

Jurnal Ilmu Kehutanan

Journal of Forest Science
<https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt>



Pengaruh Kecepatan Pertumbuhan terhadap Sifat Fisika dan Mekanika Kayu *Acacia mangium* Umur 4 Tahun Asal Wonogiri, Jawa Tengah *Effect of Growth Rate on Physical and Mechanical Properties of 4-year-old Acacia mangium Wood from Wonogiri, Central Java*

Fanny Hidayati^{1*}, Ramadhani Ayu Purnama¹, Harry Praptoyo¹, & Sri Sunarti²

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

²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan, Jl. Palagan Tentara Pelajar KM 15, Sleman 55582

*Email: fanny_hidayati@ugm.ac.id

CATATAN PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (*received*): 14 Oktober 2017

Diterima (*accepted*): 29 Maret 2018

KEYWORDS

Acacia mangium
growth rate
young age
physical properties
mechanical properties

KATAKUNCI

Acacia mangium
kecepatan tumbuh
umur muda
sifat fisika
sifat mekanika

ABSTRACT

Increasing solid wood demand provides an opportunity to fast-growing wood species such as Acacia mangium as semi construction and construction materials. In general, the quality of wood is affected by growth characteristics such as radial growth rate. The study about effect of growth rate on the properties of mangium wood is limited in Indonesia. Therefore, this study aimed to determine the physical and mechanical properties of mangium wood at different growth rates. Furthermore, relationship between basic density and other properties was clarified. The nine mangium trees of 4-year-old used in this study were planted in Wonogiri Regency, Central Java. Basic density, shrinkage, T / R ratio, static bending strength (MOE and MOR), compressive strength parallel and perpendicular to grain were determined. The results were analyzed with one-way ANOVA. As a result, the physical and mechanical properties of the woods showed no significant difference in three different categories of growth rates, except for radial shrinkage. Furthermore, the basic density is positively significant correlated with radial and tangential shrinkage and also compressive strength parallel and perpendicular to grain. Based on these results, it is suggesting that basic density is a good indicator for predicting physical and mechanical properties of mangium wood.

INTISARI

Kebutuhan masyarakat akan kayu solid yang semakin meningkat, memberikan peluang bagi jenis pohon cepat tumbuh seperti *Acacia mangium* untuk digunakan sebagai bahan semi konstruksi maupun konstruksi. Secara umum, kualitas kayu dipengaruhi oleh sifat

pertumbuhan terutama kecepatan pertumbuhan. Pengaruh kecepatan pertumbuhan terhadap sifat-sifat kayu mangium belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisika dan mekanika kayu mangium pada kecepatan tumbuh yang berbeda serta hubungan antara kerapatan dasar dengan sifat-sifat lain yang diuji. Sembilan pohon mangium umur 4 tahun yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Adapun sifat-sifat kayu yang diuji adalah kerapatan dasar, perubahan dimensi, rasio T/R, keteguhan lengkung statis (MOE dan MOR), keteguhan tekan sejajar dan tegak lurus serat. Selanjutnya data yang diperoleh diuji dengan one-way ANOVA. Sebagai hasilnya, sifat fisika dan mekanika kayu yang diuji menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada tiga kategori kecepatan tumbuh yang berbeda, kecuali pada penyusutan radialnya. Selanjutnya, kerapatan dasar berkorelasi positif secara signifikan terhadap penyusutan radial dan tangensial serta kekuatan tekan sejajar dan tegak lurus serat. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan dasar merupakan indikator yang bagus untuk memprediksi sifat fisika dan mekanika kayu mangium.

© Jurnal Ilmu Kehutanan-All rights reserved

Pendahuluan

Kebutuhan dunia akan kayu terus meningkat seiring dengan berkembangnya kehidupan modern. Mulai dari keperluan bahan bangunan, perabotan rumah tangga, serat, kertas, dan untuk bahan bakar. Seiring dengan peningkatan kebutuhan akan kayu besar potensi terjadinya kelangkaan kayu sebagai bahan baku. Tercatat bahwa kekurangan bahan baku kayu berkualitas mencapai 70% untuk jati dan hampir 90% untuk jenis lainnya (Lempang 2014). Kebutuhan kayu nasional sendiri mencapai lebih dari 60 juta m³/tahun. Di lain pihak, pohon dari hutan alam semakin berkurang jumlahnya dikarenakan penebangan yang berlebihan dan aktivitas *illegal logging*. Sementara itu, biasanya pemenuhan kebutuhan kayu solid adalah dari pohon-pohon berotasi panjang seperti meranti dan jati. Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan pohon dari jenis yang cepat tumbuh dengan kualitas yang bagus.

Beberapa jenis pohon cepat tumbuh yang telah dikembangkan di Indonesia adalah akasia, ekaliptus, sengon, dan gmelina. Dari beberapa jenis ini, mangium (*Acacia mangium*) merupakan jenis yang paling

mudah beradaptasi pada daerah marginal dibandingkan dengan 46 jenis lain yang diuji oleh pemerintah (Arisman 2002). Selain mudah beradaptasi terhadap berbagai jenis tanah dengan pH yang bervariasi serta tumbuh dengan cepat, tanaman ini cenderung menghasilkan kayu dengan kualitas yang bagus (Fujimoto et al. 2002; Kim et al. 2009). Oleh karena itu, hutan tanaman jenis ini secara luas dibangun di beberapa negara tropis dan subtropis seperti Malaysia, Vietnam, Bangladesh, dan Indonesia (Fujimoto et al. 2002; Kim et al. 2009). Di Indonesia sendiri, mangium adalah jenis yang sangat populer yang dikembangkan di hutan tanaman industri sebagai bahan baku pulp dan kertas terutama di wilayah Sumatra.

Secara umum kualitas kayu dipengaruhi oleh sifat-sifat pertumbuhannya, terutama kecepatan pertumbuhan pada arah radial. Khususnya di daerah tropis, banyak pengelola hutan tanaman memberikan perhatian pada hubungan antara kecepatan pertumbuhan dan kualitas kayu, dan mereka mengkhawatirkan apabila kecepatan pertumbuhan yang tinggi mengakibatkan penurunan pada kualitas kayunya (Ishiguri et al. 2011).

Sifat-sifat kayu mangium baik kerapatan dan kekuatannya telah diteliti oleh beberapa peneliti di dunia (Fujimoto et al. 2002; Honjo et al. 2005, Kim et al. 2009; Kojima et al. 2009; dan Matsumoto et al. 2010). Kojima et al. (2009) melaporkan tentang pengaruh kecepatan pertumbuhan pada arah lateral terhadap kerapatan dasar kering udara, panjang serat, dan sudut mikrofibril pada mangium yang tumbuh di Sabah, Malaysia. Adapun penelitian tentang sifat fisika dan mekanika kayu mangium pada kecepatan pertumbuhan yang berbeda masih terbatas di Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan pertumbuhan terhadap sifat fisika dan mekanika kayu mangium umur 4 tahun. Pada penelitian ini diukur diameter pohon serta tinggi pohon sampel. Selanjutnya diuji sifat fisika dan mekanika serta hubungan antara kerapatan dasar dan sifat-sifat lain yang diuji.

Bahan dan Metode

Pada penelitian ini digunakan pohon mangium umur 4 tahun sebanyak 9 pohon. Lokasi penelitian ini berada di KHDTK Hutan Penelitian Wonogiri, Jawa Tengah ($07^{\circ}32' S - 110^{\circ}41' E$). Adapun informasi kondisi lingkungannya adalah sebagai berikut: suhu rata-rata $27,22^{\circ}C$; curah hujan 1.878 mm/tahun ; elevasi 141 m dpl ; tipe iklim C (Schmidt dan Fergusson); dan jenis tanah vertisol.

Pohon mangium dibagi menjadi 3 kategori kecepatan tumbuh yakni lambat (S), sedang (M), dan cepat (L) dengan 3 ulangan pohon tiap kategorinya. Kategori ini diperoleh dengan cara mengukur diameter pohon dalam 1 petak, kemudian dicari rata-rata serta standar deviasinya. Adapun pohon dikategorikan memiliki kecepatan pertumbuhan yang lambat apabila nilainya kurang dari rata-rata dikurangi standar deviasi, pohon dikategorikan memiliki kecepatan pertumbuhan yang sedang apabila berada di kisaran plus minus rata-rata dengan standar deviasi, dan pohon dikatakan masuk kategori cepat apabila nilainya

lebih dari rata-rata ditambah standar deviasi. Diameter pohon ini diukur pada ketinggian $1,3 \text{ m}$ di atas tanah.

Setelah pohon ditebang, kemudian diambil bagian pangkal sepanjang 1 m . Dari bagian pangkal dibuat *disk* kayu dengan ketebalan 8 cm untuk pengujian sifat fisika kayu yakni kerapatan dasar, perubahan dimensi total (basah ke kering udara) dan rasio T/R. Selanjutnya sisa log tersebut digunakan untuk pengujian sifat mekanika kayu. Adapun sifat mekanika kayu yang diuji adalah keteguhan lengkung statis (MOE dan MOR), keteguhan tekan sejajar serat maksimum, dan keteguhan tekan tegak lurus serat maksimum.

Pada penelitian ini sampel diambil pada arah radial. Pengambilan sampel pada arah radial dilakukan dengan cara membagi permukaan kayu (bidang transversal) setiap 2 cm dari hati ke kulit pada masing-masing bagian batang baik untuk sifat fisika maupun mekanika kayu. Selanjutnya nilai yang diperoleh dirata-rata. Pada sampel mekanika kayu, sampel dikondisikan kering udara. Pengujian sifat mekanika kayu dengan menggunakan *Universal Testing Machine* merk Instron 3360.

Standar yang digunakan dalam pengujian sifat fisika maupun mekanika ini adalah *British Standard* No. 373 Tahun 1957. Selanjutnya data dianalisis menggunakan *one-way Anova* untuk membandingkan sifat-sifat kayu pada ketiga kategori tersebut. Analisis tersebut dilakukan dengan *software Excel*.

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan diameter dan tinggi pohon dari 9 pohon yang digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengukuran, rata-rata diameternya adalah $12,61 \text{ cm}$ dan standar deviasinya adalah $2,90 \text{ cm}$. Dengan demikian, maka pohon dikategorikan memiliki kecepatan pertumbuhan yang lambat apabila diameternya kurang dari $9,71 \text{ cm}$, pohon dikategorikan memiliki kecepatan pertumbuhan yang sedang apabila diameternya berada di kisaran $9,71-15,5 \text{ cm}$, dan pohon

Tabel 1. Diameter batang dan tinggi pohon dari 9 pohon sampel
Table 1. Stem diameter and tree height of 9 sample trees

Kecepatan pertumbuhan	Nomor pohon	Diameter batang (cm)	Tinggi pohon (m)
Lambat (S)	1	9,6	11,5
	2	9,6	12,5
	3	9,3	13,0
Sedang (M)	1	14,3	12,0
	2	13,2	14,4
	3	13,8	14,0
Cepat (L)	1	17,5	12,3
	2	17,0	11,0
	3	16,8	14,4

Tabel 2. Sifat fisika kayu dari 9 pohon sampel
Table 2. Wood physical properties of 9 sample trees

Karakteristik	S		M		L		Perbedaan antar kategori (Nilai P)
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Kerapatan dasar (g/cm ³)	0,40	0,07	0,35	0,03	0,37	0,01	0,51 ns
Penyusutan radial (%)	3,40	0,82	2,23	0,22	2,18	0,17	0,04*
Penyusutan tangensial (%)	6,54	1,73	5,65	0,38	6,07	0,03	0,59ns
Penyusutan longitudinal (%)	0,22	0,14	0,31	0,18	0,29	0,06	0,69ns
Rasio T/R	2,47	0,56	2,56	0,86	3,00	0,40	0,59ns

Keterangan = S: lambat M: sedang L: cepat SD: standar deviasi * = berbeda nyata ns = tidak berbeda nyata
 Remark = S: slow M : medium L: fast SD: standard deviation * highly significant ns = non significant

dikatakan masuk kategori cepat apabila nilainya lebih dari 15,5 cm.

Nilai rata-rata hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisika kayu mangium ditunjukkan pada Tabel 2. Shanavas dan Kumar (2006) melaporkan bahwa kerapatan dasar, penyusutan radial total, penyusutan tangensial total pada kayu mangium (10-15 tahun) yang tumbuh di Kerala, India adalah 0,50 g/cm³, 3,89%, dan 7,62%, secara berurutan. Pada pohon mangium umur 23 tahun yang ditanam di Yogyakarta, kerapatan dasarnya berkisar antara 0,56-0,60 g/cm³ (Nugroho et al. 2011). Kerapatan dasar kayu mangium umur 10 tahun yang tumbuh di Malaysia adalah 0,56 dan 0,61 g/cm³ untuk kayu gubal dan kayu teras, secara berurutan (Muhammad et al. 2017). Berat jenis kayu mangium dari Sulawesi adalah 0,58 dengan diameter sekitar 30 cm pada posisi setinggi dada (Yunianti et al. 2015). Kayu mangium yang berumur 7 tahun dari Kalimantan Selatan memiliki berat jenis 0,61 pada ketinggian 150 cm di atas tanah (Arsad 2011). Makino et al. (2012) melaporkan bahwa kerapatan dasar kayu mangium

umur 5 tahun yang ditanam di Jawa Barat adalah 0,56 g/cm³. Pada penelitian ini, kerapatan dasar kayu mangium lebih rendah dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu (Shanavas & Kumar 2006; Nugroho et al. 2011; Muhammad et al. 2017; Yunianti et al. 2015; Arsad 2011; Makino et al. 2012). Demikian juga untuk perubahan dimensi radial dan tangensialnya (Shanavas & Kumar 2006). Hal ini dimungkinkan karena umur yang lebih muda serta diameter yang lebih kecil dari pohon yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengukuran terhadap dimensi longitudinal menunjukkan bahwa nilainya masuk dalam kisaran penyusutan longitudinal kayu secara umum yakni 0,1- 0,3 % (Panshin & de Zeeuw 1980). Nilai rasio T/R pada penelitian ini yakni antara 2,47 - 3,00 (Tabel 2), dimana nilai ini lebih besar dari pada kayu pada umumnya yakni 1,4 - 2,0 (Panshin & de Zeeuw 1980). Berdasarkan hasil ini menunjukkan bahwa kayu mangium umur muda ini memiliki dimensi yang kurang stabil.

Kerapatan dasar (*basic density*), penyusutan tangensial (*tangential shrinkage*), penyusutan longitudinal (*longitudinal shrinkage*), dan T/R rasio tidak berbeda nyata pada tiga kategori kecepatan pertumbuhan yang berbeda (Tabel 2). Di lain pihak, penyusutan radial (*radial shrinkage*) berbeda nyata pada kecepatan pertumbuhan yang berbeda (Tabel 2). Nilai penyusutan radial yang signifikan ini menjadi kurang penting karena rasio T/R tidak signifikan pada tiga kategori tersebut. Seperti diketahui bahwa rasio T/R menunjukkan kestabilan suatu kayu. Sehingga, meskipun nilai penyusutan radial berbeda nyata namun kestabilan dimensinya relatif sama pada tiga kategori kecepatan pertumbuhan tersebut.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sifat-sifat mekanikanya. Pada penelitian ini diuji keteguhan lengkung statis yakni *modulus of elasticity* (MOE) dan *modulus of rupture* (MOR). Selain itu juga diuji keteguhan tekan sejajar dan tegak lurus seratnya. Shanavas dan Kumar (2006) melaporkan bahwa keteguhan lengkung statis MOE dan MOR pada kayu mangium umur 10-15 tahun yang ditanam di India adalah 570,60 kg/cm² dan 80,23 kg/cm², secara berurutan. Selanjutnya, mereka juga melaporkan bahwa kekuatan tekan sejajar serat dan tegak lurus serat maksimum adalah 323,20 kg/cm² dan 363,10 kg/cm², secara berurutan. Keteguhan lengkung statis (MOR), kekuatan tekan sejajar, dan tegak lurus serat pada kayu mangium umur 8 tahun pada ketinggian 150

cm di atas tanah yang tumbuh di Kalimantan Selatan adalah 680,50; 361,70 dan 197 kg/cm² (Arsad 2011). Pada penelitian ini, pengujian terhadap sifat-sifat mekanika kayu menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Shanavas & Kumar 2006; Arsad 2011). Perbedaan ini dimungkinkan karena pengaruh perbedaan umur, diameter, lokasi tempat tumbuh, serta posisi sampel pada batang pohon.

Hasil analisis dengan ANOVA menunjukkan bahwa semua sifat mekanika yang diuji menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada ketiga kategori kecepatan pertumbuhan (Tabel 3). Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum kecepatan pertumbuhan tidak mempengaruhi sifat-sifat mekanika kayu mangium pada umur muda.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara kerapatan dasar dengan penyusutan. Kerapatan dasar berkorelasi positif secara signifikan terhadap penyusutan radial dan tangensial. Istikowati et al. (2014) melaporkan bahwa kerapatan dasar berkorelasi secara signifikan terhadap penyusutan radial dan tangensial tiap perubahan 1% kadar air. Pada penelitian ini, hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian terdahulu tersebut pada 3 jenis kayu daun cepat tumbuh yang tumbuh di Kalimantan Selatan (Istikowati et al. 2014). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kerapatan dasar maka penyusutan radial dan tangensial juga semakin tinggi. Hal ini

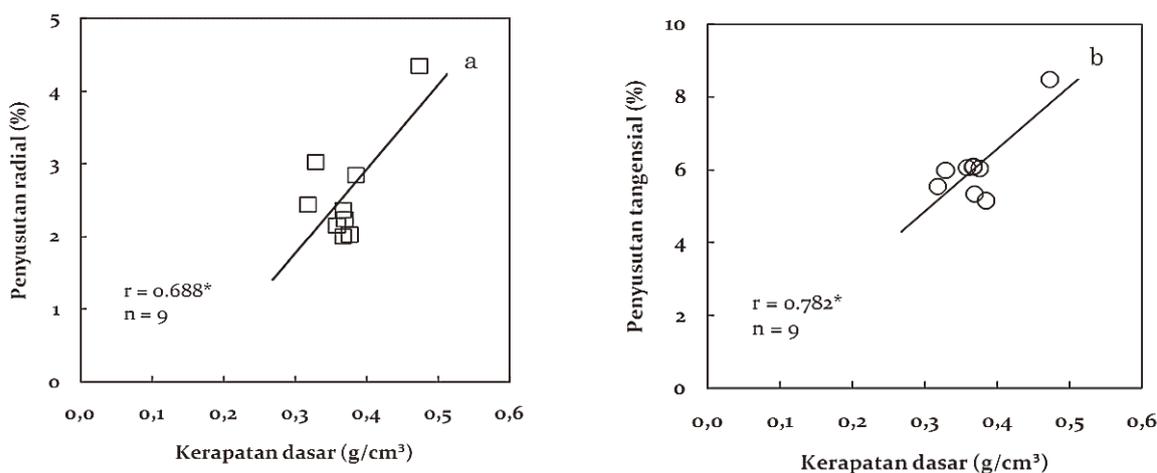
Tabel 3. Sifat fisika kayu dari 9 pohon sampel

Table 3. Wood mechanical properties of 9 sample trees

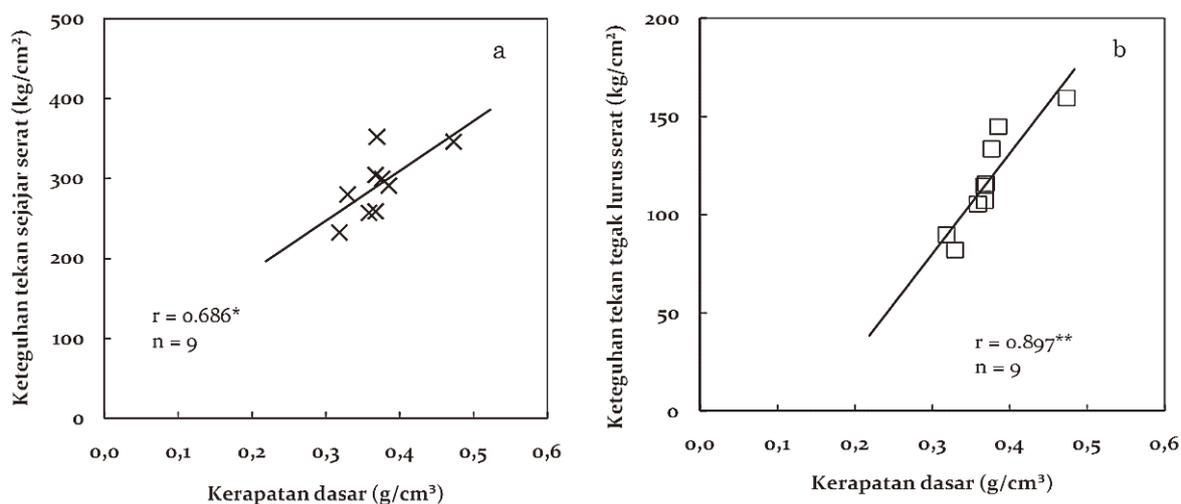
Karakteristik	Kecepatan pertumbuhan						Perbedaan antar kategori (Nilai P)
	S		M		L		
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	
Keteguhan lengkung statis							
MOE (1000 x kg/cm ²)	63,98	112,52	64,18	6,384	62,44	54,58	0,96ns
MOR (kg/cm ²)	426,9	98,6	431,0	87,9	478,6	71,1	0,73ns
Keteguhan tekan							
Sejajar serat (kg/cm ²)	305,8	35,3	296,5	60,1	272,2	24,1	0,63ns
Tegak lurus serat (kg/cm ²)	128,8	41,0	106,9	14,7	115,5	15,7	0,62ns

Keterangan = S: lambat M: sedang L: cepat SD: standar deviasi MOE: *modulus of elasticity* MOR: *modulus of rupture* ns = tidak berbeda nyata

Remark = S: slow M: medium L: fast SD: standard deviation MOE: *modulus of elasticity* MOR: *modulus of rupture* ns = non significant



Gambar 1. Hubungan antara kerapatan - penyusutan radial (a) dan kerapatan - penyusutan tangensial (b) dari 9 sampel pohon
Figure 1. Relationship between basic density - radial shrinkage (a) and basic density tangential shrinkage (a) of 9 sample trees



Gambar 2. Hubungan antara kerapatan dasar - keteguhan tekan sejajar serat (a) dan kerapatan dasar - keteguhan tekan tegak lurus serat (b) dari 9 pohon sampel
Figure 2. Relationship between basic density - compression strength parallel to grain (a) dan basic density - compression strength perpendicular to grain (b) of 9 sample trees

berarti bahwa kerapatan dasar merupakan indikator yang bagus untuk memprediksi besarnya penyusutan radial dan tangensial pada kayu yang diuji (Istikowati et al. 2014).

Hubungan antara kerapatan dasar dan sifat mekanika kayu ditunjukkan pada Gambar 2. Kerapatan dasar berkorelasi positif secara signifikan terhadap kekuatan tekan sejajar dan tegak lurus serat. Hal serupa juga ditemukan pada tiga jenis kayu cepat tumbuh dari Kalimantan Selatan (Istikowati et al. 2014).

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kerapatan dasar merupakan indikator yang bagus untuk memprediksi sifat mekanika kayu mangium.

Kesimpulan

Sifat fisika dan mekanika kayu mangium tidak berbeda nyata pada tiga kategori kecepatan pertumbuhan, kecuali pada penyusutan radial. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan semakin cepat pertumbuhan pohon mangium belum tentu menghasilkan

sifat-sifat kayu yang tidak baik. Selanjutnya, kerapatan dasar berkorelasi positif secara signifikan terhadap penyusutan radial dan tangensial serta keteguhan tekan sejajar dan tegak lurus serat. Hasil ini menunjukkan bahwa kerapatan dasar merupakan indikator yang bagus untuk memprediksi sifat-sifat kayu tersebut pada pohon mangium.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas Hibah PUPT yang diberikan (Surat Penugasan Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 2427/UN1-P.III/DIT-LIT/LT/2017 Tanggal 19 April 2017 yang direvisi dengan Surat Penugasan Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 7381/UN1-P.III/DIT-LIT/LT/2017 Tanggal 24 Oktober 2017) sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan terselesaikan dengan baik. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan atas pohon sampel yang diberikan pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arisman H. 2002. Sustainable acacia plantations: A case of short-rotation plantation at PT. Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia. Hlm. 9-13 dalam Rimbawanto A, Susanto M, editor. *Advances in genetic improvement of tropical tree species*. Indonesian Ministry of Forestry Research and Development Agency and Japan International Cooperation Agency, Yogyakarta, Indonesia.
- Arsad E. 2011. Sifat fisik dan kekuatan mekanik kayu akasia mangium (*Acacia mangium* Wild) dari hutan tanaman industri Kalimantan Selatan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* 3:20-23
- Fujimoto T, Akutsu H, Takizawa T. 2002. Several wood properties of plantation-grown *Acacia* species. *Journal of the Hokkaido Forest Products Research Institute* 16:6-10.
- Honjo K, Furukawa I, Sahri MH. 2005. Radial variation of fiber length increment in *Acacia mangium*. *IAWA Journal* 26:339-352.
- Ishiguri F, Wahyudi I, Takeuchi M, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, & Yoshizawa N. 2011. Wood properties of *Pericopsis mooniana* grown in a plantation in Indonesia. *Journal of Wood Science* 57:241-246.
- Istikowati WT, Ishiguri F, Aiso H, Hidayati F, Tanabe J, Iizuka K, Sutiya B, Wahyudi I, Yokota S. Physical and mechanical properties of woods from three native fast-growing species in a secondary forest in South Kalimantan, Indonesia. *Forest Products Journal* 64: 48-54.
- Kim NT, Matsumura J, Oda K, Cuong NV. 2009. Possibility of improvement in fundamental properties of wood of acacia hybrids by artificial hybridization. *Journal of Wood Science* 55:812.
- Kojima M, et al. 2009. Effect of the lateral growth rate on wood properties in fast-growing hardwood species. *Journal of Wood Science* 55:417-424.
- Lempang M. 2014. Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu jabon merah. Balai Kehutanan Makasar: Makasar.
- 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 Products Journal* 62:102-106.
- Matsumoto K, Ishiguri F, Wahyudi I, Takashima Y, Shimizu K, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N. 2010. Application of Fractometer for wood property evaluation in five Indonesian plantation species. *Bulletin of the Utsunomiya University Forests* 46:1-6.
- Muhammad AJ, Ong SS, Ratnam. 2017. Characterization of mean stem density, fibre length, and lignin from two *Acacia* species and their hybrid. *Journal of Forest Research* 1-7. DOI 10.1007/s11676-017-0465-9
- Nugroho WD, Marsoem SN, Yasue K, Fujiwara T, Nakajima T, Hayakawa M, Nakaba S, Yamagishi Y, Jin HO, Kubo T, Funada R. 2011. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five provenances in Indonesia. *Journal of Wood Science* 58:185-194
- Shanavas A, Kumar BM. 2006. Physical and mechanical properties of three agroforestry tree species from Kerala, India. *Journal of Tropical Agriculture* 44: 23-30
- Yunianti AD, Suhasman S, Sahriyanti S. 2015. Basic properties and nanostructure of wood from four fast growing species from a community forest. *Journal of the Indian Academy of Wood Science* 12: 94-98.