4-2 (Panshin & de Zeeuw 1980). Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan struktur dinding sel kayu yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan penyusutan pada kedua arah tersebut (Basri *et al.* 2020). Kayu dengan nilai T/R lebih dari 2 mengindikasikan dimensi kayu yang tidak stabil karena perubahan dimensi pada arah tangensialnya akan mengecil sebesar tiga kali lipat dari perubahan dimensi pada arah radialnya. Gambar 4 mengilustrasikan bahwa pada kedudukan radial, rasio T/R tertinggi berada pada bagian dekat hati (3,61), sehingga hal ini perlu menjadi perhatian pada saat pengolahan kayu *A. aulacocarpa*.

**Sifat Mekanis**

- Keteguhan lengkung statis

Pada Tabel 4 disajikan hasil perhitungan nilai keteguhan lengkung statis pada batas proporsi, MoE, MoR, keteguhan tekan sejajar serat, dan keteguhan tekan tegak lurus serat. Rerata keteguhan lengkung statik pada batas proporsi 498,13 kg/cm<sup>2</sup>, rerata nilai MoE 116,16 x1.000 kg/cm<sup>2</sup>, dan rerata MoR 1.043,68 kg/cm<sup>2</sup>. MoE dan MoR menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan temuan Bangrak *et al.* (2011) pada kayu *A. aulacocarpa* umur 18 tahun asal Thailand, yakni MoE 125,12x 1.000 kg/cm<sup>2</sup>; dan nilai MoR 1.188,38 kg/cm<sup>2</sup>. Perbedaan tersebut diduga



Gambar 4 Rerata rasioT/R Kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Tabel 4 Nilai rata-rata sifat fisika kayu *A. aulacocarpa* dan hasil analisis statistiknya (anova)

Parameter Uji	Nilai Rerata	Aksial	Radial	Interaksi
Keteguhan lengkung statis				
Tegangan pada batas proporsi (kg/cm <sup>2</sup> )	498,13	0,076 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,779 <sup>ns</sup>
Modulus elastisitas/MoE (x1000 kg/cm <sup>2</sup> )	116,16	0,467 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,776 <sup>ns</sup>
Modulus patah/MoR (kg/cm <sup>2</sup> )	1.043,68	0,282 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,804 <sup>ns</sup>
Keteguhan tekan sejajar serat (kg/cm <sup>2</sup> )	596,05	0,390 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,468 <sup>ns</sup>
Keteguhan tekan tegak lurus serat (kg/cm <sup>2</sup> )	227,25	0,383 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>**</sup>	0,653 <sup>ns</sup>

Keterangan: \*\* = Berbeda nyata pada taraf uji 1% dan ns = Tidak berbeda nyata.

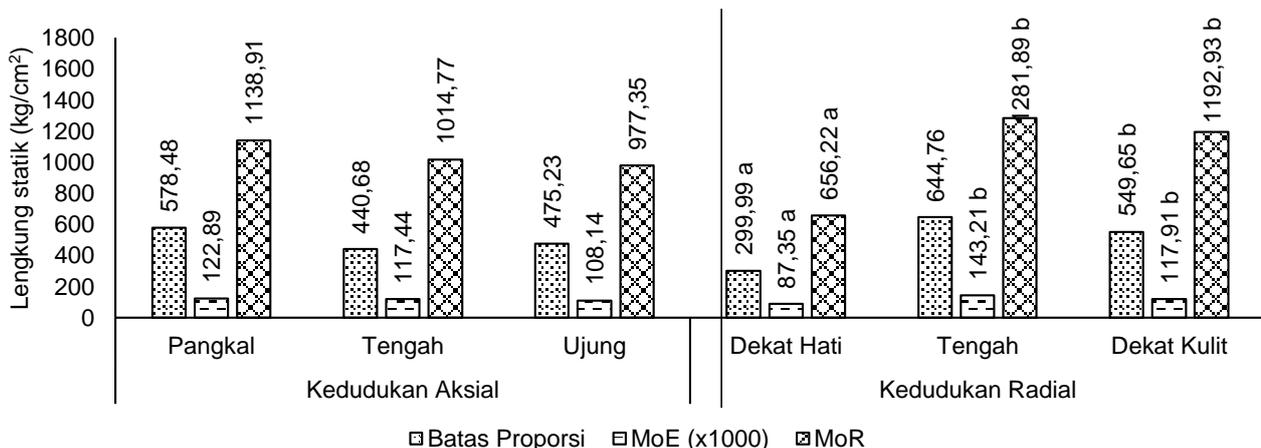
karena perbedaan berat jenis kayu. Berat jenis kayu *A. aulacocarpa* dari Thailand lebih tinggi dibandingkan berat jenis kayu *A. aulacocarpa* pada penelitian ini. Jika penelitian ini dibandingkan dengan spesies lain dalam genus yang sama, seperti kayu *A. melanoxylon* umur 33–55 tahun (dbh 40 cm) asal Portugal (Machado *et al.* 2014), dengan nilai keteguhan lengkung statik pada MoR 1417,41 kg/cm<sup>2</sup>, sementara pada penelitian ini nilainya lebih rendah. Umumnya, semakin banyak proporsi serat yang berdingding tebal (berat jenis tinggi), semakin tinggi kekuatannya (Shmulsky & Jones 2019).

Tegangan pada batas proporsi tertinggi terdapat pada bagian pangkal, kemudian menurun pada bagian tengah, dan naik pada bagian ujung (Gambar 5). Nilai MoE dan MoR pada bagian pangkal paling tinggi, kemudian menurun hingga ke ujung batang. Ketiga nilai tersebut menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada bagian pangkal. Namun, keteguhan lengkung statik pada batas proporsi, MoE, dan MoR tidak berbeda yang nyata pada kedudukan aksial dan interaksi kedudukan aksial dan radial (Tabel 4). Berbeda pada kedudukan radialnya, ada perbedaan nyata (taraf nyata 1%) pada arah radialnya. Hasil uji lanjut menunjukkan nilai keteguhan lengkung statik pada batas proporsi, MoE, dan MoR, pada kedudukan radialnya, bahwa bagian tengah dan dekat kulit berbeda nyata dengan yang di dekat hati. Ketiganya menunjukkan pola yang serupa, yaitu meningkat dari dekat hati ke bagian tengah, lalu menurun ke bagian dekat kulit. Bagian dekat hati cenderung bernilai lebih rendah dibandingkan pada bagian tengah dan dekat kulit. Pola ini juga dilaporkan oleh Doan *et al.* (2021) pada kayu *Acacia mangium* yang ditanam di Thai Nguyen. MoE dan MoR lebih rendah di dekat empulur dan lebih tinggi di dekat kulit kayu pada semua tingkat umur dari 7 tahun sampai 14 tahun. Hal ini diduga berkaitan dengan keberadaan kayu juvenil di sekitar hati. Jadi, penggunaan kayu di dekat hati perlu diperhatikan pada saat penggunaannya.

- Keteguhan tekan sejajar serat dan tegak lurus serat  
 Rerata keteguhan tekan sejajar serat adalah 596,05 kg/cm<sup>2</sup> dan rerata keteguhan tekan tegak lurus serat

kayu 227,25 kg/cm<sup>2</sup> (Tabel 4). Nilai keteguhan tekan sejajar serat pada penelitian ini lebih rendah daripada yang dilaporkan oleh Bangkak *et al.* (2011) pada *A. aulacocarpa* umur 18 tahun asal Thailand, yang menunjukkan hasil uji keteguhan tekan sejajar seratnya 640,18 kg/cm<sup>2</sup>. Berbeda dengan nilai keteguhan tekan tegak lurus seratnya, nilainya lebih tinggi dibandingkan penelitian Bangrak *et al.* (2011), yaitu 186,00 kg/cm<sup>2</sup>. Arsad (2011), meneliti kayu *A. mangium* umur 7 tahun yang berasal dari HTI Kalimantan Selatan, menunjukkan nilai keteguhan tekan sejajar serat dan nilai keteguhan tekan tegak lurus serat yang lebih rendah, yaitu 340,62 kg/cm<sup>2</sup> dan 157 kg/cm<sup>2</sup> begitu juga penelitian *A. mangium* umur 4 tahun yang berasal dari Wonogiri, Jawa Tengah yang diteliti oleh Hidayati *et al.* (2018), yaitu keteguhan tekan sejajar serat 272,2–305,8 kg/cm<sup>2</sup>; dan nilai keteguhan tekan tegak lurus serat 106,9–128,8 kg/cm<sup>2</sup>. Keteguhan tekan sejajar serat menunjukkan hasil yang lebih rendah, diduga disebabkan oleh berat jenis kayu *A. aulacocarpa* pada penelitian Bangkrak *et al.* (2011) lebih tinggi daripada kayu yang digunakan pada penelitian ini, sedangkan berat jenis *A. mangium* pada penelitian Arsad (2011) dan Hidayati *et al.* (2018) lebih rendah.

Gambar 6 menunjukkan nilai keteguhan tekan sejajar serat tertinggi terdapat pada bagian ujung. Berbeda dengan keteguhan tekan tegak lurus serat, nilai tertinggi terdapat pada bagian pangkalnya. Namun, keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat tidak menunjukkan perbedaan nyata pada kedudukan aksial dan interaksinya. Keragaman pada keteguhan tekan sejajar dan keteguhan tekan tegak lurus serat menunjukkan ada perbedaan nyata pada kedudukan radial. Uji lanjut menunjukkan bagian dekat kulit dan tengah berbeda sangat nyata dengan bagian bagian dekat hati. Nilai keteguhan sejajar serat tertinggi terdapat pada bagian tengah, menurun ke bagian dekat kulit, dan terdapat pada bagian dekat hati. Sebaliknya, uji lanjut Tukey keteguhan tekan tegak lurus serat menunjukkan bagian tengah tidak berbeda nyata dengan bagian dekat kulit dan dekat hati, tetapi bagian kulit dan bagian



Gambar 5 Rerata keteguhan lengkung statik pada batas proporsi, MoE, dan MoR Kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan kedudukan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

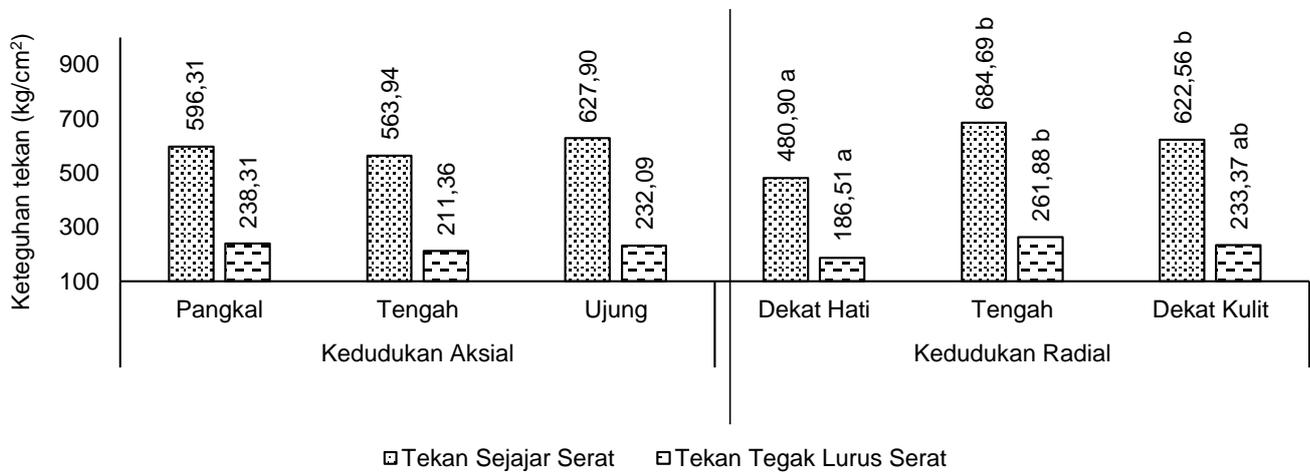
dekat hati berbeda nyata. Dari kedua uji tersebut, kedudukan dekat hati menunjukkan nilai terendah, diduga karena keberadaan kayu juvenil yang tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian, kelas kuat kayu *A. aulacocarpa* dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai berat jenis dan sifat mekanikanya (MoE, MoR, dan tekan sejajar serat). Pengklasifikasian ini mengacu pada Pengumuman No. 13, Departemen Kehutanan tahun 1990 (terjemahan) (Seng 1990) dan disajikan dalam Tabel 5. Kekuatan kayu penting diketahui, salah satunya untuk menetapkan kelas kuat kayu. Kayu *A. aulacocarpa* pada penelitian ini berpotensi dimanfaatkan sebagai kayu mebel karena telah memenuhi SNI 01-0608-1989, yaitu keteguhan lengkung mutlak di atas 500 kg/cm<sup>2</sup>, keteguhan tekan sejajar serat di atas 300 kg/cm<sup>2</sup>, dan berada pada kelas kuat minimum III. Kayu ini juga berpotensi menjadi bahan baku struktural karena telah memenuhi SNI 03-3527-1994, yaitu nilai keteguhan lentur minimum 224,90 kg/cm<sup>2</sup> dan keteguhan tekan 218,15 kg/cm<sup>2</sup>. Kayu yang tergolong

ke dalam kelas II dapat digunakan untuk kayu bangunan dan konstruksi berat (Marsoem *et al.* 2015). Penggunaan kayu sebagai bahan konstruksi antara lain dapat diaplikasikan pada struktur balok, struktur kolom, *bracing* struktural, struktur atap kuda-kuda, dan struktur jembatan (Firdausy *et al.* 2020).

**Hubungan Antara Berat Jenis dan Sifat Mekanika**

Hubungan antara berat jenis kering udara dan sifat mekanika kayu *A. aulacocarpa* disajikan pada Tabel 6. Analisis korelasi Pearson menunjukkan korelasi positif yang sedang hingga kuat serta signifikan antara berat jenis kering udara dengan keteguhan lengkung statis (tegangan pada batas proporsi, MoE, dan MoR), keteguhan tekan sejajar serat dan tegak lurus serat. Nilai korelasi positif sedang hingga kuat dan nyata antara berat jenis kering udara dan semua sifat mekanika tersebut menandakan bahwa semakin tinggi nilai berat jenis kering udara, semakin tinggi nilai keteguhan lengkung statis pada batas proporsi, MoE,



Gambar 6 Rerata keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat kayu *A. aulacocarpa* pada kedudukan aksial dan kedudukan radial; huruf yang sama di belakang angka menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Tabel 5 Klasifikasi kekuatan kayu *A. aulacocarpa*

Sifat kayu	Satuan	Rata-Rata
Berat jenis kering udara	-	0,61
MoE	kg/cm <sup>2</sup>	116,16x10 <sup>3</sup>
MoR	kg/cm <sup>2</sup>	1043,68
Keteguhan tekan sejajar serat	kg/cm <sup>2</sup>	596,05
Kelas kuat		II

Keterangan: MoE = Modulus elastisitas dan MoR = Modulus patah.

Tabel 6 Koefisien korelasi pearson (r) untuk berat jenis kering udara dan sifat mekanika kayu *A. aulacocarpa*

Sifat mekanika	Bobot jenis kering udara
<b>Keteguhan Lengkung Statis</b>	
- Batas proporsi	0,644**
- MoE	0,479*
- MoR	0,700**
<b>Keteguhan Tekan</b>	
- Sejajar serat	0,621**
- Tegak lurus serat	0,473*

Keterangan: \*\* = Berbeda nyata pada taraf nyata 1%, \* = Berbeda nyata pada taraf nyata 5%, dan n =27.

MoR, keteguhan tekan sejajar serat, dan kekerasan dari kayu jabon putih ini. Secara keseluruhan, hasil pengamatan ini sesuai dengan pernyataan Desh & Dinwoodie (1982), yaitu pada umumnya kayu dengan berat jenis tinggi akan mempunyai keteguhan tinggi, demikian juga sebaliknya. Hubungan antara berat jenis kering udara dengan sifat mekanika pada penelitian ini sejalan dengan laporan Makino *et al.* (2012) pada jenis *A. mangium*, yaitu kerapatan dasar berkorelasi positif dan nyata dengan keteguhan tekan sejajar serat. Pada jenis cepat tumbuh lain, yakni jabon merah, ditemukan bahwa kerapatan kering udara berkorelasi positif dan nyata dengan keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat (Hidayati *et al.* 2019). Istikowati *et al.* (2014) pun melaporkan bahwa pada tiga jenis pohon cepat tumbuh asli Kalimantan Selatan ditemukan korelasi positif yang nyata antara kerapatan kering udara dan keteguhan tekan sejajar serat. Pada jati juga ditemukan hubungan yang positif dan nyata antara kerapatan dan keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR), keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tegak lurus serat (Hidayati *et al.* 2015). Hasil penelitian ini menegaskan bahwa sifat mekanika (keteguhan lengkung statis, keteguhan tekan sejajar serat, dan keteguhan tekan tegak lurus serat) kayu *A. aulacocarpa* dapat diprediksi menggunakan berat jenis kering udaranya.

## KESIMPULAN

Penelitian pohon *A. aulacocarpa* berumur 27 tahun yang ditanam di KHDTK Wanagama dimaksudkan untuk mengkaji sifat fisika dan sifat mekanika kayunya pada kedudukan aksial dan radial, serta hubungan antara berat jenis dan sifat mekanisnya. Hasilnya menunjukkan bahwa kedudukan aksial dalam pohon tidak berpengaruh nyata pada sifat fisika dan sifat mekanika. Selanjutnya, kedudukan radial dalam pohon berpengaruh nyata pada sifat fisika (kadar air segar, berat jenis segar, berat jenis kering udara, penyusutan total arah radial, dan rasio T/R) dan sifat mekanika (keteguhan lengkung statik pada batas proporsi, MoE, MoR, keteguhan tekan sejajar serat, dan keteguhan tekan tegak lurus serat). Secara umum, sifat fisika dan mekanika bagian dekat hati menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan bagian tengah dan bagian dekat kulit, yang menandakan bagian dekat hati merupakan kayu juvenil. Faktor interaksi kedudukan aksial dan kedudukan radial dalam pohon tidak berpengaruh nyata pada sifat fisika dan sifat mekanikanya. Selanjutnya, berat jenis kering udara memiliki hubungan yang sedang sampai kuat dan nyata dengan sifat mekanika yang diuji. Dengan demikian, sifat mekanika kayu *A. aulacocarpa* dapat diprediksi menggunakan berat jenis kering udaranya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KHDTK Wanagama yang telah mengizinkan pengambilan sampel pohon pada penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada dengan skema Penelitian Berbasis Laboratorium Tahun 2021 (Nomor: 132/KS/2021).

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsad E. 2011. Sifat fisis dan kekuatan mekanisa kayu akasia mangium (*Acacia mangium* Willd.) dari hutan tanaman industri Kalimantan Selatan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* 3(1): 20–23. <https://doi.org/10.24111/jriih.v3i1.1184>
- Bangrak C, Wichian P, Boonsong S, Wongsikaew C. 2011. Mechanical and Physical Properties of *Acacia aulacocarpa*. Departemen Kehutanan Bangkok, Bangkok.
- Basri E, Yuniarti K, Wahyudi I, Pari R. 2020. Teknologi Pengeringan Kayu. Bogor: IPB Press.
- [BSI] British Standard Institution 1957. British Standard 373: Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. London: British Standard House.
- Chowdhury MQ, Ishiguri F, Hiraiwa T, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N. 2012. Radial variation of bending property in plantation grown *Acacia auriculiformis* in Bangladesh. *Forest Science and Technology* 8: 135–138. <https://doi.org/10.1080/21580103.2012.704961>
- Chowdhury MQ, Shams MI, Alam M. 2005. Effects of age and height variation on physical properties of mangium (*Acacia mangium* Willd.) wood. *Australian Forestry* 68: 17–19. <https://doi.org/10.1080/00049158.2005.10676221>
- Desch HE, Dinwoodie JM. 1996. Timber-Structure, Properties, Conversion and Use (7<sup>th</sup> ed.). London (GB): Macmillan Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-13427-4>
- Doan DV, Thai NV, Manh KV. 2021. Effect of age on variation in physical and mechanical properties of *Acacia mangium* planted in Thai Nguyen. *TNU Journal of Science and Technology*: 50–56. <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.3689>
- Evans JW, Senft JF, Green DW. 2000. Juvenile wood effect in red alder: Analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Solid Wood Products* 50: 75–87.
- Firdausy A I, Waluyohadi I, Arifi E. 2020. Desain Struktur Kayu dengan Metode LRFD. Malang (ID): UB Press.

- Hai PH, Jansson G, Hannrup B, Harwood C, Thinh HH. 2006. Use of wood shrinkage characteristics in breeding of fast-growing *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth in Vietnam. *Annals of Forest Science*. 611. <https://doi.org/10.1051/forest/2009048>
- Hidayati, F., Sulistyoy, J., Lukmandaru, G., Listyanto, T, Praptoyo, H., and Pujiarti, R. (2015). Physical and mechanical properties of 10-year-old superior and conventional teak planted in Randublatung, Central Java Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 13(1): 11–21. <https://doi.org/10.22146/jik.40162>
- Hidayati F, Purnama RA, Praptoyo H, Sunarti S. 2018. Pengaruh kecepatan pertumbuhan sifat fisis dan mekanisa kayu *Acacia mangium* umur 4 tahun asal Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 10: 98–107. <https://doi.org/10.20527/jht.v8i3.9739>
- Hidayati F, Sunarti S, Setiaji T, Nirsatmanto A. 2019. Sifat fisis dan mekanisa kayu jabon merah (*Anthocephalus macrophyllus*) yang ditanam di Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Hutan Tropis*. 8: 357–369
- Hounlonon MC, Kouchade CA, Kounouhewa BB. 2021. Physical and mechanical properties of *Acacia auriculiformis* A. Cunningham Ex. Benth used as timber in Benin. *Journal of Materials Science and Surface Engineering*. 8: 992–1000. <https://doi.org/10.52687/2348-8956/815>
- Istikowati W, Ishiguri F, Aiso H, Hidayati F, Tanabe J, Iizuka K, Sutiya B, Wahyudi I, Yokota S. 2014. Physical and mechanical properties of wood from three native fast-growing species in a secondary forest in South Kalimantan, Indonesia. *Forest Product Journal* 64: 48–54. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-13-00069>
- Kim NT, Ochiishi M, Matsumura J, Oda K. 2008. Variation in wood properties of six natural acacia hybrid clones in northern Vietnam. *Journal of Wood Science* 54: 436–442. <https://doi.org/10.1007/s10086-008-0976-2>
- Kollmann FFP, WA Côté Jr. 1968. Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood. New York (US): Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87928-9>
- Machado JS, Louzada JL, Santos AJA, Nunes L, Anjos O, Rodrigues J, Simoes RMS, Pereira H. 2014. Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). *Materials and Design*. 56: 975–980. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.016>
- Makino K, Ishiguri F, Wahyudi I, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N. 2012. Wood properties of young *Acacia mangium* trees planted in Indonesia. *Forest Product Journal*. 62(2): 102–106. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-62.2.102>
- Marsoem SN, Prasetyo VE, Sulistyoy J, Sudaryono, Lukmandaru G. 2015. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul IV. Sifat Mekanisa Kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 9: 117–127. <https://doi.org/10.22146/jik.10197>
- Moya F, Munoz R. 2008. Moisture content variability in kiln-dried *Gmelina arborea* wood: effect of radial position and anatomical features. *Journal of Wood Science*. 54: 318–322. <https://doi.org/10.1007/s10086-008-0954-8>
- Nugroho WD, Marsoem SN, Yasue K, Fujiwara T, Nakajima T, Hayakawa M, Funada R. 2012. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. *Journal of Wood Science* 58: 185–194. <https://doi.org/10.1007/s10086-011-1236-4>
- Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. Textbook of Wood Technology. Ed. Ke-4. New York (US): McGraw-Hill.
- Pasaribu G. 2007. Sifat fisis dan mekanis empat jenis kayu andalan asal Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 25: 15–27. <https://doi.org/10.20886/jphh.2007.25.1.15-27>
- Purwanto D. 2012. Pemanfaatan kayu akasia mangium (*Acacia mangium* Willd) untuk mebel. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 4: 1–8. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v4i1.1195>
- Prawirohatmodjo S. 2012. Sifat-Sifat fisika Kayu. Yogyakarta. Cakrawala Media.
- Putro GS dan Marsoem SN. 2004. Variasi sifat dasar pada kedudukan aksial dan radial serta potensi pemanfaatan kayu melinjo. *Buletin Agro*. 16: 52–61
- Seng OD. 1990. Berat Jenis dari Jenis-jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek. Penerjemah: Suwarsono PH. Bpgor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Departemen Kehutanan Indonesia.
- Shmulsky R, Jones PD. 2019. Forest Products and Wood Science: An Introduction. Ed. Ke-7. London (GB): Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119426400>
- Siarudin M, Marsoem SN. 2007. Karakteristik dan variasi sifat fisis kayu *Acacia mangium* Willd. pada beberapa jarak tanam dan kedudukan aksial-radial. *Jurnal Pemuliaan Tanaman*. 1(1): 1–13. <https://doi.org/10.20886/jpth.2007.1.1.1-13>
- Skaar C. 1988. Wood-Water Relations. Berlin (GB): Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-73683-4>
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1989. SNI 01-0608-89: Syarat Fisik dan Mekanis Kayu Untuk Mebel. Dewan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1994. SNI 03-3527-94: Kayu untuk Bangunan Struktural. Jakarta: Dewan Standardisasi Nasional. 267–274. <https://doi.org/10.20886/jphh.2006.24.4.267-274>
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2017. SNI 0608-2017: Kayu untuk Furnitur (Persyaratan Karakteristik). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia
- Spear M, Walker J. 2006. Dimensional Instability in Timber-Principles and Practice. *Dalam Primary Wood Processing* (hlm. 95–120). Netherlands (NL): Springer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4393-7\\_4](https://doi.org/10.1007/1-4020-4393-7_4)
- Suprapti S, Krisdianto. 2006. Ketahanan empat jenis kayu hutan tanaman terhadap beberapa jamur perusak kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 24(4): 267–274.
- Turnbull J, Crompton H, Pinyopusarerk K. 1998. Recent developments in acacia planting. Hanoi: ACIAR Proceedings.
- Wheeler EA, Baas P, Gasson PE. 2008. Ciri Mikroskopik Untuk Identifikasi Kayu Daun Lebar. Alih bahasa Sulistyobudi, A., Mandang, Y.I, Damayanti, R. dan Rulliaty, S. dari judul asli IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Zobel BJ, Sprauge JR. 1998. Juvenile Wood in Forest Trees. Berlin (GB): Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72126-7>