



Jurnal
Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis
(Journal of Tropical Wood Science and Technology)

Diterbitkan oleh:
Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia
(The Indonesian Wood Research Society)

Jurnal

Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis

(*Journal of Tropical Wood Science and Technology*)

- Ketua Dewan Penyunting (*Chief Editor*)** : Prof. Dr. I Nyoman Jaya Wistara (IPB)
- Penyunting Bagian (*Section Editor*)** : Dr. Deded S. Nawawi (IPB)
Dr. Firda A. Syamani (BRIN)
Dr. Muhammad Adly Rahandi Lubis (BRIN)
Dr. Imran Arrad (BRIN)
Dr. Wahyu Hidayat (UNILA)
Vera Junita Sitanggang, M.Si. (IPB)
Dr. Rita Kartika Sari (IPB)
Lukmanul Hakim Zaini, M.Sc. (IPB)
- Penyunting Ahli (*Editorial Board Members*)** : Prof. Dr. Yusuf Sudo Hadi (IPB)
Prof. Dr. Bambang Subiyanto (BRIN)
Prof. Dr. Wasrin Syafii (IPB)
Prof. Dr. Anita Firmanti (Kementerian PUPR)
Prof. Dr. Sri Nugroho Marsoem (UGM)
Prof. Dr. Musrizal Muin (UNHAS)
Prof. Dr. Imam Wahyudi (IPB)
Prof. Dr. Lina Karlinasari (IPB)
Prof. Dr. Ragil Widiyorini (UGM)
Dr. Ratih Damayanti (BRIN)
Prof. Dr. Wahyudi (UNIPA)
Prof. Dr. I Wayan Darmawan (IPB)
Prof. Dr. Rudianto Amirta (UNMUL)
Prof. Dr. Harlinda Kuspardini (UNMUL)
- Sekretariat (*Secretariat*)** : Deden Nurhayadi (BSI Pengelolaan Hutan Berkelanjutan)

Alamat Redaksi

Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
Telp/Fax. +62-251-8621285, email: jkayutropis@gmail.com; <http://www.mapeki.org>

Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis adalah jurnal resmi Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) yang terbit sejak tahun 2003. Jurnal ini mempublikasikan artikel asli baik penelitian dasar maupun terapan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi kayu, bahan berlignoselulosa bukan kayu, hasil hutan lainnya dan industri hasil hutan. Selain itu, jurnal ini juga mempublikasikan artikel ulasan balik (*review*) dengan tema yang ditentukan oleh redaksi. Setiap artikel yang diterbitkan dalam jurnal ini telah ditelaah oleh mitra bestari yang dicantumkan pada nomor paling akhir dari setiap volume. Penerbitan jurnal 2 kali dalam setahun (Januari dan Juli). Harga langganan jurnal (*hardcopy*)

Vol. 20 • No. 1 • Januari 2022

p-ISSN 1693-3834
e-ISSN 9-772656-017008



Jurnal
Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis
(Journal of Tropical Wood Science and Technology)

Diterbitkan oleh:
Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia
(The Indonesian Wood Research Society)

Daftar Isi

Artikel Asli:

Sponge Gourd Potential for the Raw Material of Paper and Dissolving Pulp Nyoman J Wistara, Yuhana Rahayu	1-9
Comparison of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Laminates With and Without Natural Fiber Reinforcement Mochamad Chanan, Galit Gatut Prakosa, Aditya Galih Kurniawan	10-19
Karakteristik Anatomi Kayu Kurang Dikenal Family Annonaceae dari Indonesia <i>(Anatomical Characteristics of The Least-Known Annonaceae Family Wood of Indonesia)</i> Sumayyah F Karimah, Hadisunarso, Andianto, Ratih Damayanti	20-30
Pengaruh Ukuran Partikel Bahan Baku Terhadap Kualitas Pelet Ranting Kaliandra (<i>Calliandra calothyrsus</i>) dari Limbah Pakan Ternak Kambing (<i>Effect of the Raw Materials Particle Size on the Quality of Kaliandra (<i>Calliandra calothyrsus</i>) Twig Pellets from Goat Fodder Waste</i>) Ahmad Harun Hidyatullah, J.P. Gentur Sutapa, Tomy Listyanto	31-39
Analisis Kesehatan Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Jakarta Utara <i>(Analysis of Mangrove Health at Angke Kapuk Nature Tourism Park, North Jakarta)</i> Puteri Raysa Azzahra, Elham Sumarga, Arni Sholihah	40-51

Sponge Gourd Potential for the Raw Material of Paper and Dissolving Pulp

Nyoman J Wistara^{1*}, Yuhana Rahayu²

¹Department of Forest Products, Faculty of Forestry and Environment, IPB University

² Agro Business Division of the Office of Public Assessor Services of the Abdullah Fitriantoro & Partner

*Corresponding Author: nwistara@apps.ipb.ac.id

Abstract

Sponge gourd (*Luffa cylindrica*) provides a sustainable and cheap source of lignocellulosic materials potential for the raw material of paper and dissolving pulp. In the present works, sponge gourd fruits 5 and 8 months old were pre-hydrolyzed in an acidic (pH of 5) and neutral (pH of 7) at 165 °C for 3 hours, and successively soda pulped at a maximum temperature of 170 °C for 4 hours with 20% active alkali. The resulting pulp was bleached by the D₀E₁D₁E₂D₂ method. The bleached pulp was chemically analyzed to evaluate its feasibility for dissolving pulp based on the requirement of SNI 14-03-1989. The pulp feasibility for paper materials were based on the measurement of fiber dimensions, fiber derivative values, and the strength properties of the pulp. It was found that the α -cellulose content of the sponge gourd coir was high compared to the SNI 14-03-1989. However, it did not satisfy the requirement of dissolving pulp due to its high extractives, ash, silica content, and low viscosity. The fiber of sponge gourd coir was classified into quality class II with intermediate pulp strength. Appropriate treatments should be examined to decrease the content of ash, silica, and extractives of the resulting pulp need to be further evaluated.

Keywords: Dissolving pulp, paper, *Luffa cylindrica*, pre-hydrolysis, soda pulping

Introduction

Dissolving pulp is the raw material of cellulose derivative products (Arnoul-Jarriault *et al.* 2015) with an increasing global demand during the last decade (Liu *et al.* 2016, Gehmayer & Sixta 2011). Dissolving pulp can be derived from cotton, wood, and non-wood cellulosic materials (Ma *et al.* 2011).

Sponge gourd is a lignocellulosic material, possibly potential for the raw material of dissolving pulp. It consists of 5-7 species, two of which have been cultivated, i.e., *Luffa cylindrica* and *Luffa acutangula* (Bal *et al.* 2004). It is considered a sustainable and cheap source of cellulose with an increasing economic value (Mazali & Alves 2005). A recent genetic study by Wu *et al.* (2020)

provides information for developing a high-quality sponge gourd, thus ascertaining its sustainability. Its chemical composition is influenced by its growing site and climate conditions, with the average content of cellulose, hemicelluloses, lignin, extractives, and ash of 55-90%, 8-22%, 10-23%, 3.2%, and 0.4%, respectively (Satyanarayana *et al.* 2007), and its average density of 0.82 – 0.92 g cm⁻³ (Tanobe *et al.* 2005). Lignocellulosic material of high cellulose content is a very appropriate raw material for dissolving pulp and paper products.

Dissolving pulp can be prepared by soda, sulfite, and pre-hydrolyzed kraft processes (Barba *et al.* 2002). It should be highly pure, free of hemicelluloses and lignin, with controllable ash content, silicate content, polymerization degree

(Jahan 2009), uniform molecular weight distribution, high brightness, and high cellulose reactivity (Matin *et al.* 2015). An environmentally benign ECF bleaching process can be used to obtain pulp with high purity (Hamzeh *et al.* 2007). Vapor phase hydrolysis (Kauto *et al.* 2007), autohydrolysis (Leschinsky *et al.* 2009), and dilute acid hydrolysis (Al-Dajani *et al.* 2009) preceding pulping process were very useful in decreasing hemicelluloses, lignin, and ash content. The pre-hydrolysis process facilitates pulping and bleaching to produce highly pure pulp (Testova *et al.* 2014). Hydrolysis in an acidic media has decreased pulping yield and brightness but increased the resulting pulp's alkaline solubility (El-Ghany 2009).

Fiber dimension and its derivatives are essential to evaluate the feasibility of lignocellulosic material for pulp and paper products. Fiber derivative value includes the Runkle ratio, felting power, flexibility ratio, Muhlstep ratio, and rigidity coefficient. Fiber derivative values have been successfully applied to evaluate the quality of kenaf fiber as the raw material for paper production (Ververis *et al.* 2004). These authors found that kenaf fiber retained a Runkle ratio and felting power of 0.7 and 105.9, respectively, and assumed that kenaf fibers should result in a paper with good mechanical strength.

Along with kenaf, sponge gourd is a source of lignocellulosic material abundantly available in Indonesia. Therefore, with its high cellulose content (Satyanarayana *et al.* 2007) and its increasing economic value (Mazali & Alves 2005), an evaluation of the sponge gourd's potential as the raw material for dissolving pulp and paper products was done in the present research.

Materials and Methods

Sponge gourd fruits 5 and 8 months old were procured from the District of Garut, West Java Province of Indonesia. The fruits were peeled to obtain their sponge and air-dried for several days. The sponge was then cut into 3-7 mm lengths. The chips were pre-hydrolyzed either in neutral with demineralized water (pH of 7) or in acidic media with H₂SO₄ (pH of 5). It was carried out at the maximum temperature of 165 °C with a liquor-to-wood (chips) ratio (L/W) of 12 to 1.

The pre-hydrolyzed chips were then cooked with a soda process at a maximum cooking temperature of 170 °C, L/W of 12, and active alkali of 20% for 4 hours. The kappa number of the resulting pulp was determined following the TAPPI T 236 cm-85 standard procedures. D₀E₁D₁E₂D₂ bleaching method was used to bleach the pulp, proceeded by pulp washing successively with 1% HCl solution and hot water to neutrality. Table 1 lists the currently applied bleaching conditions.

Table 1 The bleaching conditions of the pulp

Parameter	D ₀	E ₁	D ₁	E ₂	D ₂
ClO ₂ , % as Cl ₂	0.22 x KN	-	-	-	-
ClO ₂ , %	-	-	1	-	0.5
NaOH, %	-	1.5	-	1.5	-
Consistency, %	10	10	10	10	10
Temperature, °C	60	60	70	60	70
Time, min	60	60	180	60	180

Measurements of fiber length, fiber diameter, and cell wall thickness were carried out by OLYMPUS *fiber optic tester* PTCB-E02 microscope. The fiber sample was stained with safranin on a petri dish and was kept for 12 hours before measurement. Measurement was carried out on 100 fibers at 200 magnifications for fiber diameter and 50 magnifications for fiber length.

Chemical component analysis on bleached pulp was carried out by SNI 14-

0938-1989 specification. The content of α -cellulose, solubility in 10% and 18% NaOH, extractives, and ash and silicate were determined based on TAPPI 236 cm-85, TAPPI T 203 om-88, TAPPI T 244 om-88, and TAPPI T 211 om-85, respectively. Hand sheets for testing the pulp's mechanical properties were prepared per TAPPI T 205 sp-95. Tensile strength, tearing strength, bursting strength, pulp brightness, and pulp viscosity were determined based on the standard procedures of TAPPI T 494 om-96, TAPPI T 414 om-98, TAPPI 403 om-97, SNI 14-0936-1989, and SNI 14-4733-1989, respectively.

The resulting data were analyzed using a completely randomized design of 2 factors, i.e., two levels of the acidity of the hydrolysis process (pH 5 and 7) and two levels of the age of sponge gourd fruits (5 and 8 months old), each with duple replication. The analysis was carried out using SAS 9.1 for windows software. Duncan MRT analysis was applied to determine the differences in the examined parameters.

Results and Discussion

The Yield and the Kappa Number of Unbleached Pulp

The yield of pre-hydrolysis, pulping, and bleaching stages and the kappa number of the unbleached pulp can be seen in Table 2. The yield of pre-hydrolysis of the sponge gourd was in the range of 53.75-65.36%. The hydrolysis acidity and the age of sponge gourd fruits did not influence the hydrolysis and pulping process; however, they controlled the yield of the bleaching stage (at $\alpha=95\%$). The pulp bleaching yield of the 8-month-old sponge gourd fruit was higher than that of the 5-month-old sponge gourd fruit. The resulting yield was considered

low, i.e., in the range of 41.13-49.63%. The bleaching yield of PAU5 and PNU5 was statistically the same, but they were lower than these of PAU8 and PNU8. The bleaching yield of the PAU8 was the highest (49.63%).

The kappa number indicates the residual lignin of the pulp. It determines the number of chemicals used in the pulp bleaching stage. The kappa number of sponge gourd pulp was 9.1-11.1. The hydrolysis acidity and the age of the sponge gourd fruits did not influence the kappa number of pulp (at $\alpha=95\%$).

Table 2 The yield of the pre-hydrolysis, pulping, and bleaching stage and the kappa number of the unbleached pulp

Sample	Yield, %			Unbleached Pulp Kappa Number
	Pre-hydrolysis stage	Pulping stage	Bleaching stage	
PNU5	57.48	43.12	41.13	11.1
PNU8	53.75	52.37	45.76	10.1
PAU5	63.64	48.54	43.16	9.4
PAU8	65.36	54.37	49.63	9.1

Note: P= pre-hydrolysis, N = neutral (pH=7), A= acidic (pH=5), U5= 5 months old, and U8= 8 months old

Dissolving Pulp Potential of Sponge Gourd

Chemical component analysis was carried out on bleached pulp; the results are listed in Table 3. The purity of dissolving pulp is indicated by its α -cellulose content, in which the SNI standard requires a minimum of 90.5%. For the present works, the bleached pulp of sponge gourd retained the α -cellulose content of 91.17-94.74%. Pre-hydrolysis process (Wanrosli *et al.* 2004) and pulping with active alkali of more than 17% (Fengel & Wegener 1984) resulted in pulp with high α -cellulose content. The content of the α -cellulose of sponge gourds was not significantly influenced by the hydrolysis acidity and the age of the sponge gourd fruits.

The solubility of pulp in 10% NaOH indicates the content of short-chained cellulose (degraded cellulose), and the solubility of pulp in 18% NaOH suggests the range of hemicelluloses of the pulp. The presence of hemicelluloses is unacceptable in dissolving pulp and other cellulose derivatives. It can be seen from Table 3 that the 10% NaOH solubility of most pulp was higher than that required by SNI (a maximum of 10%), and the 18% NaOH solubility of all pulp was higher than that needed for the SNI (a maximum of 6.5%). At high concentrations, hemicelluloses disturb the preparation of viscose (Gehmayer & Sixta 2011) and bring about brittle rayon yarn (Pari *et al.* 2005). It was found in the present research that the hydrolysis acidity and the age of sponge gourd fruits did not influence the solubility of pulp in 10% and 18% NaOH solutions.

Table 3 Chemical composition of sponge gourd bleached pulp

Component	Sample				
	PNU5	PNU8	PAU5	PAU8	SNI 14-03-1989
α -Cellulose, %	94.40	91.20	94.70	94.40	≥ 90.50
10% NaOH, %	9.95	10.83	11.32	10.55	≤ 10.00
18% NaOH, %	7.01	7.61	7.15	7.36	≤ 6.50
Ash, %	0.18	0.43	0.12	0.23	≤ 0.15
Extractive, %	0.40	0.38	0.44	0.32	≤ 0.30
Silica, mg/kg	38.50	85.00	28.50	42.00	≤ 50.00
Brightness, %	91.00	90.00	91.00	91.00	≥ 90.00
Viscosity, mPa.S	5.15	4.75	5.35	5.05	≥ 18.00

Note: P = pre-hydrolysis, N = neutral (pH =7), A = acidic (pH = 5), U5 = 5 months old, U8 = 8 months old.

The silica content of the 5-month-old sponge gourd pulp was lower than those of the 8-month-old sponge gourd (at $\alpha=95\%$). Except for pulp obtained from neutral pre-hydrolyzed of eight-month-old sponge gourd (PNU8), the silica content of all pulp was lower than 50 ppm as required by SNI 14-03-1989. The silica content of PAU5, PNU5, and PAU8 was statistically the same but lower than PNU8. The hydrolysis acidity and the age

of sponge gourd fruits did not influence the ash content of its bleached pulp. The ash content of pulp obtained from acidic pre-hydrolysis for the five-month-old sponge gourd (PAU 5) was met by SNI 14-03-1989. High ash and silica content brings about a decreasing strength of pulp because ash and silica hinder the occurrence of inter-fiber hydrogen bonding (Wirawan *et al.* 2010).

Extractives precipitate in the cell wall and cavities without chemical bonding with the primary cell wall components. The solubility of pulp in alcohol-benzene is indicative of its extractive content. Alcohol-benzene dissolves resin, fat, wax, and tannin. It was found in the present works that the hydrolysis acidity and the age of sponge gourd fruits did not influence the content of extractives. It can be seen from Table 3 that the extractives content of sponge gourd bleached pulp was higher than that required by SNI 14-03-1989, which is a maximum of 0.3%. High extractive content in dissolving pulp brings about brown specks in pulp and disturbance in the spinning and screening processes of the rayon yarn (Afriani 2007).

The brightness of the pulp represents the magnitude of light reflected by the pulp relative to that reflected by the reference object (titanium oxide) in %ISO or °GE. The brightness of sponge gourd bleached pulp obtained in the present research was 90-91% ISO and satisfied the SNI 14-03-1989 ($> 90\%$ ISO) requirement. The effect of hydrolysis acidity and the age of sponge gourd fruits were insignificant on the bleached pulp brightness. Pulp brightness can be improved with peroxide (P) bleaching. Peroxide can deactivate chromophore groups in lignin to prevent light absorption by the pulp (Fengel & Wegener 1984).

Pulp viscosity indicates the degree of polymerization and the degradation degree of cellulose in the pulp. Cellulose degradation decreases the pulp viscosity (Jautsimo 2004) and pulp strength (Wathen *et al.* 2005). Table 3 indicates that pulp viscosity is positively related to cellulose content. However, it was negatively correlated to the brightness of pulp, which agrees with that reported by Jahan *et al.* (2008). The present result indicates that the viscosity of bleached sponge gourde pulp was 4.75-5.35 mPa.S. Unfortunately, far below SNI 14-03-1989 required the minimum pulp viscosity of 18 mPa.S. The effect of the hydrolysis acidity and the age of sponge gourd fruits on pulp viscosity was significant ($\alpha=95\%$). The viscosity of PAU8, PAU5, and PNU5 was statistically the same. However, they were lower than that of PNU8. Degrading cellulose to pre-hydrolysis treatment could decrease pulp viscosity (Xu *et al.* 2006).

Sponge Gourd Potential for the Raw Material of Paper

Table 4 indicates the quality classification of sponge gourd fiber for pulp and paper

raw material according to the Forest Products Research Institute (LPHH) (Rachman & Siagian 1976). The fiber quality is classified based on the derivative value of the fibers. Even though fiber's derivative values are traditionally instrumental in predicting the papermaking potential of lignocellulosic material, the measurement of fiber property distribution has been claimed to be more principal in representing the quality of pulp (Pulkkinen *et al.* 2006).

The hydrolysis acidity influenced the fiber length, diameter, and lumen diameter of sponge gourd pulp. It can be seen from Table 4 that the currently studied sponge gourd retained longer fiber than that of the Costarican sponge gourd (fiber length of 1.31 mm) reported by Rojas (2007) and narrower fiber diameter than that of the Brazilian sponge gourd (fiber diameter of 233 μ m) written by Guimaraes *et al.* (2009). The fiber length of the presently investigated sponge gourd was between hardwood (1.16 mm) and softwood (2.72 mm) (Pulkkinen *et al.* 2006). Fiber length affects the strength properties of pulp.

Table 4 The quality classification of sponge gourd fiber for the raw material of pulp and paper

Fiber dimension and the value of its derivatives	Quality Classification of the fiber according to LPHH			Sample			
	I (100)	II (50)	III (25)	PNU5	PNU8	PAU5	PAU8
Fiber length, mm	> 2	1 – 2	< 1.00	1.44	1.34	1.52	1.55
Fiber diameter, μ m	-	-	-	21.08	23.38	25.03	25.90
Lumen diameter, μ m	-	-	-	14.13	15.48	17.08	18.70
Cell wall thickness, μ m	-	-	-	6.95	7.90	7.95	7.20
Runkle Ratio	< 0.25	0.25 – 0.5	> 0.5 – 1	0.98	1.02	0.93	0.78
Felting Power	> 90	50 – 90	< 50	68.61	57.63	60.79	59.88
Muhlstep ratio, %	< 30	30 – 60	> 60	55.02	56.09	53.37	47.88
Flexibility ratio	> 0.8	0.5 – 0.8	< 0.5	0.33	0.34	0.32	0.28
Coefficient of rigidity	< 0.1	0.1 – 0.15	> 0.15	0.67	0.66	0.68	0.72
Interval	450 – 600	225 – 449	< 225	225	225	225	225

Note: P=pre-hydrolysis, N=neutral, A=acidic, U5=5 months old, U8=8 months old

Fiber with a low Runkle ratio is an excellent raw pulp material and can be readily processed into good paper. The present works indicated that the Runkle ratio of sponge gourd fiber ranged from 0.78 to 1.02 and classified as a quality class of III based on LPHH criteria. The acidity of hydrolysis influenced the Runkle ratio. PAU8 retained the lowest Runkle ratio; therefore, it could provide relatively higher tensile and bursting strength.

Felting power mainly influences the tearing strength of pulp. The felting power and the Muhlstep ratio of the sponge gourd fiber in the present research ranged from 57.63 to 68.61 and 47.88-56.09%, respectively. The fibers are classified into quality class II. Even though it has fallen in the same quality class, its felting power was higher than *Acacia mangium* of Papua New Guinea, Queensland, and East Indonesia provenances reported by Syafii & Siregar (2006). The Muhlstep ratio of the sponge gourd fiber was comparable to those written by the just mentioned authors. Felting power is positively correlated to the tearing strength of pulp and paper. The Muhlstep ratio is positively related to the paper strength dependent on inter-fiber bonding such as tensile, folding, and bursting strengths. The hydrolysis acidity and the age of the sponge gourd did not influence the felting power of its fiber. It can also be seen from Table 4 that the decrease in the hydrolysis acidity decreased the Muhlstep ratio.

Based on the rigidity coefficient (0.66-0.72) and flexibility ratio (0.22-0.34), the sponge gourd fiber is classified into quality class III. The coefficient of rigidity increased with increasing the acidity of hydrolysis. Fiber stiffness influences paper formation, in which stiffer fiber will result in a worsened

formation with the consequence of reduced paper strength due to reduced inter-fiber bonding capability. The statistical evaluation indicated that PNU8 pulp retained the highest flexibility ratio. Flexible fiber produces good paper strength because of the increasing relative bonded area.

Table 4 indicates that sponge gourd fiber is classified into quality class II based on the scoring of fiber derivative values. According to LPHH criteria, fiber with a class quality of II will produce a paper with medium tearing, bursting, and tensile strength. Except for cell wall thickness and felting power, all other fiber dimensions and fiber derivative values were influenced by the acidity of hydrolysis. Fiber dimensions and fiber derivative values increased with increasing hydrolysis acidity. Pre-hydrolysis was possibly capable of swelling the fibers.

The Strength Properties of Pulp

The tensile, tearing, and bursting strength of its pulp handsheets was determined to evaluate the papermaking potential of the sponge gourd. The resulting strength properties evaluation of the fibers is listed in Table 5. The acidity of hydrolysis and the age of sponge gourd fruits influenced tensile strength. It was found that pre-hydrolysis in acidic conditions of the five months old sponge gourd (PAU5) resulted in pulp with the highest tensile strength.

Regardless of its equal scoring value (the same quality fiber class), PAU5 retained the highest tensile strength. Fiber derivative values are determined based on the mean of fiber length, fiber diameter, and cell wall thickness. However, fiber property distribution is considered more prominently crucial in determining the

strength properties of pulp (Pulkkinen *et al.* 2006). Furthermore, modification of cellulose and hemicellulose characters could increase inter-fiber bonding quality (Minor and Atalla 1992). The bursting strength of the sponge gourd pulp was only influenced by the age of sponge gourd fruits. The same factors control tensile strength as these bursting strengths. In general, tensile strength is inversely correlated to tearing strength, as shown in Table 5. PAU5 pulp retained the lowest tearing strength.

Table 5 The strength properties of the sponge gourd pulp.

Sample	Burst Index (kPa,m ² g-1)	Tear Index (Nm ² kg-1)	Tensile Index (Nm g-1)
PNU5	0.62	4.22	13.98
PNU8	0.35	4.15	6.04
PAU5	0.64	3.07	18.27
PAU8	0.37	4.21	6.02

Note: P=pre-hydrolysis, N=Neutral, A=acidic, U5=5 months old, U8=8 months old.

In general, acid hydrolysis might swell the fiber structure facilitating the impregnation of pulping and bleaching chemicals that significantly influence bleaching yield, pulp viscosity, and pulp strength. Acidic treatment has also been reported to reduce ash content (including the content of silica), such as that found in the demineralization process of oil palm powder (Wistara *et al.* 2021).

Conclusions

The acidity of hydrolysis and the age of the sponge gourd fruits influenced the silica content, viscosity, bleaching yield, and bursting strength of the resulting pulp. Hydrolysis acidity could swell the pulp, affecting the fiber dimensions and derivative values. Even though the α -cellulose content of sponge gourd fruit was relatively high according to SNI 14-03-1989, it did not satisfy the raw material requirements for dissolving pulp due to its

high extractives, ash, and silica along with its low pulp viscosity. Treatments to decrease the content of ash, silica, and extractives of the resulting pulp need to be further evaluated. Appropriate pulping conditions could result in pulp with higher viscosity.

References

- Afriani Y. 2007. Pengaruh Tingkat Keasaman Prahidrolisis dan Konsentrasi Alkali Aktif Terhadap Sifat Pulp Rayon Limbah Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb). [Undergraduate thesis]. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Al-Dajani WW, Tschimer UW. 2008. Pre-extraction of hemicellulose and subsequent kraft pulping part I: alkaline extraction. *Tappi J.* 7(6): 3 - 8.
- Arnoul-Jarriault B, Lachenal D, Chirat C, Heux L. 2015. Upgrading softwood bleached kraft pulp to dissolving pulp by cold caustic treatment and acid-hot caustic treatment. *Ind Crops Prod* 65:565–571. doi:10.1016/j.indcrop.2014. 09.051
- Bal KE, Bal Y, Lallam A. 2004. Gross morphology and absorption capacity of cell-fibers from the fibrous vascular system of Loofah (*Luffa cylindrica*). *Text Res J.* 74(3), 241-247.
- Barba C, Montane D, Rinaudo M, Farriol X. 2002. Synthesis and characterization of carboxymethylcelluloses (CMC) from non-wood fibers I. Accessibility of cellulose and cmc synthesis. *Cellulose* 9:319 - 326.
- El-Ghany NAA. 2009. Organosolv pulping of cotton linters. *Cellul Chem Technol.* 43 (9-10): 419 - 426.

- Fengel D, Wegener G. 1984. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reaction*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Gehmayer V, Sixta H. 2011. Dissolving pulp from enzyme treated kraft pulps for viscose application. *Lenzinger Ber.* (89): 152 - 160.
- Guimaraes JL, Frollini E, Da Silva CG, Wypych F, satyanarayana kg. 2009. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. *Ind Crops Prod.* (30): 407 - 415.
- Hamzeh Y, Benattar N, Mortha G, Calais C. 2007. Modified ECF bleaching sequence optimizing the use of chlorine dioxide. *Appita J.* 60(2):150 - 155.
- Jahan MS, Rawsan SDA, Chowdhury N, Al-Maruf A. 2008. Dissolving pulp from Jute. *BioResources* 3(4): 1950 - 1970.
- Jahan MS. 2009. Studies on the effect of prehydrolysis and amine in cooking liquor on producing dissolving pulp from jute (*Corchorus capsularis*). *Wood Sci Technol.* 43: 213 - 224.
- Jautsimo O. 2004. Effect of Mechanical Treatment on Softwood Kraft Fiber Properties [Dissertation]. Finland: The Helsinki University of Technology.
- Leschinsky M, Sixta H, Patt R. 2009. Detailed mass balances of the autohydrolysis of *eucalyptus globulus* at 170 °C. *BioResources* 4(2): 687 - 703.
- Liu Y, Shi L, Cheng D, He Z. 2016. Dissolving pulp market and technologies: Chinese perspective - a mini-review. *BioResources* 11(3): 7902 - 7916.
- Ma X, Huang L, Chen Y, Cao S, Chen L. 2011. Preparation of dissolving pulp. *BioResources* 6 (2): 1428 - 1439.
- Matin M, Rahaman MM, Nayeem J, Sarkar M, Jahan MS. 2015. Dissolving pulp from jute stick. *Carbohydr Polym.* 115:44-48. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.090
- Mazali IO, Alves OL. 2005. Morphosynthesis: High fidelity inorganic replica of the fibrous network of loofa sponge (*Luffa cylindrica*). *An Acad Bras. Cienc.* 77(1): 25 - 31.
- Minor JL, Atalla, RH. 1992. Strength loss in recycled fibers and method of restoration. *Mat Res Soc Symp. Proc.* 266: 215 - 258.
- Pari G, Roliadi H, Setiawan D, Saepulloh. 2005. The chemical component of ten planted wood species originated from West Java. *JPHH* 4: 11 - 15.
- Pulkkinen I, Ala-Kaila K, Aittamaa J. 2006. Characterization of wood fibers using fiber property distributions. *Chem Eng Process.* 45:546-554
- Rachman AN, Siagian RM. 1976. Dimensi Serat Jenis Kayu Indonesia Bagian III. Laporan LPHH No. 75. Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor.
- Rojas MLB. 2007. Pasta hidrotermica y termoquimica a la soda obtenida a partir de residuos de paste (*Luffa cylindrica*). *Ingenieria* 17 (1): 77 - 84.
- Satyanarayana KG, Guilmaraes JL, Wypych, F. 2007. Studies on lignocellulosic fibers of brazil. Part I: Source, production, morphology, properties, and applications. *Composite: Part A* 38 (7): 1694 - 1709.
- Syafii W, Siregar IZ. 2006. Chemical properties and fiber dimension of

- acacia mangium willd.* from three provenances. *JITKT*. 4(1): 28 - 32.
- Tanobe VOA, Sydenstricker THD, Munaro M, Amico SC. 2005. A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourd (*Luffa cylindrica*). *Polym Test*. 24(4): 474 - 482.
- Testova L, Borrega M, Tolonen LK, Penttila PA, Serimaa R, Larsson PT, Sixta H. 2014. Dissolving-grade birch pulps produced under various prehydrolysis intensities: quality, structure, and applications. *Cellulose*. DOI 10.1007/s10570-014-0182-x
- Ververis C, Georghiou K, Christodoulakis N, Santas P, Santas R. 2004. Fiber dimension, lignin, and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Ind Crops Prod*. (19): 245 - 254.
- Wanrosli WD, Leh CP, Zainuddin Z. 2004. Effects of prehydrolysis on the production of dissolving pulp from empty fruit bunches. *J Tropic Forest Sci*. 16: 343 - 349.
- Wathen R, Joutsimo O, Tamminen T. 2005. Effect of different degradation mechanisms on axial and z-directional fiber strength. In: *Proc, of the 13th Fundamental Res Sy*, Cambridge, September 2005: 631 - 647.
- Wirawan KS, Rismijana J, Cucu, Asid DS. 2010. Bleached ramie pulp for paper making raw material. *Berita Selulosa* 45(2): 57 - 63.
- Wistara NJ, Diputra P, Hendra D. 2021. Biopellet from demineralized oil palm trunk. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 891 012022. doi:10.1088/1755-1315/891/1/012022.
- Wu H, Zhao G, Gong H, Li J, Luo C, He X, Luo S, Zheng X, Liu X, Guo J, Chen J, Luo J. 2020. A high-quality sponge gourd (*Luffa cylindrica*) genome. *Horticulture Research* 7:128. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00350-9>
- Xu F, Liu CF, Geng ZC. 2006. Characterization of degraded organosolv hemicelluloses from wheat straw. *Polym Degrad Stab*. 91: 1880 - 1886.

Comparison of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Laminates With and Without Natural Fiber Reinforcement

Mochamad Chanan¹, Galit Gatut Prakosa^{1*}, Aditya Galih Kurniawan²

¹ Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia

² Postgraduate Student of Forestry Faculty of Forestry, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author: galitgatut@umm.ac.id

Abstract

The present study of engineered bamboo as an alternative to wood aimed to determine the difference in physical-mechanical properties and the correlation of the observed properties consisting of moisture content, density, modulus of elasticity (E_{app}), and modulus of rupture (S_R). *Bambusa blumeana* Schult. & Schult. F and *Gigantochloa atrovioleacea* Widjaja, *Agave sisalana* Perrine, *Hibiscus cannabinus* L, and urea-formaldehyde resin as an adhesive were used to produce natural-fiber-reinforced and non-reinforced laminated bamboo lumber (LBL). Specimen dimension by ASTM standard D143-14. Test methods and equations by ASTM standard D198-15. Statistical analysis includes analysis of variance, correlation, and regression. The MC, density, MOE, and MOR of the interactions within *G. atrovioleacea*–without fiber (AO), *G. atrovioleacea*–*H. cannabinus* (AK), *G. atrovioleacea*–*A. sisalana* (AS), *B. blumeana*–without fiber (BO), *B. blumeana*–*H. cannabinus* (BK), and *B. blumeana*–*A. sisalana* (BS) ranged between 6.40% to 8.00%, 0.62 g/cm³ to 0.74 g/cm³, 12.71 GPa to 37.70 GPa, and 62.64 MPa to 104.24 MPa, respectively. Relationship between variables revealed a negative linear correlation between MC versus density ($R = -0.786$) and MC versus MOR ($R = -0.666$). Linear positive correlation between density versus MOE ($R = 0.508$), density versus MOR ($R = -0.578$), and MOE versus MOR ($R = -0.793$).

Keywords: Bamboo, laminated-bamboo-lumber, glubam, fiber, physical-mechanical properties

INTRODUCTION

Efforts to obtain bio-based materials as an alternative to wood as structural raw materials and their processing have received much attention. The limited availability of resources and the increasing demand for resources in today's modern industrial world make it increasingly necessary to explore the potential and opportunities of new resources as sustainable building materials (Meadows *et al.*, 1992). One of the natural resources that can be used as a substitute for wood is bamboo. Bamboo is an attractive choice and has excellent potential as an alternative to wood for many applications of structural raw

materials. (Jain *et al.*, 1993; Janssen, 1995; Lakkad and Patel, 1981; Mahdavi *et al.*, 2011).

Laminated bamboo or laminated bamboo lumber (LBL) is a solution to the limitations of the cylindrical shape of bamboo, which tends to be challenging to incorporate into structural construction, unlike wood. Bamboo-engineered products have the potential to become competitive products in the market. This product has mechanical properties comparable to or superior to structural wood and plywood. The use of processed bamboo products in construction is still a developing field (Ameh *et al.*, 2019;

Khandkar-Siddikur *et al.*, 2012; Akwada & Akinlabi, 2015).

This study will reveal differences in physical and mechanical properties between combination treatments (fiber bonding and non-fiber bonding) and the relationship between variables including moisture content, density, modulus of elasticity (modulus of elasticity, MOE, Eapp), and flexural strength (modulus of rupture, MOR, SR). The raw materials used are bamboo duri (*Bambusa blumeana*) and black Java bamboo (*Gigantochloa atrovioleacea*), compared to the modification of natural fibers as reinforcement. The vegetable fibers used were sisal (*Agave sisalana*) and kenaf (*Hibiscus cannabinus*).

MATERIAL AND METHODS

The manufacture of laminated bamboo lumber is carried out at the Civil Engineering Laboratory, State University of Malang. Physical and mechanical properties testing was carried out at the Civil Engineering Laboratory, Universitas Brawijaya (7°58'48" S 112°37'12" E).

The study used a simple research design by conducting a two-factor analysis; (1) the type of bamboo; and (2) the addition of fiber. Six treatments, consisting of *G. atrovioleacea*–without fiber (AO), *G. atrovioleacea*–*H. cannabinus* (AK), *G. atrovioleacea*–*A. sisalana* (AS), *B. blumeana*–without fiber (BO), *B. blumeana*–*H. cannabinus* (BK), and *B. blumeana*–*A. sisalana* (BS) was repeated three times. Parameters for testing physical-mechanical properties include determination of moisture content and density, modulus of elasticity (modulus of elasticity, MOE, Eapp), and flexural strength (modulus of rupture, MOR, SR). Specimen dimensions refer to ASTM D

143-14 standard. The two-point load test method and the determination of Eapp and SR refer to the ASTM D198-15 standard. Analysis of variance (ANOVA), correlation, and regression was used to determine the difference in treatment combinations and the relationship between parameters of physical-mechanical properties in the test.

The blades were obtained from the manual splitting of bamboo stems about 5 mm. The entire blade surface was planned to remove the wax and silica layer and obtain a rectangular cross-section of the blade, then air-dried to a moisture content of <15%. Urea-formaldehyde resin adhesive was applied to each side of the bamboo slats to be glued, with adhesive weight on each surface of 225 g/m². The fiber was added together with adhesive dispersal for the fiber-reinforced combination treatment of 1 gram per layer of slat adhesive and 2.5 grams per lamellae adhesive. The bamboo strip was laid out and joined into lamellae (laminated sheets of bamboo slats) by cold pressing at 30 kN. The lamellas were assembled into laminated bamboo beams by compression at 60 kN. Each compression process was followed by pressure locking using clamps for ± 24 hours. Conditioning was carried out for 14 days before testing. The beams were smoothed and cut to obtain 50 x 50 x 760 mm dimensions at the final stage.

RESULTS AND DISCUSSION

Moisture Content

The simple, completely randomized design results showed that the combination treatment of AO, AK, AS, BO, BK, and BS contained a moisture content of 7.27%, 7.57%, 8.00%, 6.80%, 6.90%, and 6.40%. The combination without the addition of fiber

reinforcement contains the lowest moisture content. Fiber types as reinforcement did not significantly affect the moisture content of bamboo laminate. The average moisture content in all samples was 6% - 8% (Table 1), more than 5% below the conditions required for the mechanical properties requirement. The ASTM D1990-16 requires an equilibrium of moisture content of 15%. A 5% difference must be avoided due to the need for normalizing, which will reduce the analysis results' accuracy.

Moisture content to density and moisture content to MOR showed a negative linear correlation (Table 2). Moisture content can be determined by 61.8% variation in density (Figure 1) and 44.3% variation in MOR (Figure 2) through the equation, $\text{density} = 1.164 - 6,780 \text{ Moisture Content}$, and $\text{MOR} = 253.5 - 2304 \text{ Moisture Content}$. The coefficients of Moisture Content on density and MOR are 6.780 and 2304 Kg/cm², respectively. On average, the density and MOR of laminated bamboo will decrease by the coefficient number for every 1 unit increase in Moisture Content.

Table 1 Comparison of Average Moisture Content, Density, MOE, and MOR of Laminated Bamboo

Treatment	Moisture Content (MC, %)		Density (ρ , g/cm ³)		MOE (E_{app} , GPa)		MOR (S_R , MPa)	
Combination								
AK	7,57	a, b	0,64	b	26,03	a	85,79	a
AO	7,27	a, b	0,62	b	30,28	a	94,71	a
AS	8,00	a	0,61	b	12,71	a	62,64	a
BK	6,90	a, b	0,74	a	31,11	a	94,02	a
BO	6,40	b	0,73	a	37,70	a	104,24	a
BS	6,80	a, b	0,72	a	31,41	a	90,74	a

Information:

Numbers with different letter groups show significant differences at the 0.05 level.

Table 2 Correlation Matrix of Physical and Mechanical Properties of Laminated Bamboo

		Moisture Content (MC)		Density (ρ)		MOE (E_{app})	
Density (ρ)	<i>Pearson Correlation</i>	-0,786	**				
	<i>P-Value</i>	0,000					
MOE (E_{app})	<i>Pearson Correlation</i>	-0,294		0,508	*		
	<i>P-Value</i>	0,236		0,031			
MOR (S_R)	<i>Pearson Correlation</i>	-0,666	**	0,578	*	0,793	**
	<i>P-Value</i>	0,003		0,012		0,000	

Information:

*) The correlation is significant at the level of 0.05

**) The correlation is very significant at 0.01. level

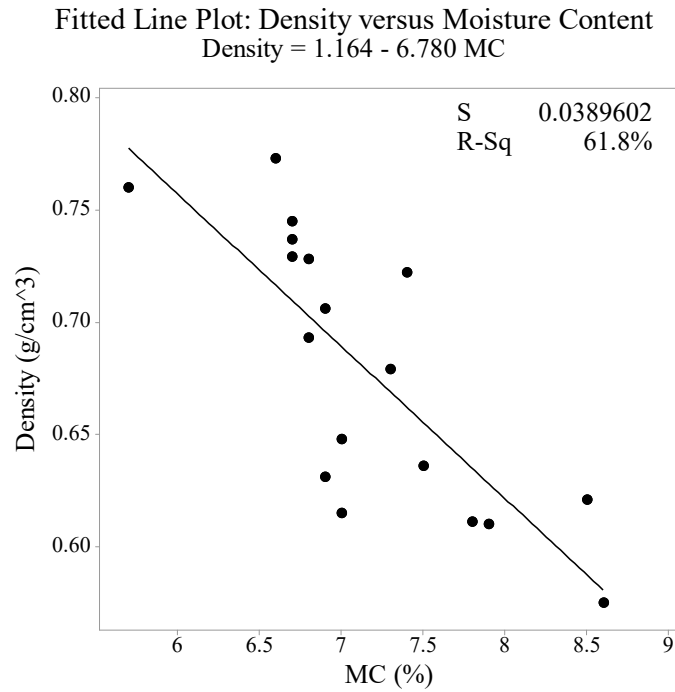


Figure 1. The plot of Linear Regression of Moisture Content (MC) against Density (ρ)

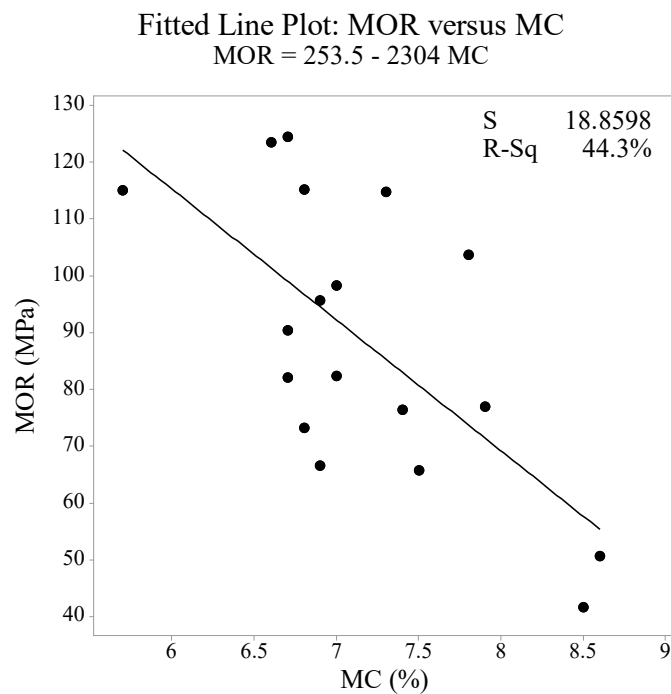


Figure 2. The plot of Moisture Content Linear Regression (MC) on Flexural Strength (MOR, S_R)

The increased moisture content of the samples indicates a decrease in density and flexural strength. As a lignocellulosic material, the mechanical properties of bamboo are also strongly influenced by changes in Moisture Content (Wang *et al.*, 2013). The same thing applies to wood products; Wood shows instability and decreases in strength when there is an increase in water content above the material saturation point (MSP)(Sharma *et al.*, 2015). Almost all mechanical properties, such as compressive strength, hardness, and modulus of elasticity, decrease with increasing water content below the fiber saturation point (FSP) (Cave, 1978; Green *et al.*, 1988; Kojima and Yamamoto, 2004; Kretschmann and Green, 1996; Wang and Wang, 1999; Zou *et al.*, 2019).

Wood Density

The combination of BK, BO, BS, AK, AO, and AS has a density of 0.74 g/cm³, 0.73 g/cm³, 0.72 g/cm³, 0.64 g/cm³, 0.62 g/cm³, and 0.61 g/cm³. The combination density in *B. blumeana* was significantly higher than in *G. atrovioleacea* (Table 1). As a comparison, the dry density of the blast furnace *B. blumeana* ranged from 0.43 g/cm³ to 0.62 g/cm³, with variations determined by the planting period (Mohmod *et al.*, 1993), while the density of *G. atrovioleacea* is ± 0.58 g/cm³ (Putri dan Masdar, 2016). The density in the form of laminated beams is relatively higher due to the modification of the composite material's shape and adhesive as a constituent.

Density to MOE and density to MOR positive linear correlation (Table 2). Density can determine a 25.8% variation in MOE (Figure 3) and 33.5% variation in MOR (figure 4) through the equation

$MOE = (-66189 + 139053) \times \text{density}$, and $MOR = (-68.81 + 232.0) \times \text{density}$. The density coefficients on MOE and MOR are 139053 and 232.0, respectively. On average, MOE and MOR of laminated bamboo will increase by the coefficient number for every 1 unit increase in density.

The flexural strength of bamboo depends on the number and quality of fibers in the reed, which determines the density value (Liese and Weiner, 1996). Density is directly proportional to the mechanical properties of the biomass material (Borůvka *et al.*, 2018; Srivaro *et al.*, 2018; Yang dan Lee, 2018). Research conducted by Chung dan Wang (2018) on scrimber from Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) showed that the value of the MOR variable showed a positive relationship with density. Sharma *et al.* (2017) mentioned a correlation between specimen density and flexural elasticity modulus; in laminated bamboo, the strongest correlation is found in density and flexural elasticity.

Flexural Modulus of Elasticity (MOE, Eapp) and Modulus of Rapture (MOR, SR)

The value of elastic modulus of bending follows previous research, which states that the range of MOR values ranges from 67.7 MPa to 133 MPa. (Lee *et al.*, 1998; Ahmad and Kamke, 2011). MOE and MOR showed a positive linear correlation (Table 2). MOE can determine a 62.8% variation in MOR (Figure 5) through the $MOR = 55.91 + 0.001162 \text{ MOE}$. The MOE coefficient is 0.001162. On average, the MOR of laminated bamboo will increase by 0.001162 for every increase of 1 MOE unit (Figure 5).

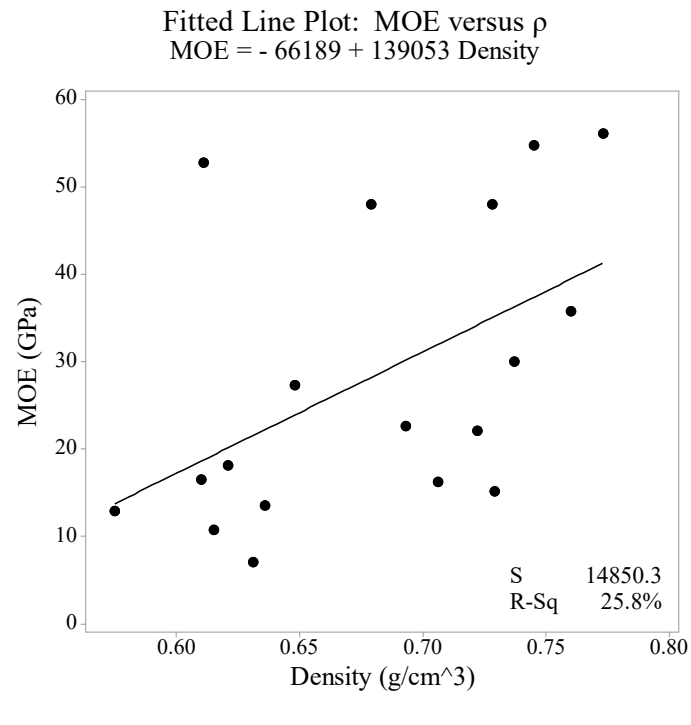


Figure 3. The plot of Density Linear Regression (ρ) against Flexural Elasticity Modulus (MOE, E_{app})

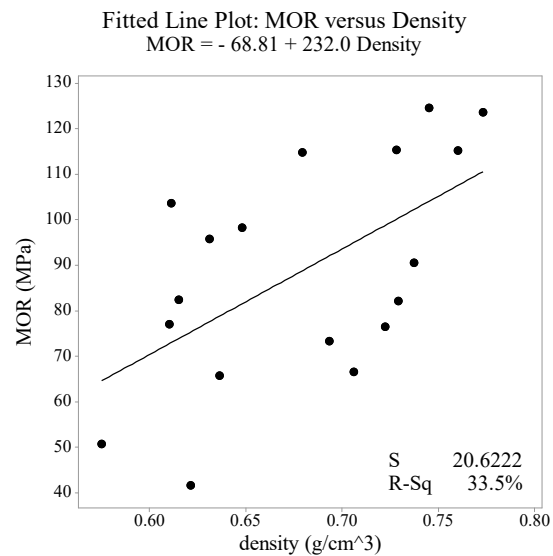


Figure 4. The plot of Density Linear Regression (ρ) against Flexural Strength (MOR, S_R)

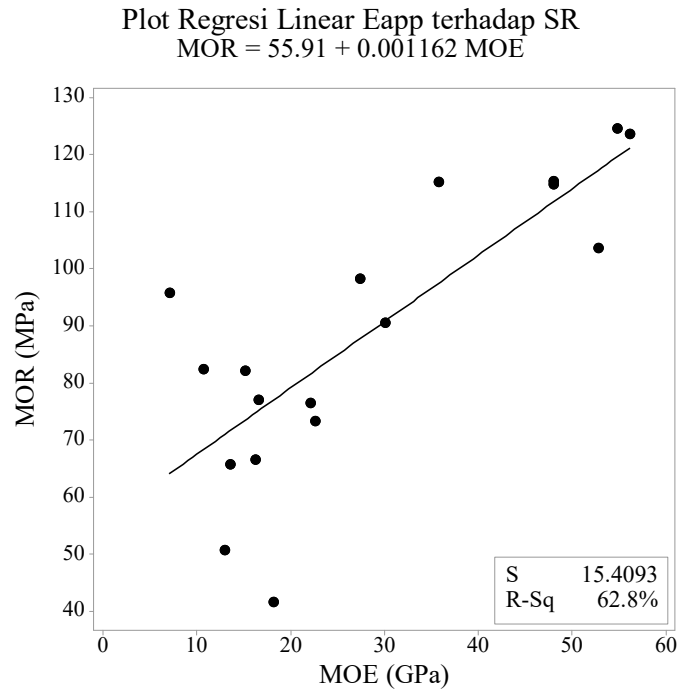


Figure 5. Bending Elasticity Modulus Linear Regression Plot (MOE, Eapp) to Bending Strength (MOR, SR)

The combination non-fiber treatment showed higher stiffness and strength than the combination fiber treatment. Significant problems, such as poor wettability, poor bonding and degradation at the fiber/matrix interface (hydrophilic and hydrophobic effects), and fiber damage during the manufacturing process are the leading causes of reduced composite strength. (Ho et al., 2012). Fiber addition that weakens the combination can be caused by technical factors during gluing of laminated bamboo. The adhesive layer requires a flat surface to minimize gaps between the bamboo. Adding vegetable fibers causes a space between the fibers; when the adhesive cannot fill the fibers, the bond between the laminae becomes weak. Surface modifications such as chemical treatment effectively remove lignin material in the fiber, thereby enabling better bonding in polymer composites.

(Sawpan *et al.*, 2011b, 2011a; Yan *et al.*, 2012; Siakeng *et al.*, 2018).

MOE in the combination treatment with vegetable fiber reinforcement, *A. sisalana*, showed the highest value for *B. blumeana*, 31.41 GPa, while *H. cannabinus* showed the highest value for *G. atrovioleacea*, which was 26.03 GPa. MOR in the combination treatment with vegetable fiber reinforcement, *H. cannabinus*, showed the highest values for the two types of bamboo used, with 94.02 MPa (BK) and 85.79 MPa (AK). The finding that the mechanical properties without fiber have the highest value certainly benefits the production process.

CONCLUSIONS

Laminated bamboo with vegetable fiber reinforcement results from combining bamboo and vegetable fibers. Moisture content with density and moisture content with MOR show a negative correlation

linear, density with MOE, density with MOR, and MOE with MOR showing a positive linear correlation. The average value of the physical and mechanical properties of the combination treatment of bamboo without adding vegetable fiber is better than that of bamboo with fiber.

REFERENCES

- Ahmad, M., & Kamke, F. A. (2011). Properties of parallel strand lumber from Calcutta bamboo (*Dendrocalamus strictus*). *Wood Science and Technology*, 45(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0308-8>
- Akwada, D. R., & Akinlabi, E. T. (2015). Bamboo Use in Construction Industry : How Sustainable is it ? *Infrastructure Development and Investment Strategies for Africa*, November 21.
- Ameh, J., Soyngbe, A., & Oyediran, O. (2019). Acceptability and use of innovative bamboo products for the construction of residential buildings in Nigeria. *International Journal of Technology*, 10(4), 648–656. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i4.2574>
- Borůvka, V., Zeidler, A., Holeček, T., & Dudík, R. (2018). Elastic and strength properties of heat-treated beech and birch wood. *Forests*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/f9040197>
- Cave, I. D. (1978). Modeling moisture-related mechanical properties of wood Part I: Properties of the wood constituents. *Wood Science and Technology*, 12(1), 75–86. <https://doi.org/10.1007/BF00390012>
- Chung, M. J., & Wang, S. Y. (2018). Mechanical properties of oriented bamboo scribe boards made of *Phyllostachys pubescens* (moso bamboo) from Taiwan and China as a function of density. *Holzforschung*, 72(2), 151–158. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0084>
- Green, D. W., Evans, J. W., Barret, J. D., & Aplin, E. N. (1988). Predicting the effect of moisture content on the flexural properties of Douglas-fir dimension lumber. *Wood and Fiber Science*, 20(1), 107–131.
- Ho, M. P., Wang, H., Lee, J. H., Ho, C. K., Lau, K. T., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fiber composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549–3562. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.001>
- Jain, S., Jindal, U. C., & Kumar, R. (1993). Development and fracture mechanism of the bamboo/polyester resin composite. *Journal of Materials Science Letters*, 12(8), 558–560. <https://doi.org/10.1007/BF00278323>
- Janssen, J. J. A. (1995). *Building with Bamboo* (2nd ed.). Intermediate Technology Publications Ltd. <https://doi.org/10.3362/9781780442143>
- Khandkar-Siddikur, R., Nazmul, a D. M., & Islam, M. N. (2012). Some physical and mechanical properties of bamboo mat-wood veneer plywood. *International Research Journal of Biological Sciences*, 1(2), 61–64. <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v1i2/11.ISCA-JBS-2012-026 Done.pdf>
- Kojima, Y., & Yamamoto, H. (2004). Properties of the cell wall constituents in relation to the longitudinal elasticity of wood Part 2: Origin of the moisture dependency of the longitudinal elasticity of wood. *Wood Science and Technology*, 37(5), 427–434. <https://doi.org/10.1007/s00226-003-0177-5>

- Kretschmann, D. E., & Green, D. W. (1996). Modeling moisture content-mechanical property relationships for clear southern pine. *Wood and Fiber Science*, 28(3), 320–337.
- Lakkad, S. C., & Patel, J. M. (1981). Mechanical properties of bamboo, a natural composite. *Fibre Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/0015-0568\(81\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0015-0568(81)90023-3)
- Lee, A. W. C., Bai, X., & Bangi, A. P. (1998). Selected properties of laboratory-made laminated-bamboo lumber. *Holzforschung*. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1998.52.2.207>
- Liese, W., & Weiner, G. (1996). Ageing of bamboo culms. A review. *Wood Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/BF00224958>
- Mahdavi, M., Clouston, P. L., & Arwade, S. R. (2011). Development of Laminated Bamboo Lumber: Review of Processing, Performance, and Economical Considerations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(7), 1036–1042. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000253](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000253)
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., & Randers, J. (1992). *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*. Chelsea Green Publishing Co.
- Mohmod, A. L., Amin, A. H., Kasim, J., & Jusuh, M. Z. (1993). Effects of Anatomical Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Bambusa Blumeana. *Journal of Tropical Forest Science*, 6(2), 159–170.
- Putri, D., & Masdar, A. (2016). Tinjauan Kekuatan Ranting Bambu Ori Sebagai Konektor pada Sambungan Struktur Kuda-Kuda Bambu. *Jurnal Forum Mekanika*, 5(2), 1–72.
- Sawpan, M. A., Pickering, K. L., & Fernyhough, A. (2011a). Effect of various chemical treatments on the fibre structure and tensile properties of industrial hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(8), 888–895. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.03.008>
- Sawpan, M. A., Pickering, K. L., & Fernyhough, A. (2011b). Effect of fibre treatments on interfacial shear strength of hemp fibre reinforced polylactide and unsaturated polyester composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(9), 1189–1196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.05.003>
- Sharma, B., Bauer, H., Schickhofer, G., & Ramage, M. H. (2017). Mechanical characterisation of structural laminated bamboo. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 170(4), 250–264. <https://doi.org/10.1680/jstbu.16.00061>
- Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., & Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- Siakeng, R., Jawaid, M., Ariffin, H., & Salit, M. S. (2018). Effects of Surface Treatments on Tensile, Thermal and Fibre-matrix Bond Strength of Coir and Pineapple Leaf Fibres with Poly Lactic Acid. *Journal of Bionic Engineering*, 15(6), 1035–1046. <https://doi.org/10.1007/s42235-018-0091-z>
- Srivar, S., Rattanasat, J., & Noothong, P. (2018). Comparison of the anatomical

- characteristics and physical and mechanical properties of oil palm and bamboo trunks. *Journal of Wood Science*, 64(3), 186–192. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1687-3>
- Wang, H. H., Wang, H. H., Li, W., Ren, D., & Yu, Y. (2013). Effects of moisture content on the mechanical properties of moso bamboo at the macroscopic and cellular levels. *BioResources*, 8(4), 5475–5484. <https://doi.org/10.15376/biores.8.4.5475-5484>
- Wang, S. Y., & Wang, H. L. (1999). Effects of moisture content and specific gravity on static bending properties and hardness of six wood species. *Journal of Wood Science*, 45(2), 127–133. <https://doi.org/10.1007/BF01192329>
- Yan, L., Chouw, N., & Yuan, X. (2012). Improving the mechanical properties of natural fibre fabric reinforced epoxy composites by alkali treatment. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. <https://doi.org/10.1177/0731684412439494>
- Yang, T. C., & Lee, T. Y. (2018). Effects of density and heat treatment on the physico-mechanical properties of unidirectional round bamboo stick boards (UBSBs) made of Makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*). *Construction and Building Materials*, 187, 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.182>
- Zou, Z., Wu, J., & Zhang, X. (2019). Influence of moisture content on mechanical properties of bamboo scrimber. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002746](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002746)

Karakteristik Anatomi Kayu Famili Annonaceae Kurang Dikenal dari Indonesia

(*Anatomical Characteristics of the Least-Known Annonaceae Family Wood of Indonesia*)

Sumayyah F Karimah¹, Hadisunarso¹, Andianto^{2*}, Ratih Damayanti²

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

²Pusat Riset Biosistemika dan Evolusi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains Teknologi Dr. (H.C.) Ir. H. Soekarno Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong 16911

³Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains Teknologi Dr. (H.C.) Ir. H. Soekarno Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong 16911

*Penulis korespondensi: andi048@brin.go.id

Abstract

Anatomical features are essential for the utilization of a wood species. Generally, well-known timber with high durability, strength, and working characteristics is used. On the other hand, appropriate utilization of the least-known wood species requires information, mainly on their anatomical structures. Some wood species from the Annonaceae family are classified into the least-known wood species. General characteristics of the 7-wood species from the Annonaceae family, i.e., *Annona muricata*, *Annona palustris*, *Goniothalamus giganteus*, *Saccopetalum horsfieldii*, *Saccopetalum kollsii*, *Stelechocarpus burahol*, and *Trivalvaria* sp. were identified through color, patterns, texture, fiber direction, gloss, feel the impression, and hardness. The anatomical characteristics were identified through the nomenclature of the International Association of Wood Anatomists (IAWA) list of microscopic features for hardwood identification. The general characteristics of those wood species are white to grayish white color, plain to vague, slightly rough and rough-textured, have a straight fiber direction, not shiny, somewhat shiny to shiny, relatively smooth to smooth, and soft to hard. The characteristics of anatomical were classified as growing ring boundaries indistinct, wood diffuse-porous, vessels in a radial pattern, solitary vessel outlines that are not angular, vessels in radial multiples of 2-4, simple perforation plates, intervessel pits alternate, and non-septate fibers. The fiber derivative value of all genera was classified as wood quality class II, except *Saccopetalum*, which was not included in the criteria for the class of wood fiber for pulp and paper.

Keywords: anatomical characteristics, Annonaceae, general characteristics

Abstrak

Ciri anatomi merupakan informasi dasar diperlukan dalam pemanfaatan suatu jenis kayu. Umumnya masyarakat memanfaatkan kayu yang sudah dikenal memiliki keawetan, kekuatan maupun sifat pengerjaan yang baik. Tidak demikian halnya dengan pemanfaatan jenis-jenis kayu yang kurang dikenal (*The lesser-known wood species*) atau sangat kurang dikenal (*The least-known wood species*), karena masih minim informasinya. Beberapa jenis kayu suku Annonaceae termasuk kelompok jenis kayu sangat kurang dikenal. Ciri umum 7 jenis kayu suku Annonaceae yaitu *Annona muricata*, *Annona palustris*, *Goniothalamus giganteus*, *Saccopetalum horsfieldii*, *Saccopetalum kollsii*, *Stelechocarpus burahol*, dan *Trivalvaria* sp. diidentifikasi melalui warna, corak, tekstur, arah serat, kilap, kesan raba, dan kekerasan. Sedangkan ciri anatomi diidentifikasi

dengan menggunakan nomenklatur daftar ciri mikroskopis *International Association of Wood Anatomists* (IAWA) untuk identifikasi kayu daun lebar. Ciri umum kayu berwarna putih sampai putih keabuan, bercorak polos hingga samar, bertekstur agak kasar dan kasar, arah serat lurus, kesan kilap yang bervariasi dari tidak mengkilap, agak mengkilap hingga mengkilap, kesan raba agak licin dan licin, kayu lunak, agak lunak, agak keras, hingga keras. Sedangkan ciri-ciri anatomi diantaranya batas lingkaran tumbuh tidak jelas, susunan pembuluh baur, sebaran pembuluh pola radial, outline pembuluh soliter tidak bersudut, pengelompokan pembuluh bertipe ganda radial 2-4, bidang perforasi sederhana, susunan ceruk antar pembuluh bertipe selang-seling, dan serat tidak bersekat. Hasil perhitungan nilai turunan dimensi dari serat kayu marga *Annona*, *Goniothalamus*, *Stelechocarpus*, serta *Trivalvaria* sp. termasuk ke dalam kayu kelas kualitas II. Marga *Saccopetalum* tidak termasuk ke dalam tiga kelas kriteria serat kayu untuk bahan pulp dan kertas.

Kata kunci: Annonaceae, ciri anatomi, ciri umum

Pendahuluan

Annonaceae adalah salah satu suku dengan jumlah anggota jenis pohon yang sangat besar karena terdiri atas sekitar 120 marga dan lebih dari 2000 spesies (Biba *et al.* 2014). Sekitar 900 spesies suku Annonaceae termasuk ke dalam tanaman *Neotropical*, sekitar 450 spesies termasuk ke dalam tanaman *Afrotropical*, dan spesies lainnya termasuk ke dalam tanaman *Indomalayan*. Berdasarkan pembagian tersebut, Annonaceae lebih banyak dijumpai di daerah beriklim tropis dan sedikit dijumpai di daerah beriklim sedang (Olatunji 2014). Secara morfologi dan berdasarkan habitat tumbuhnya, Annonaceae dikenal sebagai sumber buah-buahan dan minyak (Biba *et al.* 2014). Suku Annonaceae juga biasa dikenal dengan sebutan keluarga sirsak. Annonaceae dalam bidang ekonomi berperan terutama dalam menghasilkan produk non-kayu seperti buah yang dapat dimakan dan daunnya bisa dimanfaatkan sebagai obat.

Pemanfaatan kayu dari suku Annonaceae masih tergolong kurang, meskipun beberapa jenis kayu dari anggota suku Annonaceae ada yang dimanfaatkan untuk pembuatan mebel dan bahan bakar (Focho *et al.* 2010). Guna memberikan informasi dasar dalam pemanfaatan jenis-jenis kayu anggota suku ini, dilakukan

penelitian ciri umum dan ciri anatomi tujuh jenis kayu anggota suku Annonaceae. Sifat anatomi yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar informasi dalam pengolahan dan pemanfaatan jenis-jenis kayu ini selanjutnya.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah 7 jenis contoh kayu otentik (Tabel 1) yang disimpan di Xylarium Bogoriense, Laboratorium Anatomi Tumbuhan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.

Tabel 1 Bahan penelitian

No	Jenis Kayu	Kode/No. Koleksi
1.	<i>Annona muricata</i>	4010
2.	<i>Annona palustris</i>	31262
3.	<i>Goniothalamus giganteus</i>	3834
4.	<i>Saccopetalum horsfieldii</i>	2280
5.	<i>Saccopetalum kolskii</i>	31849
6.	<i>Stelechocarpus burahol</i>	10985
7.	<i>Trivalvaria sp</i>	11026

Bahan kimia yang digunakan adalah etanol bertingkat (30%, 50%, 70%, 80%, 96%, dan 100%), gliserin murni, safranin 2%, toluena, xylen, akuades, entelan, asam asetat glasial 60%, dan hidrogen peroksida 35%. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah mikrotom geser, lup, mikroskop majemuk, serta optilab.

Perhitungan data dimensi sel dan serat dilakukan menggunakan MINITAB 17 (Mattjik & Sumertajaya 2002).

Preparat sayatan kayu dibuat menggunakan metode Sass (1961), sedangkan preparat maserasi untuk pengamatan dimensi pembuluh dan serat dibuat berdasarkan metode *Forest Product Laboratory* (Rulliaty 1994). Kualitas serat dinilai berdasarkan kriteria yang dibuat oleh Rachman & Siagian (1976) menggunakan rumus:

- 1) Bilangan Runkel = $2w/l$
- 2) Daya tenun = L/d
- 3) Perbandingan fleksibilitas = l/d
- 4) Koefisien kekakuan = w/d
- 5) Perbandingan Muhlstep =
$$\frac{(d^2 - l^2)}{d^2} \times 100\%$$

dengan:

- L = panjang serat
d = diameter serat
l = diameter lumen
w = tebal dinding

Pengamatan ciri umum kayu mencakup ciri-ciri yang dapat diamati langsung dengan panca indera seperti warna, corak, tekstur, arah serat, kilap, kesan raba, dan kekerasan (Mandang & Pandit 1997). Pengamatan ciri anatomi dilakukan berdasarkan daftar ciri-ciri mikroskopis untuk identifikasi kayu daun lebar *International Association of Wood Anatomist* (IAWA) (Wheeler *et al.* 1989) dengan menggunakan bantuan optilab Axio dan *software* AxioVision Rel. 4.8.

Hasil dan Pembahasan

Ciri umum kayu

Secara umum, ciri kayu anggota suku Annonaceae berwarna putih sampai putih keabuan, bercorak polos hingga samar, bertekstur agak kasar dan kasar, memiliki arah serat lurus, memiliki kesan kilap yang bervariasi dari tidak mengkilap,

agak mengkilap, hingga mengkilap, memiliki kesan raba agak licin dan licin, serta memiliki kekerasan kayu mulai dari lunak, agak lunak, agak keras, sampai keras. Secara lengkap ciri umum kayu dari masing-masing jenis adalah sebagai berikut:

- *A. muricata*: putih keabuan, bercorak samar, bertekstur agak kasar, memiliki kesan raba licin, dan agak lunak.
- *A. palustris*: putih, bercorak polos, bertekstur kasar, memiliki kesan raba agak licin, dan lunak.
- *G. giganteus*: putih, bercorak polos, bertekstur kasar, memiliki arah serat lurus, agak mengkilap, agak licin, dan agak keras
- *S. horsfieldii*: putih, bercorak samar, bertekstur agak kasar, memiliki arah serat lurus, agak mengkilap, licin, dan keras
- *S. kolskii*: putih keabuan, bercorak samar, bertekstur agak kasar, memiliki arah serat lurus, agak mengkilap, licin, dan keras
- *S. burahol*: putih, bercorak samar, bertekstur kasar, memiliki arah serat lurus, dan agak licin.
- *Trivalvaria* sp.: putih keabuan, bercorak samar, bertekstur kasar, memiliki arah serat lurus, tidak mengkilap, agak licin, dan keras.

Jenis kayu yang cocok dijadikan sebagai bahan baku industri kerajinan dan kreatif adalah *A. muricata*, *S. horsfieldii*, *S. kolskii* karena memiliki warna kayu yang terang dan agak terang, yaitu dari putih hingga putih keabuan, bertekstur agak kasar, dan memiliki arah serat lurus. Hal ini berdasarkan kriteria sifat dasar kayu sebagai bahan baku industri kerajinan maupun industri kreatif menurut Pandit *et al.* (2011) yaitu diantaranya kayu berwarna terang, bertekstur halus sampai moderat atau agak kasar, dan memiliki arah serat lurus.

Jenis kayu yang berpotensi menjadi alat mebel adalah *A. muricata*, *G. giganteus*, dan *S. burahol* karena agak lunak sampai agak keras, sedangkan kayu yang berpotensi menjadi bahan bangunan adalah *S. horsfieldii*, *S. kolskii*, dan *Trivalvaria* sp. karena kayu bersifat keras. Menurut Seng (1990), jenis kayu *A. muricata*, *G. giganteus*, *S. burahol*, *S. horsfieldii*, *S. kolskii*, dan *Trivalvaria* sp. berturut-turut memiliki kerapatan (BJ) 0,36, 0,47, 0,69, 0,76, 0,86, dan 0,74. Kayu dengan kekerasan moderat atau agak lunak sampai agak keras cocok sebagai alat mebel, sementara kayu dengan kekerasan keras sampai sangat keras cocok untuk menjadi bahan bangunan (Lempang 2016).

Ciri umum lima marga anggota suku Annonaceae yang diamati sesuai dengan ciri umum jenis-jenis kayu dari anggota suku Annonaceae lainnya yang sudah diperdagangkan, yaitu kayu kenanga (*Cananga odorata*) dan kayu tepis (*Polyalthia glauca*). Kayu kenanga memiliki ciri umum berupa: berwarna putih hingga putih keabuan, bercorak polos, bertekstur kasar, arah serat lurus, agak mengkilap, dan sangat lunak sehingga dapat dimanfaatkan sebagai cetakan beton, peti pembungkus, barang kerajinan, dan bahan pembuatan pulp kertas. Kayu tepis memiliki ciri umum berupa: berwarna putih kekuningan, bercorak polos, bertekstur agak kasar, arah serat lurus, agak mengkilap, dan agak lunak sehingga dapat dimanfaatkan sebagai mebel, dayung, barang kerajinan, mainan anak, *molding*, kayu lapis, dan bahan pembuatan pulp kertas (P3HH 2008).

Ciri anatomi kayu

Secara umum semua anggota suku Annonaceae yang diamati memiliki ciri anatomi berupa pengelompokan pembuluh bertipe ganda radial 2-4,

bidang perforasi bertipe sederhana, susunan ceruk bertipe selang-seling, tidak terlihat tilosis pada pembuluh, serat dijumpai tanpa sekat, batas lingkaran tumbuh tidak jelas, susunan pembuluh bertipe baur, sebaran pembuluh bertipe pola radial, dan tidak memiliki outline pembuluh soliter yang bersudut. Perbandingan ciri anatomi dari masing-masing jenis kayu adalah sebagai berikut:

- *A. muricata* (Gambar 1)

Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 76-97 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 65,57% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling; terdapat endapan hitam. Parenkim: apotrakeal tersebar dan paratrakeal vasisentrik. Serat: serat dijumpai tanpa sekat, berdinding tipis sampai tebal, rata-rata panjang 1056-1202 μm . Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; sel baring dengan satu jalur sel tegak atau sel bujur sangkar; lebar 1-3 dan 4-10 seri (sel).

- *A. Palustris* (Gambar 2)

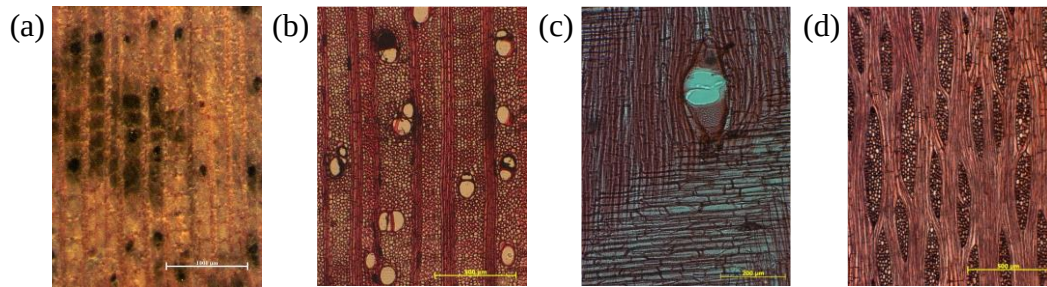
Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 124-159 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 83,33% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling. Parenkim: apotrakeal tersebar dan paratrakeal vasisentrik. Serat: serat dijumpai tanpa sekat, berdinding tipis sampai tebal, rata-rata panjang 1469-1596 μm . Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; lebar 1-3 dan 4-10 seri (sel).

- *G. giganteus* (Gambar 3)

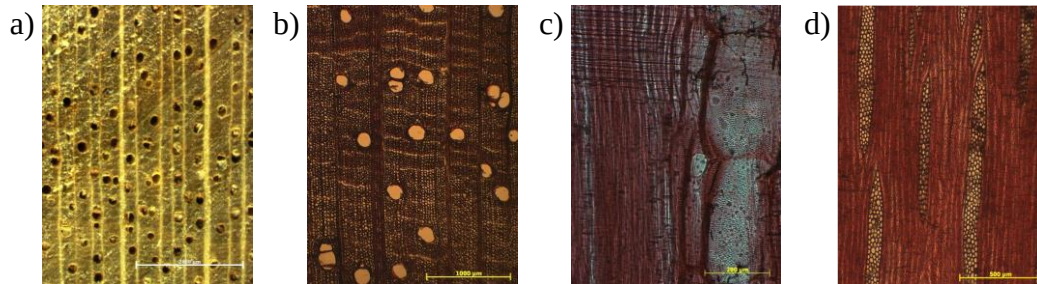
Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 88-113 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 59,09% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling. Parenkim: pita bentuk tangga, apotrakeal tersebar dalam kelompok dan paratrakeal jarang. Serat: serat dijumpai tanpa sekat,

berdinding tipis sampai tebal (sesuai petunjuk IAWA), rata-rata panjang 1275-1406 μm . Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; sel baring dengan satu jalur sel tegak atau sel bujur sangkar; sel baring,

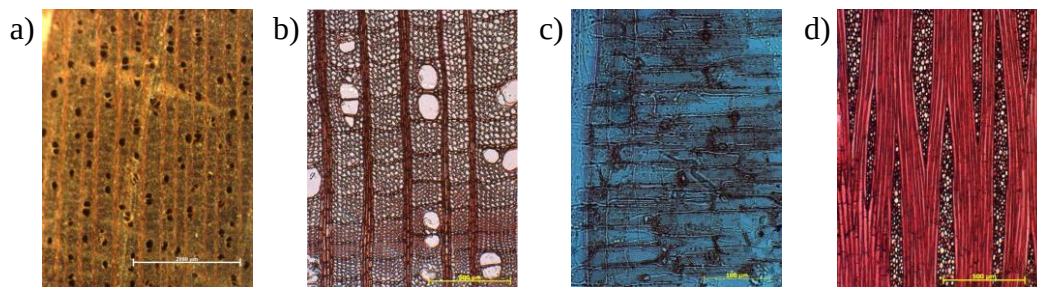
sel bujur sangkar, dan sel tegak bercampur; lebar 1-3 dan 4-10 seri (sel). Inklusi mineral: kristal prismatic dijumpai dalam sel tegak dan sel baring (Gambar 4).



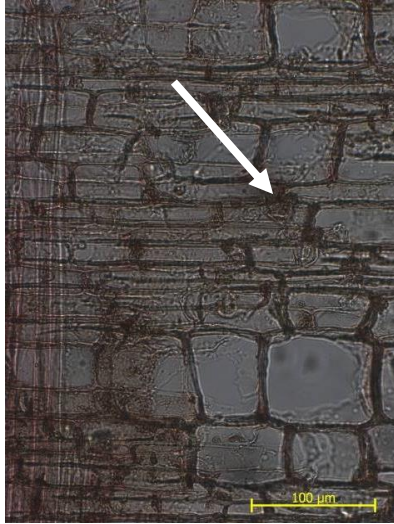
Gambar 1 *Annona muricata*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 2 *Annona palustris*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 3 *Goniothalamus giganteus*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 4 Kristal prismatic pada sel jari-jari *Goniothalamus giganteus*.

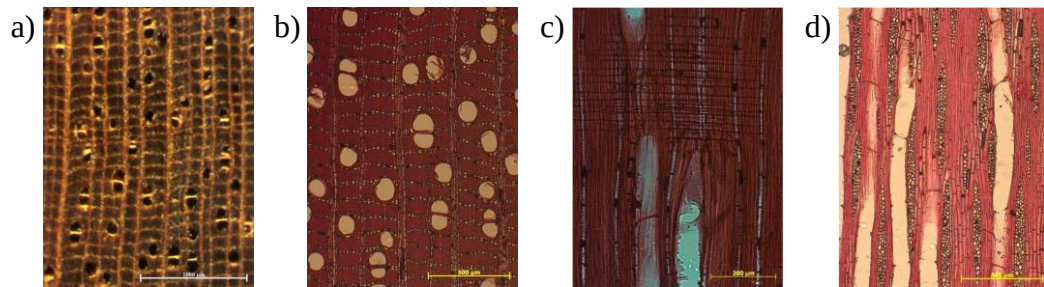
- *S. horsfieldii* (Gambar 5)

Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 76-95 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 74,01% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling. Parenkim: pita bentuk jala dan tangga, apotrakeal tersebar dalam kelompok dan paratrakeal

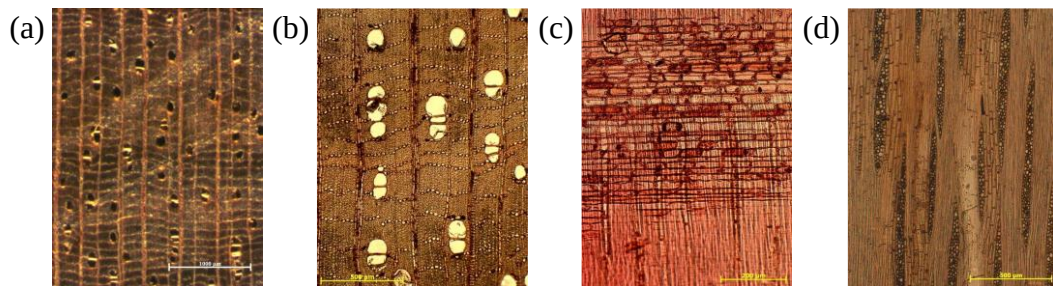
jarang. Serat: serat dijumpai tanpa sekat, berdinding sangat tebal. Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; sel baring dengan satu dan dua sampai empat jalur sel tegak atau sel bujur sangkar; sel baring, sel bujur sangkar, dan sel tegak bercampur; lebar 1-3 dan 4-10 seri (sel).

- *S. kolskii* (Gambar 6)

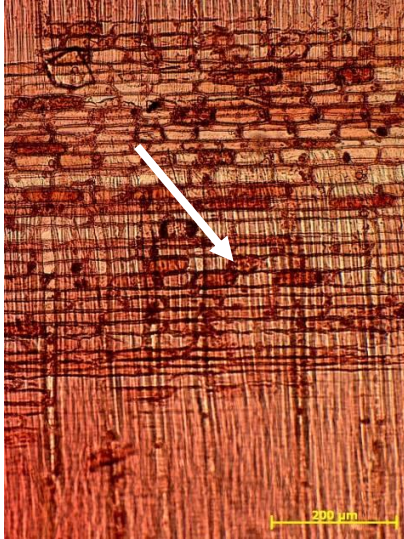
Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 89-110 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 43,18% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling. Parenkim: pita bentuk jala dan tangga, apotrakeal tersebar dalam kelompok dan paratrakeal jarang. Serat: serat dijumpai tanpa sekat, berdinding sangat tebal. Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; seluruhnya sel bujur sangkar atau sel tegak; sel baring dengan satu/dua hingga empat jalur sel tegak/sel bujur sangkar; lebar 1-3 dan 4-10 seri (sel). Inklusi mineral: butir silika dijumpai dalam sel jari-jari dan parenkim aksial (Gambar 7).



Gambar 5 *Saccopetalum horsfieldii*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 6 *Saccopetalum kolskii*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 7 Butir silika pada sel jari-jari *Saccopetalum kolskii*.

- *S. Burahol* (Gambar 8)

Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 76-98 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 46,15% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling; terdapat endapan. Parenkim: pita bentuk tangga, apotrakeal tersebar dalam kelompok dan paratrakeal jarang. Serat: serat dijumpai tanpa sekat, berdinding sangat tebal. Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; seluruhnya sel baring atau sel tegak; sel baring dengan satu dan dua sampai empat jalur sel tegak/sel bujur sangkar; sel baring, sel bujur sangkar, dan sel tegak bercampur; lebar 1-3, 4-10, dan >10 seri (sel).

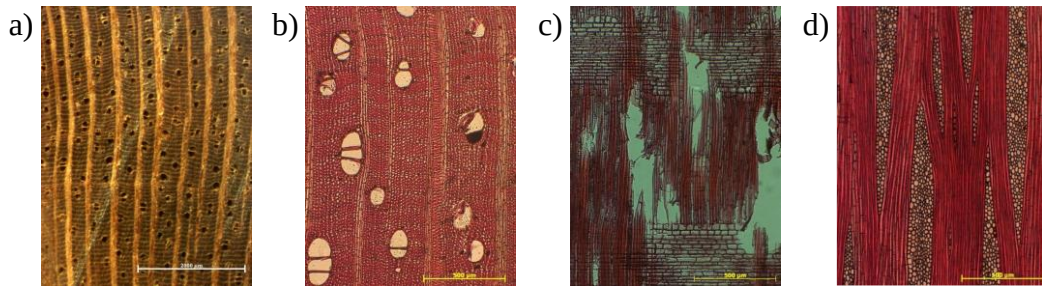
- *Trialvaria* sp. (Gambar 9)

Lingkar tumbuh: tidak jelas. Pembuluh: susunan baur, diameter 51-66 μm , berkelompok ganda radial 2-4, 38,77% soliter; bidang perforasi sederhana; susunan ceruk selang-seling. Parenkim: pita bentuk tangga, apotrakeal tersebar dalam kelompok dan paratrakeal jarang. Serat: tanpa sekat, berdinding tipis sampai

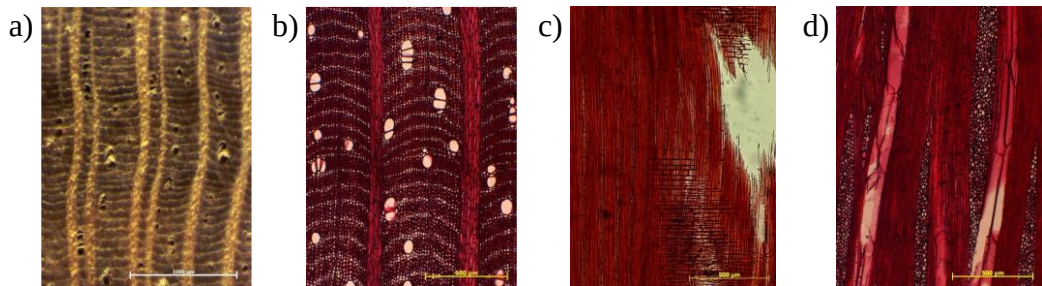
tebal, rata-rata panjang 1344-1478 μm . Jari-jari: terdiri atas seluruhnya sel baring; sel baring dengan satu jalur sel tegak atau sel bujur sangkar; lebar 1-3, 4-10, dan >10 seri (sel).

Berdasarkan penjabaran tentang ciri anatomi lima marga kelompok kayu sangat kurang dikenal anggota suku Annonaceae ini diketahui bahwa *A. muricata* dengan *A. palustris* dapat dibedakan dari keberadaan endapan berwarna gelap dan ukuran sel-sel penyusunnya. *A. palustris* tidak memiliki endapan seperti yang terdapat pada *A. muricata*, selain itu *A. palustris* memiliki ukuran sel pembuluh (pori) yang lebih besar (124-159 μm). *S. horsfieldii* dengan *S. kolskii* dapat dibedakan melalui komposisi penyusun sel jari-jarinya dan keberadaan butir silika yang hanya terdapat pada *S. kolskii* (lihat gambar pada bidang radial). Marga *Stelechocarpus* cenderung berbeda dengan marga lainnya dalam suku Annonaceae yang diamati karena selain memiliki endapan berwarna gelap dan memiliki ukuran lebar jari-jari yang besar hingga >10 seri. Marga *Goniothalamus* juga memiliki ciri khas yaitu keberadaan kristal prismatic dalam sel tegak dan sel baringnya.

Secara umum hasil pengamatan ciri anatomi anggota suku Annonaceae yang diamati sesuai dengan anggota suku Annonaceae lainnya yang pernah diteliti. *Annona squamosa*, *Annona cariacea*, dan *Goniothalamus grandifolius* memiliki pengelompokan pembuluh bertipe ganda radial 2-4, berbidang perforasi tipe sederhana, susunan ceruk antar pembuluh bertipe selang-seling, tidak terdapat tilosis, serat tidak bersekat, batas lingkaran tumbuh tidak jelas, susunan pembuluh bertipe baur, dan outline pembuluh soliter tidak bersudut (Insidewood 2017).



Gambar 8 *Stelechocarpus burahol*; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.



Gambar 9 *Trivalvaria* sp.; a) makroskopis, b) lintang, c) radial, d) tangensial.

Menurut Koek-Noorman & Westra (2012), suku Annonaceae dikenal memiliki ciri yang khas, yaitu susunan pembuluh baur dan penyebarannya berpola radial, bidang perforasi sederhana, susunan ceruk antar pembuluh selang-seling, sebagian besar ukurannya kecil atau sangat kecil, sel jari-jari berukuran lebar dan multiseriat, serta pita parenkim aksial berukuran sempit yang terlihat jelas pada penampang lintang. Ciri-ciri tersebut sesuai dengan ciri anggota suku Annonaceae yang diamati.

Kesesuaian ciri anatomi antara anggota suku Annonaceae yang diamati dengan suku Annonaceae lainnya yang pernah diteliti semakin diperkuat oleh Olatunji (2014). Menurut Olatunji (2014) karakteristik kayu dari Annonaceae memiliki batas lingkaran tumbuh dari yang jelas sampai tidak jelas, susunan pembuluh baur, pembuluh seluruhnya soliter pada beberapa spesies dan didominasi pembuluh soliter pada spesies lainnya. Umumnya terdapat ceruk antar pembuluh berhadapan hingga selang-seling pada jenis kayu dengan bidang perforasi sederhana serta ceruk antar

pembuluh berhalaman jelas, berhadapan, hingga bentuk tangga. Seringkali dijumpai dinding serat tipis sampai tebal. Bahkan ciri anatomi pada fosil kayu Annonaceae menunjukkan bahwa Annonaceae mempunyai karakteristik khusus berupa bidang perforasi sederhana, parenkim aksial apotrakeal berbentuk jala, dan sel jari-jari multiseriat (Soares *et al.* 2017).

Menurut Olatunji (2014), *A. muricata* memiliki ciri anatomi berupa batas lingkaran tumbuh tidak jelas, susunan pembuluh baur, didominasi pembuluh soliter, sel jari-jari lebar dan multiseriat, sel jari-jari terdiri atas sel tegak dan sel baring. Ciri tersebut sesuai dengan ciri anatomi pada jenis yang diamati. Jenis *A. muricata* yang diamati didominasi oleh pembuluh soliter meskipun jumlah persentasenya tidak mencapai 90%, pengelompokan pembuluhnya bertipe ganda radial 2-4; memiliki lebar jari-jari 1-3 dan 4-10 seri, komposisi sel jari-jari terdiri atas seluruhnya sel baring serta sel baring dengan satu jalur sel tegak atau sel bujur sangkar.

Kualitas serat

Menurut hasil perhitungan nilai turunan dimensi dari serat kayu yang diamati (Tabel 2), marga *Annona*, *Goniiothalamus*, *Stelechocarpus*, dan *Trivalvaria* sp. termasuk ke dalam kayu kelas kualitas II (Tabel 3). Marga *Saccopetalum* tidak termasuk ke dalam tiga kelas kriteria serat kayu untuk bahan pulp dan kertas. Hal ini dikarenakan hasil nilai turunan bilangan Runkel dan perbandingan Muhlsteph jenis kayu dari marga *Saccopetalum* terlalu tinggi, yaitu >1.00 untuk bilangan Runkel dan >80.00 untuk perbandingan Muhlsteph. Hal ini menunjukkan bahwa serat kayu berinding sangat tebal sehingga kaku dan tidak cocok untuk dijadikan bahan

baku pulp dan kertas. Kayu dengan kelas kualitas II merupakan jenis kayu yang memiliki berat agak ringan sampai sedang, mempunyai dinding sel tipis sampai sedang, dan berdiameter lumen agak lebar. Jenis ini memiliki daya tenun yang baik dan mampu menghasilkan lembaran kertas dengan keteguhan sobek, pecah, dan tarik yang sedang (Rachman & Siagian 1976).

Kesimpulan

Ciri umum jenis kayu anggota suku Annonaceae adalah berwarna putih sampai putih keabuan, bercorak polos dan samar, bertekstur agak kasar sampai kasar, memiliki arah serat lurus, kesan kilap beragam (tidak kilap, agak kilap,

Tabel 2 Nilai turunan dimensi dan kualitas serat 5 marga kayu kurang dikenal anggota suku Annonaceae

Jenis kayu	PS		BR		DT		F		KK		PM		Nilai/ Kelas
	N _h	N _k	N _h	N _k	N _h	N _k	N _h	N _k	N _h	N _k	N _h	N _k	
1. <i>Annona muricata</i> (4010)	1129,69	50	0,51	25	44,97	25	0,67	50	0,16	25	53,81	50	225/II
2. <i>Annona palustris</i> (31262)	1532,94	50	0,40	50	46,23	25	0,72	50	0,14	50	47,70	50	275/II
3. <i>Goniiothalamus giganteus</i> (3834)	1340,63	50	0,54	25	46,64	25	0,66	50	0,17	25	55,88	50	225/II
4. <i>Saccopetalum horfieldii</i> (2280)	1382,16	50	2,07	<25	84,06	50	0,35	25	0,33	25	87,30	<25	diluar kriteria
5. <i>Saccopetalum kolskii</i> (31849)	1506,78	50	1,88	<25	72,14	50	0,37	25	0,32	25	86,01	<25	diluar kriteria
6. <i>Stelechocarpus burahol</i> (10985)	1181,50	50	0,85	25	63,60	50	0,55	50	0,23	25	69,99	25	225/II
7. <i>Trivalvaria</i> sp. (11026)	1411,21	50	0,90	25	60,23	50	0,55	50	0,23	25	68,98	25	225/II

Keterangan: PS: panjang serat, BR: bilangan Runkel, DT: daya tenun, F: fleksibilitas, KK: koefisien kekakuan, dan PM: perbandingan Muhlsteph. N_h adalah nilai hasil perhitungan dimensi serat dan N_k adalah nilai kriteria berdasarkan Rachman dan Siagian (1976).

Tabel 3 Kriteria serat kayu Indonesia untuk bahan baku pulp dan kertas

Kriteria	Kelas I		Kelas II		Kelas III	
	Syarat	N _k	Syarat	N _k	Syarat	N _k
Panjang serat (µm)	>2000	100	1000-2000	50	<1000	25
Bilangan Runkel	<0,25	100	0,25-0,50	50	0,50-1,00	25
Daya tenun	>90	100	50-90	50	<50	25
Fleksibilitas	>0,80	100	0,50-0,80	50	<0,50	25
Koefisien kekakuan	<0,10	100	0,10-0,15	50	>0,15	25
Perbandingan Muhlsteph	<30	100	30-60	50	60-80	25
Selang	450-600		225-449		<225	

Sumber: Rachman AN, Siagian RM (1976)

sampai mengkilap), kesan raba agak licin sampai licin, serta kekerasan bervariasi (lunak, agak lunak, agak keras, sampai keras). Ciri anatomi yang terdapat pada semua anggota suku Annonaceae yang diamati adalah batas lingkaran tumbuh tidak jelas, susunan pembuluh bertipe baur, sebaran pembuluh bertipe pola radial, outline pembuluh soliter tidak bersudut, pengelompokan pembuluh bertipe ganda radial 2-4, bidang perforasi sederhana, parenkim pita bentuk tangga dan jala, tersebar dalam kelompok, jarang, hingga vasisentrik, susunan ceruk antar pembuluh bertipe selang-seling, tilosis tidak dijumpai, serta serat tidak bersekat. Endapan berwarna gelap dijumpai pada

jenis kayu *A. muricata*, *G. giganteus*, dan *S. burahol*. Inklusi mineral berupa kristal prisma dijumpai pada jenis kayu *G. giganteus*, sedangkan butir silika dijumpai pada jenis kayu *S. kolskii*. Jenis kayu yang dapat dijadikan bahan baku pulp dan kertas dengan kualitas sedang (kualitas II) adalah jenis kayu *A. muricata*, *A. palustris*, *G. giganteus*, *S. burahol*, dan *Trivalvaria* sp.

Daftar Pustaka

- Biba VS, Amily A, Sangeetha S, Remani P. 2014. Anticancer, antioxidant, and antimicrobial activity of Annonaceae family. *World J Pharm Pharm Sci* 3(3): 1595-1604.
- Focho DA, Egbe EA, Chuyong GB, Fongod AGN, Fonge BA, Ndam WT, Youssoufa BM. 2010. An ethnobotanical investigation of the annonaceae on Mount Cameroon. *J Med Plants Res* 4(20): 2148-2158.
- [InsideWood]. 2017. The InsideWood Working Group. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search?5> [2017 Agustus 20].
- Koek-Noorman J, Westra LYT. 2012. Macrophotographic wood atlas of Annonaceae. *Bot J Linnean Soc* 169: 135-189.
- Lempang M. 2016. Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu saling-saling. *JPKW* 5(1): 79-90.
- Mandang YI, Pandit IKN. 1997. *Pedoman Identifikasi Jenis Kayu di Lapangan*. Bogor (ID): PROSEA.
- Mattjik AA, Sumertajaya M. 2002. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid I*. Bogor: IPB Press.
- Olatunji OA. 2014. Wood anatomy in several genera of Nigerian Annonaceae. *Not Sci Biol* 6(1): 125-130.
- Seng OD. 1990. *Pengumuman: Berat Jenis dari Jenis-Jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek*. Soewarsono, editors. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Departemen Kehutanan.
- Pandit IKN, Nandika D, Darmawan IW. 2011. Analisis sifat dasar kayu hasil hutan tanaman rakyat. *JUPI* 16(2): 119-124.
- [P3HH] Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. 2008. *Petunjuk Praktis Sifat-Sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia*. Jakarta: ISWA.
- Rachman AN, Siagian RM. 1976. *Dimensi Serat Jenis Kayu Indonesia*. Bogor: LPHH.
- Rulliaty S. 1994. Wood quality indicators as estimator of juvenile wood in mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) from plantation in Sukabumi, West Java, Indonesia [Tesis]. Los Baños: Univ Philippines Los Baños.

- Sass JE. 1961. *Botanical Microtechnique*. New York (US): IOWA State Univ Press.
- Soares EAA, Kloster AC, Gnaedinger SC, Riker SR, Da Cruz Lima FJ, Motta MB. 2017. First record of Annonaceae wood for the Neogene of South America, Amazon Basin, Brazil. *Braz J Geol* 47(1): 95-108.
- Wheeler EA, Baas P, Gasson PE. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull* 10(3): 219-332.

**Pengaruh Ukuran Partikel Bahan Baku terhadap Kualitas Pelet
Ranting Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) dari Limbah
Pakan Ternak Kambing
(Effect of the Raw Materials Particle Size on the Quality of Kaliandra
(*Calliandra calothyrsus*) Twig Pellets from Goat Fodder Waste)**

Ahmad Harun Hidyatullah¹, J.P. Gentur Sutapa^{2*}, Tomy Listyanto²

¹Mahasiswa Pasca Sarjana Ilmu Kehutanan, Yogyakarta

²Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada,
Jogjakarta, 55281

*Korespondensi: jpgentursutapa@ugm.ac.id

Abstract

Feeding goats with calliandra leaves resulted in calliandra twigs waste that had not been used optimally. This study aims to determine the utilization of calliandra twig waste as raw material for pellets as renewable energy. This study was designed to assess the effect of various particle sizes of raw materials on the quality of calliandra twig waste pellets. The particle sizes of the materials used are 20-40 mesh, 40-60 mesh, and 60-80 mesh. The process of producing pellets uses a compression pressure of 70kg/cm². The quality of the pellets observed were as follows: specific gravity and proximate properties (moisture content, ash content, volatile matter, and bound carbon) and calorific value. The results showed that the best calliandra twig waste pellets were produced from a 60-80 mesh particle size with a compression pressure of 70 kg/cm². The producing pellets have quality specifications: specific gravity of 1.086; water content of 10.12%; volatile matter content of 82.50%; ash content of 1.21%; bonded carbon of 16.25%; and calorific value of 4617.20 cal/g. The results of this study indicate that the calliandra twig waste pellets have met the pellet quality standards according to SNI 8021-2014 and DIN 51731. This study concludes that the development of calliandra twig waste on goat farms can be used as raw material for pellets as a quality renewable energy source.

Keywords: Calliandra, calorific value, particle size, pellet

Abstrak

Pemberian pakan kambing dengan daun kaliandra menyisakan limbah ranting kaliandra yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan limbah ranting kaliandra sebagai bahan baku pelet untuk energi terbarukan. Penelitian dirancang untuk mengetahui pengaruh berbagai ukuran partikel bahan baku pada kualitas pelet limbah ranting kaliandra (*Calliandra calothyrsus*). Ukuran partikel bahan yang digunakan adalah 20-40 *mesh*, 40-60 *mesh*, dan 60-80 *mesh*. Proses pembuatan pelet menggunakan tekanan kempa 70 kg/cm². Kualitas pelet yang diamati adalah sebagai berikut: berat jenis dan sifat proksimat (kadar air, kadar abu, zat mudah menguap, dan karbon terikat) serta nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan pelet limbah ranting kaliandra terbaik dihasilkan dari ukuran partikel 60-80 *mesh* dengan pemberian tekanan kempa 70 kg/cm². Pelet yang dihasilkan mempunyai spesifikasi kualitas sebagai berikut nilai berat jenis 1,086; kadar air 10,12%; kadar zat mudah menguap 82,50%; kadar abu 1,21%; karbon terikat 16,25%; dan nilai kalor 4617,20 kal/g. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pelet limbah ranting kaliandra telah memenuhi standar kualitas pelet menurut SNI 8021-2014 dan DIN 51731. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengembangan limbah ranting kaliandra pada peternakan kambing bisa digunakan sebagai bahan baku pelet sebagai sumber energi terbarukan yang berkualitas.

Kata kunci: Kaliandra, nilai kalor, ukuran partikel, pelet

Pendahuluan

Tanaman kaliandra merupakan salah satu pakan ternak kambing, hewan ternak memakan daun dan ranting kecil (bagian yang bisa dimakan), sehingga sebagian yang dapat dimakan mencapai 50-60% dari biomassa total (Stewart dkk., 2001). Bagian yang tidak bisa dimakan kambing berupa ranting-ranting kayu kaliandra yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan limbah ranting kayu kaliandra sebagai bahan baku pelet untuk energi terbarukan. Asal mula tanaman kaliandra dari Meksiko, Amerika Tengah, masuk ke Indonesia pada tahun 1936 lewat pulau Jawa (Stewart dkk., 2001). Tanaman kaliandra yang masuk ke pulau Jawa berasal dari Guatemala selatan yaitu spesies *Caliandra calothyrsus* berbunga merah dan *Caliandra tetragona* berbunga putih, *Caliandra calothyrsus* memiliki ketinggian tanaman sampai 12 m dengan diameter batang mencapai 20 cm (Stewart dkk., 2001). Pelet kayu memiliki beberapa keuntungan antara lain (1) pembakarannya lebih ekonomis dibandingkan batu bara (Qian., 2013), (2) kandungan energi lebih tinggi dibanding chip kayu, dan tidak memerlukan banyak ruang untuk penyimpanan (Li dan Liu, 2000).

Bahan baku pembuatan pelet yang ditumbuk halus menghasilkan pelet yang lebih padat dan lebih awet. Ukuran partikel yang lebih halus memberikan luas permukaan yang lebih besar, sehingga penyerapan panas pada pemadatan akan lebih baik untuk mengaktifkan sifat pengikat komponen kimia dalam biomasa (Carone dkk., 2011). Mani dkk. (2006) melaporkan bahwa semakin kecil ukuran partikel dan semakin tinggi tekanan kempa, maka kerapatan pelet kayu yang dihasilkan lebih tinggi. Berdasarkan pertimbangan-

pertimbangan penelitian terdahulu, maka penelitian ini menggunakan faktor ukuran partikel yang terdiri dari: (1) lolos 20 tertahan 40 *mesh* (0,42 mm); (2) lolos 40 tertahan 60 *mesh* (0,25 mm), dan (3) lolos 60 tertahan 80 *mesh* (0,18 mm) dan tekan kempa 70 kg/cm². Penelitian ini dirancang untuk mengetahui pengaruh berbagai ukuran partikel bahan baku pada kualitas pelet dari limbah ranting kaliandra (*Calliandra calothyrsus*).

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan baku ranting kayu kaliandra dari sisa pakan ternak kambing etawa milik anggota Kelompok Tani Pangestu di Kalurahan Girikerto, Kapanewon Turi, Kabupaten Sleman. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan percobaan faktorial satu faktor dengan 5 kali ulangan. Selanjutnya, dilakukan Uji lanjut Tukey HSD yang digunakan untuk melihat seberapa jauh perbedaan dari nilai rata-rata data pada hasil analisis yang berbeda nyata. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Januari 2022- April 2022. Bahan baku limbah ranting kayu kaliandra selanjutnya dibuat serpihan, kemudian dikering anginkan selama 7 hari. Setelah kering udara, serpihan dibuat menjadi serbuk menggunakan *grinder* mesin. Sampel serbuk ranting kaliandra disaring dengan ukuran (1) 20 *mesh* tertahan 40 *mesh*, (2) lolos 40 *mesh* tertahan 60 *mesh*, dan (3) lolos 60 *mesh* tertahan 80 *mesh*. Bahan baku serbuk kemudian dilakukan pengempaan dengan tekanan kempa 70 kg/cm², menggunakan alat *Single-pelletizer* dengan tenaga hidrolik. Lubang cetakan (*die*) berdiameter Ø 8 mm, dan tinggi 55 mm. Bagian *close-end* setinggi 10 mm, dan pendorong cetakan dengan panjang 100 mm. Hasil pencetakan pelet kayu yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam

plastik *ziplock* untuk selanjutnya dilakukan pengujian kualitas pelet kayu yaitu:

1. Pengujian sifat fisik

a. Kekuatan tekan

Pengujian kekuatan tekan mengikuti standar ASTM D4179-11 (*American Society for Testing and Materials*, 2011). Sampel pelet diletakkan diantara dua permukaan datar pada alat *Unit Testing Machine* (UTM), kemudian diberikan beban tekanan, dan gaya untuk menguji kekuatan pelet.

b. Berat jenis

Pengujian berat jenis mengikuti metode *British Standards* 373-1957(*British Standard House*, 1957).

2. Pengujian Proksimat

Pengujian proksimat pelet terdiri dari kadar air pelet diukur dengan mengikuti standar ASTM D1762-84 (2013), kadar zat mudah menguap

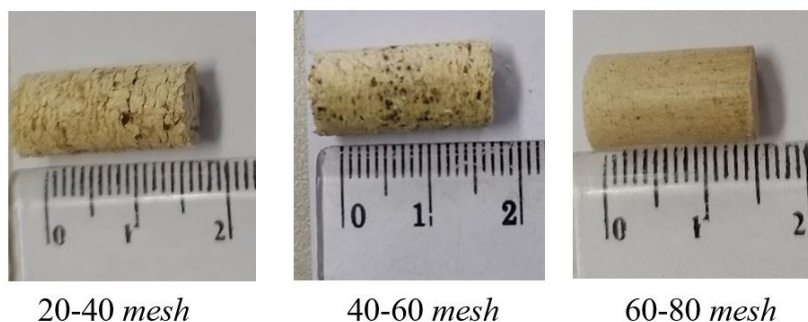
pelet mengikuti standar ASTM D1762-84 (2006), kadar abu pelet mengikuti standar ASTM D 1762-84 (2006) dan kadar karbon terikat pelet mengikuti standar ASTM D3172 (2013).

3. Pengujian Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan mengikuti standar ASTM D5865 (2010) menggunakan alat Oksigen bom kalorimeter merk *IKA* seri C200.

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan pelet kayu dari limbah ranting kaliandra dilakukan dengan menggunakan ukuran partikel bahan baku 20 *mesh* tertahan 40 *mesh*, (2) lolos 40 *mesh* tertahan 60 *mesh*, dan (3) lolos 60 *mesh* tertahan 80 *mesh* dan tekanan kempa 70kg/cm² dengan 5 kali ulangan. Hasil sampel pelet disajikan pada Gambar 1 dan hasil pengujian kualitas pelet disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1 Pelet kayu limbah ranting kaliandra

Tabel 1 Hasil rata-rata pengujian kualitas pelet kayu limbah ranting kaliandra dari 5 ulangan

Sampel	Sifat Kimia				Sifat Fisika		
	KA (%)	Kadar zat Mudah Menguap (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)	Berat Jenis	Kekuatan Tekan (N/mm ²)
20-40 <i>mesh</i>	10,03	83,08	0,64	15,66	4522,20	1,06	317,29
40-60 <i>mesh</i>	9,16	84,44	0,74	14,22	4549,60	1,08	351,88
60-80 <i>mesh</i>	10,12	82,50	1,21	16,29	4617,20	1,09	525,47

Tabel 2 Analisis keragaman beberapa parameter kualitas pelet dari limbah ranting kayu kaliandra

Parameter	Uji Anova
Kadar Air (%)	**
Kadar Abu (%)	**
Kadar Zat Mudah Menguap (%)	*
Kadar Karbon Terikat (%)	Ns
Kekuatan Tekan (N/mm ²)	**
Berat Jenis	Ns
Nilai Kalor (kal/g)	**

Keterangan: ** : Berpengaruh nyata pada taraf 1%
 * : Berpengaruh nyata pada taraf 5%
 Ns : Tidak berpengaruh nyata

Selanjutnya dari analisis lebih lanjut diperoleh perbedaan sangat nyata untuk beberapa parameter kualitas pelet kayu dari limbah ranting kayu kaliandra ditunjukkan pada Tabel 2.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata taraf uji 1% pada faktor perlakuan ukuran partikel, bahan terhadap parameter kualitas kekuatan tekan (N/mm²), kadar air (%), kadar abu (%), nilai kalor pelet, dan berpengaruh nyata pada taraf uji 5% terhadap parameter kadar zat mudah terbang (%) yang kemudian diuji lanjut dengan uji Tukey HSD.

Kekuatan Tekan

Data pada Tabel 1 nilai kekuatan tekan radial pelet kayu dari limbah ranting kaliandra berkisar antara 317,29 - 525,47 N/mm². Kekuatan tekan radial pelet kayu kaliandra tertinggi dihasilkan dari pelet dengan ukuran partikel bahan baku 60-80 *mesh*. Hasil penelitian menunjukkan semakin kecil ukuran partikel bahan baku kekuatan tekan pelet dari limbah ranting kayu kaliandra meningkat. Gambar 2 menunjukkan peningkatan kekuatan tekan sebesar 65,61% terjadi pada pelet kayu dari limbah ranting kayu kaliandra dengan ukuran partikel bahan baku 20-40 *mesh* ke 60-80 *mesh*. Ukuran partikel

bahan baku memainkan peran utama dalam kualitas pelet kayu dari limbah ranting kayu kaliandra terutama pada kekuatan mekanik. Hal ini sesuai dengan penelitian Nguyen dkk, (2015) bahwa pelet yang menggunakan ukuran partikel bahan baku yang lebih kecil akan memberikan kekuatan yang jauh lebih besar. Ukuran partikel yang besar dapat mengakibatkan celah dan retakan ketika proses produksi pelet sehingga mengurangi kekuatan pelet kayu (Kaliyan dan Morey, 2008). Selama proses pemadatan, lapisan pertama partikel bahan baku berinteraksi dengan lapisan kedua partikel bahan baku dengan mendorong satu sama lain dan mengisi ruang kosong antar partikel kemudian lapisan partikel lainnya terus bergerak dan menumpuk sehingga partikel saling berikatan satu sama lain (Harun dan Afzal, 2016).

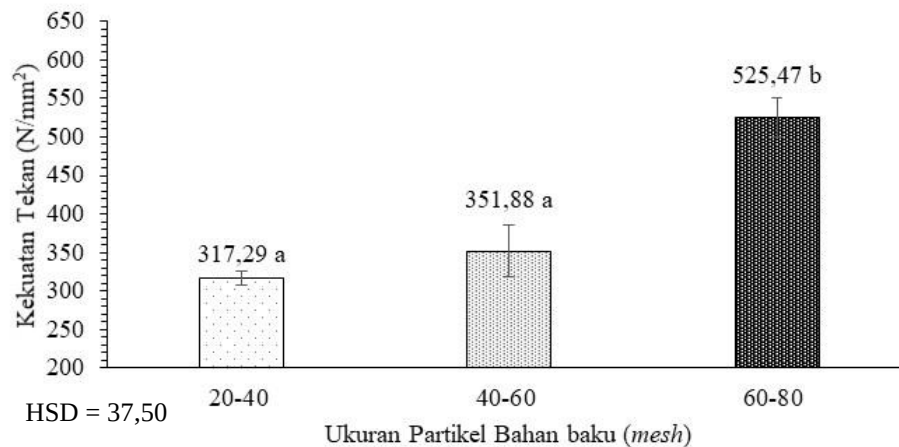
Proksimat

a. Kadar Air

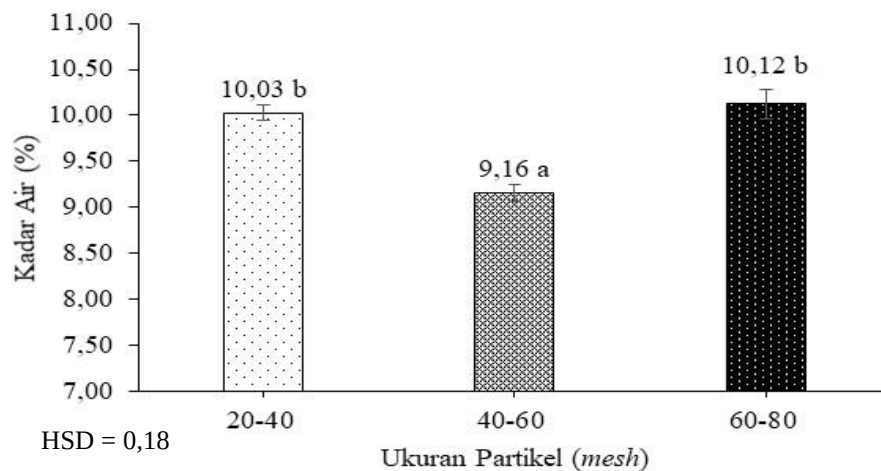
Pada Tabel 1 nilai kadar air pelet dari limbah ranting kaliandra berkisar antara 9,16 - 10,12%. Hal ini diduga karena semakin kecil ukuran partikel bahan baku yang digunakan, maka kadar air pelet dari limbah ranting kaliandra yang dihasilkan semakin

meningkat sehingga kadar air tertinggi terdapat pada ukuran partikel bahan baku yang paling kecil. Gambar 3 menunjukkan peningkatan kadar air pelet kayu dari limbah ranting kaliandra secara signifikan sebesar 10,48% terjadi dari ukuran partikel bahan baku 40-60 *mesh* mm ke 40-80 *mesh*. Hal ini disebabkan ukuran partikel bahan baku yang semakin

halus memberikan luas permukaan yang lebih besar, sehingga penyerapan kelembaban akan semakin mudah jika dibandingkan dengan ukuran partikel bahan baku lebih besar (Carone dkk., 2011). Nilai kadar air pelet dari limbah ranting kaliandra terbaik pada ukuran partikel 80-60 *mesh* sebesar 10,12% memenuhi standar SNI (<12%) dan DIN 51731(<12%).



Gambar 2 Diagram Rata-Rata Kekuatan Tekan Radial (N/mm²) Pelet Kayu dari Limbah Ranting Kaliandra

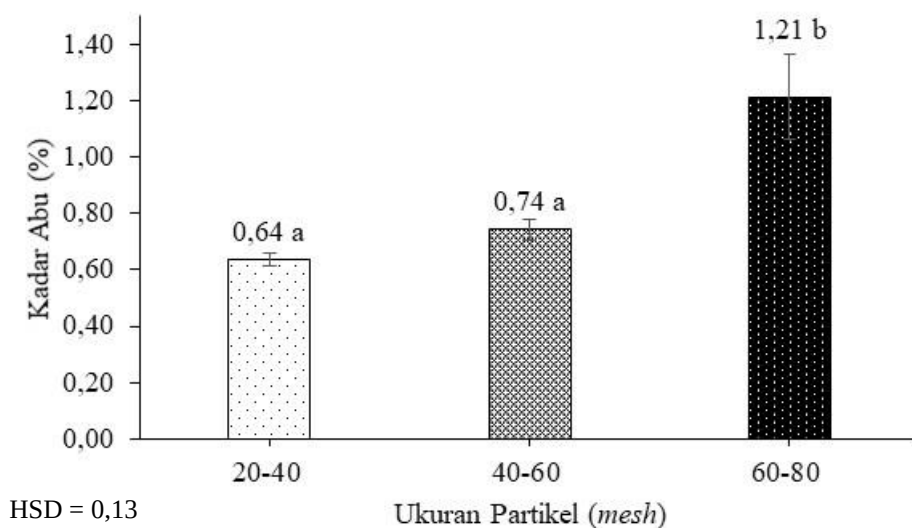


Gambar 3 Diagram Rata-Rata Kadar Air (%) Pelet Kayu dari Limbah Ranting Kaliandra

b. Kadar Abu

Hasil penelitian kadar abu pelet dari limbah ranting kaliandra berkisar antara 0,64-1,21%. Nilai kadar abu pelet dari limbah ranting kaliandra dengan ukuran bahan baku 20-40 *mesh* dan 40-60 *mesh* lebih rendah sedangkan pada ukuran bahan baku 60-80 *mesh* lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar abu pelet kaliandra yang dilakukan oleh Rahayu

dkk. (2020) sebesar 0,9%. Tinggi dan rendahnya kadar abu dipengaruhi oleh kandungan mineral bahan baku seperti N, P, K, Ca, Mg, dan S (Sari 2009). Sehingga semakin banyak mineral yang terkandung maka banyaknya abu yang dihasilkan semakin lebih besar. Jika dibandingkan dengan standar, maka nilai kadar abu dalam penelitian ini telah memenuhi standar SNI ($\leq 1,5\%$), dan DIN 51731($<1,5\%$).



Gambar 4 Diagram Rata-Rata Kadar Abu (%) Pelet Kayu dari Limbah Ranting Kaliandra

c. Kadar Zat Mudah Menguap

Hasil penelitian kadar zat mudah menguap pelet kayu dari limbah ranting kaliandra berkisar antara 82,50-83,08%. Berdasarkan hasil uji Tukey kadar zat mudah menguap pelet dari limbah ranting kaliandra pada ukuran partikel bahan baku 40-60 *mesh* dan 60-80 *mesh* mengalami penurunan yang nyata (Gambar 5). Hal ini berarti bahwa faktor ukuran partikel dalam penelitian ini memiliki pengaruh pada karakteristik kadar zat mudah menguap pelet. Nilai kadar zat mudah menguap pelet dari limbah ranting kaliandra belum memenuhi

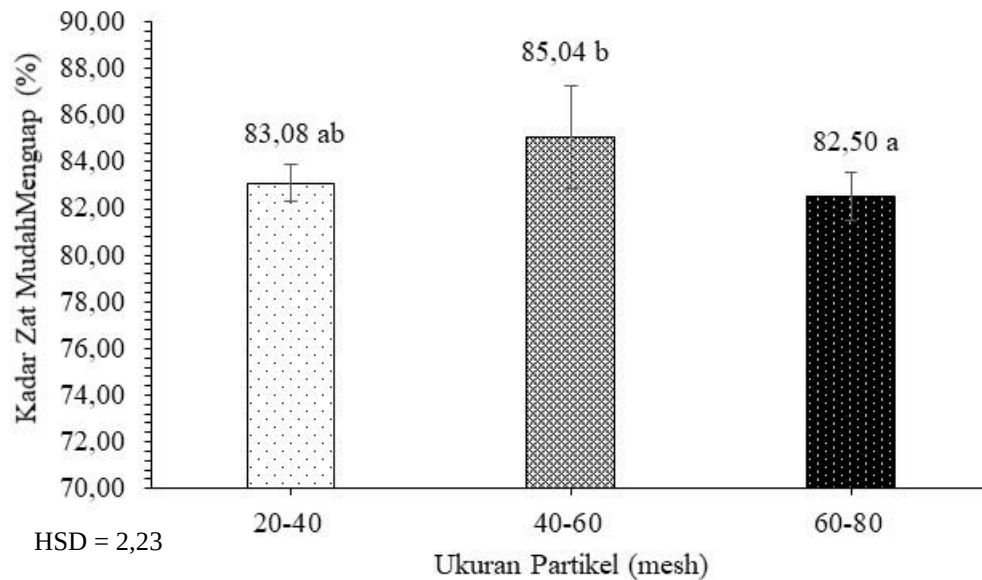
standar SNI ($\leq 80\%$). Kandungan zat mudah menguap pelet kayu yang tinggi berkisar antara 70% - 86% dari berat kering, maka memiliki keuntungan bersifat lebih reaktif ketika dibakar jika dibandingkan dengan batu bara yang kadar zat mudah menguapnya hanya sebesar 35% (Loo dan Koppejan, 2008).

Nilai Kalor

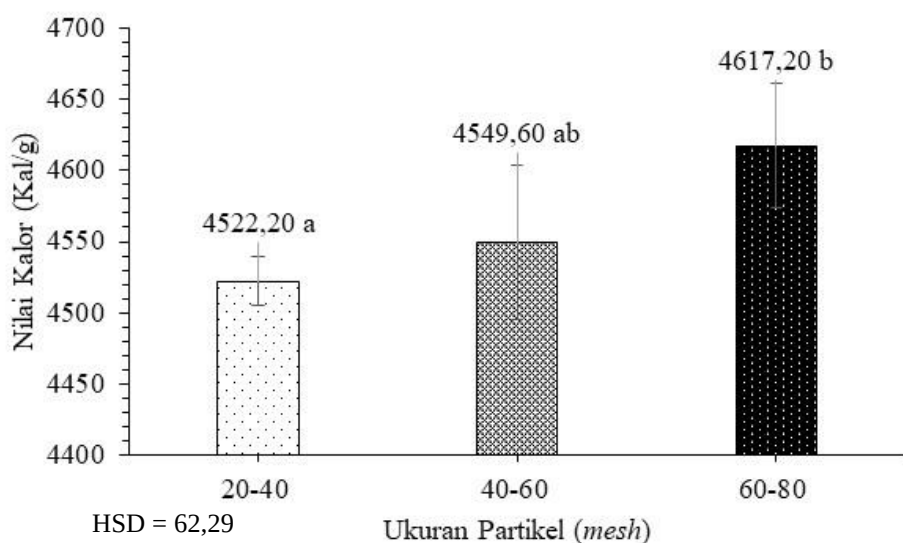
Data pada Tabel 1 nilai kalor pelet dari limbah ranting kaliandra berkisar antara 4522,20-4617,20 kal/g. Gambar 6 menunjukkan nilai kalor tertinggi dihasilkan pada pelet dari limbah ranting kayu kaliandra dengan ukuran partikel

bahan baku 60-80 mesh. Nilai kalor terbaik sebesar 4617,20 kal/g pada pelet dari limbah ranting kayu kaliandra nilainya lebih besar dibandingkan dengan nilai kalor pelet kaliandra Rahayu dkk. (2020), sebesar 4387,00 kal/g. Jika dibandingkan dengan standar SNI ($\geq$

4000 kal/g), ISO 18125 ($\geq 3940,96$ kal/g), IWPB ($\geq 3940,96$ kal/g), dan DIN 51731 (3705-4661kal/g), maka semua kombinasi pelet kayu dari limbah ranting kaliandra telah memenuhi standar tersebut.



Gambar 5 Diagram Rata-Rata Kadar Zat Mudah Menguap (%) Pelet Kayu dari Limbah Ranting Kaliandra.



Gambar 6 Diagram Nilai Kalor (kal/g) Pelet Kayu dari Limbah Ranting Kaliandra

Kesimpulan

Hasil penelitian dapat disimpulkan limbah ranting kaliandra pada peternakan kambing bisa digunakan sebagai bahan baku pelet sebagai sumber energi terbarukan yang berkualitas dengan nilai kalor sebesar 4617,20 kal/g yang telah memenuhi SNI 8675:2018I dan DIN 51731.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials. 2000. ASTM D2015-00: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. USA: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials. 2006b. ASTM D1762-84: Analysis of Wood Charcoal. USA: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials. 2013. ASTM D3172-13: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. USA: American Society for Testing and Materials.
- Badan Standarisasi Nasional. 2018. SNI 8675:2018, Pelet Kayu. Badan Standarisasi Nasional
- British Standard House. 1957. *British Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber No. 373*. London: British Standard House.
- Carone, M. T., Pantaleo, A., dan Pellerano, A. 2011. Influence of Process Parameters and Biomass Characteristics on The Durability of Pellets from The Pruning Residues of *Olea europaea* L. Biomass and Bioenergy (35): 402–410.
- International standard. 2014. ISO 17225-2, Solid biofuels Fuel Specifications and Classes Part 2: Graded wood pellets. ISO
- IWPB. 2012. Proposal for sustainability principles for woody biomass sourcing And trading. Initiative Wood Pellets Buyers (IWPB) Working Group on Sustainability, Linkebeek
- Li Y, Liu H. 2000. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. Biomass and Bioenergy; (19): 177–186.
- Loo, V. S., dan Koppejan, J. 2008. The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring. Earth- Scan/James & James, Oxford.
- Nguyen, Q. N., Cloutier, A., Achim, A., & Stevanovic, T. 2015. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. Biomass and Bioenergy, 80, 338–349.
- Qian Y. 2013. The wood pellet value chain: An economic analysis of the wood pellet supply chain from the Southeast United States to European Consumers. U.S. endowment for forestry and communities. http://www.usendowment.org/images/The_Wood_Pellet_Value_Chain_Revised_Final.pdf (diakses Febuari 2020)
- Rahayu, S., Hilyana, S., Suryani, E., Sari, N. H., & Ali, M. (2020, June). Analysis of Wood Pellet Quality from Calliandra Callothyrsus, Gliricida Sepium, and Sawdust as New and Renewable Energy. In Proceedings International Conference on Science and Technology (ICST) (Vol. 1).

Sari NK. 2009. Pembuatan bioetanol dari rumput gajah dengan destilasi batch. Jurnal Teknik Kimia Indonesia (3): 94-103.

Stewart, J., Mulawarman, J. M. Roshetko, dan M. H. Powell. 2001. Produksi dan Pemanfaatan Kaliandra (*Caliandra calothyrsus*). Winrock International and International Centre for Research in Agroforestry.

Analisis Kesehatan Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Jakarta Utara

(Analysis of Mangrove Health at Angke Kapuk Nature Tourism Park, North Jakarta)

Puteri Raysa Azzahra*, Elham Sumarga, Arni Sholihah
Program Studi Rekayasa Kehutanan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut
Teknologi Bandung

*Penulis korespondensi: puteriraysa09@gmail.com

Abstract

Indonesia has the largest mangrove ecosystem in the world. Mangrove ecosystems have important functions for land and sea areas. Optimizing the functions of the mangrove ecosystem depends on the health condition of the mangroves. Angke Kapuk Nature Tourism Park is a natural tourism park area that focuses on ecotourism and the conservation of mangrove ecosystems. This study aims to assess the health of mangroves based on the Mangrove Health Index (MHI) and the mangrove stand structure. The study was conducted by taking plots by purposive sampling, namely the determination of plots based on criteria for dense, medium, and rare canopy cover, which were analyzed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Thirty plots were taken, consisting of twelve rare plots, eleven medium plots, and seven dense plots. Mangrove health in Angke Kapuk Nature Tourism Park based on the MHI for rare and medium density classes is in the moderate category, and the dense density class is in the healthy category. Based on the stand structure, the health of mangroves in Angke Kapuk Nature Tourism Park for the rare density class is in the fair category, and the medium and dense density class is in a good category.

Keywords: Angke Kapuk Nature Tourism Park, mangrove health, Mangrove Health Index (MHI), stand structure

Abstrak

Indonesia memiliki luasan ekosistem mangrove terluas di dunia. Ekosistem mangrove memiliki fungsi, peran dan manfaat penting bagi kawasan daratan dan lautan. Optimalisasi dari fungsi-fungsi ekosistem mangrove bergantung pada kondisi kesehatan mangrove. Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWA AK) merupakan kawasan taman wisata alam yang berfokus pada ekowisata dan konservasi ekosistem mangrove. Penelitian ini bertujuan melakukan penilaian kesehatan mangrove berdasarkan Indeks Kesehatan Mangrove/*Mangrove Health Index* (MHI) dan struktur tegakan mangrove dilakukan di TWA AK. Penelitian dilakukan dengan pengambilan plot secara *purposive sampling* yaitu penentuan plot berdasarkan kriteria tutupan kanopi rapat, sedang, dan jarang yang di analisis menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Plot diambil sebanyak tiga puluh plot yang terdiri dari dua belas plot jarang, sebelas plot sedang, dan tujuh plot rapat. Nilai MHI merupakan kombinasi dari skor persentase tutupan kanopi, DBH dan jumlah pancang. Sedangkan struktur tegakan mangrove ditentukan berdasarkan parameter persentase tutupan kanopi, tinggi tegakan, DBH dan jumlah tegakan. Kesehatan mangrove di TWA AK berdasarkan MHI untuk kelas kerapatan jarang dan sedang masuk kategori sedang/*moderate* serta kelas kerapatan rapat masuk kategori sehat/*healthy*. Berdasarkan struktur tegakan, kesehatan mangrove di TWA AK untuk kelas kerapatan jarang masuk kategori sedang/cukup baik/*fair* serta kelas kerapatan sedang dan rapat masuk kategori baik/*good*.

Kata kunci: Indeks Kesehatan Mangrove/*Mangrove Health Index* (MHI), kesehatan mangrove, struktur tegakan, Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWA AK)

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia, merupakan kawasan yang sangat baik untuk perkembangan komunitas mangrove. Indonesia memiliki luasan ekosistem mangrove terluas di dunia yaitu sekitar 3,2 juta hektar atau mencapai 22,6% dari luas hutan mangrove di dunia (Giri *et al.* 2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi komunitas mangrove di Indonesia sangat tinggi secara ekologi serta bermanfaat secara langsung maupun tidak langsung bagi masyarakat sekitar.

Ekosistem mangrove memiliki fungsi, peran dan manfaat penting bagi kawasan daratan dan lautan baik secara fisik, biologis, dan ekonomi. Optimalisasi dari fungsi-fungsi ekosistem mangrove dalam suatu kawasan bergantung pada kondisi kesehatan komunitas mangrove. Mangrove yang sehat dapat memberikan fungsi yang maksimal bagi lingkungan sekitar (Nurdiansah *et al.* 2018). Pengukuran kualitas kesehatan mangrove dapat dilakukan dengan analisis parameter struktur tegakan menggunakan kerapatan pohon, indeks keanekaragaman dan jumlah spesies (Prasetya dan Purwanti 2017). Selain menggunakan analisis parameter struktur tegakan, *Mangrove Health Index* (MHI) dapat menggambarkan kualitas komunitas mangrove dalam suatu ekosistem (Dharmawan *et al.* 2020).

Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) merupakan kawasan taman wisata alam yang berfokus pada ekowisata dan konservasi ekosistem mangrove yang memiliki luas 99,82 hektar. Pada tahun 1998 ekosistem mangrove di kawasan TWAAK 90% telah rusak parah dikarenakan aktivitas tambak ilegal. PT Murinda Karya Lestari

selaku pengelola telah melakukan kegiatan restorasi mangrove mulai dari tahun 2006, kurang lebih selama 16 tahun.

Kajian mengenai kondisi kesehatan mangrove sangat penting dilakukan sebagai indikator efektivitas pengelolaan kawasan TWAAK. Data kesehatan mangrove juga dapat digunakan sebagai *baseline* dalam memonitor dinamika kondisi ekosistem mangrove di masa yang akan datang. Penelitian ini bertujuan menganalisis kesehatan mangrove menggunakan Indeks Kesehatan Mangrove/*Mangrove Health Index* (MHI) dan struktur tegakan di TWAAK. Baik MHI maupun struktur tegakan melibatkan dua parameter penting pertumbuhan vegetasi mangrove yang merepresentasikan kondisi kesehatan mangrove, yaitu tutupan tajuk dan diameter pohon. Parameter lain yang dilibatkan dalam penentuan MHI adalah jumlah anakan, sedangkan penentuan kesehatan mangrove berdasarkan struktur tegakan melibatkan dua parameter tambahan, yaitu tinggi pohon dan kerapatan pohon. Secara umum parameter pertumbuhan pohon telah banyak digunakan sebagai indikator kesehatan mangrove dalam riset-riset sebelumnya (Schaduw 2021; Hai *et al.* 2022; Sugiana *et al.* 2022).

Bahan dan Metode

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan di TWAAK, Kelurahan Kamal Muara, Kecamatan Penjaringan, Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Secara Geografis TWAAK terletak pada 106°43' - 106°45' Bujur Timur dan 6°05' - 6°07' Lintang Selatan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan data lapangan dilakukan pada 7 Februari 2022 – 19 Februari 2022.



Gambar 1 Lokasi TWAAK

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan bahan yang digunakan beserta fungsinya dapat dilihat pada Tabel 2.

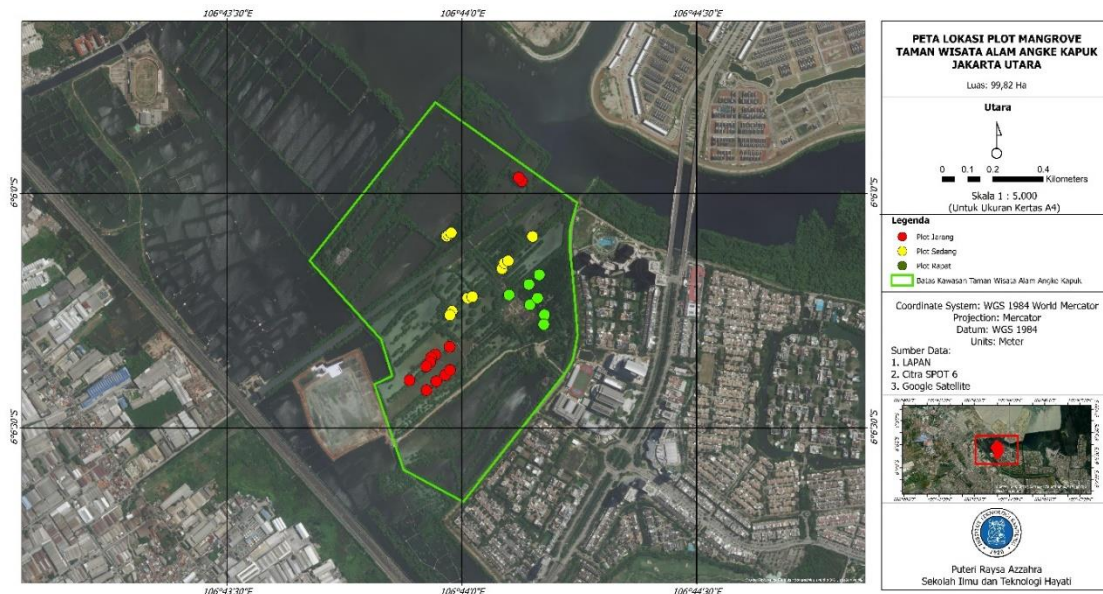
Tabel 1 Alat yang digunakan dalam penelitian

Alat	Fungsi
Aplikasi MonMang2	Menyimpan data informasi setiap plot
ArcGis 10.4	Mengolah dan analisis data spasial

Buku identifikasi mangrove	Identifikasi spesies mangrove
Haga hypsometer	Mengukur tinggi pohon
Kamera <i>smartphone</i>	Mengambil gambar tutupan kanopi dan dokumentasi
Microsoft Excel	Mengolah dan analisis data angka
Pita Ukur	Mengukur diameter pohon
Tali Tambang 10 m x 10 m	Membuat plot
Tali tambang 15 m	Menentukan jarak horizontal untuk mengukur tinggi

Tabel 2 Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan	Fungsi	Sumber
Citra satelit Google Earth (2020)	Penentuan titik plot	Google Earth
Citra satelit SPOT-6 (2020)	Analisis NDVI dan peta kesehatan mangrove	LAPAN



Gambar 2 Sebaran plot penelitian

Metode Pengambilan Data

Teknik *Sampling* dan Pembuatan Plot

Penentuan lokasi pengambilan data lapangan di lokasi penelitian dilakukan menggunakan metode *purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah teknik penentuan sampel berdasarkan kriteria atau pertimbangan tertentu (Bengen 2001). Pada penelitian ini penentuan plot diambil berdasarkan kriteria tutupan kanopi mangrove (jarang, sedang, dan rapat) yang dianalisis menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Jumlah plot yang diambil sebanyak 30 plot terdiri dari 12 plot jarang, 11 plot sedang dan 7 plot rapat. Berdasarkan statistik, jumlah sampel lebih dari 30 ($n \geq 30$) dapat diasumsikan data berdistribusi normal dan dapat dikatakan sebagai sampel besar (Tiro 2008). Lokasi pengambilan plot di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Plot penelitian berbentuk kuadrat dengan ukuran 10 x 10 m, luasan tersebut digunakan untuk pengukuran

seluruh tingkatan tegakan pohon, pancang, dan semai (Dharmawan *et al.* 2020).

Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan menggunakan aplikasi MonMang 2 yang ter-*install* di *smartphone*. Data yang diambil di antaranya informasi dasar plot, foto tutupan kanopi, DBH, identifikasi spesies mangrove, jumlah tegakan, tinggi pohon, persentase tutupan sampah plastik/anorganik dan jumlah tebangan.

Analisis Data

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) biasa dikenal sebagai indeks kehijauan dari suatu vegetasi atau aktivitas fotosintesis dari vegetasi. NDVI merupakan salah satu indeks vegetasi yang sering digunakan dalam pemetaan mangrove (Rouse Jr *et al.* 1974).

Tabel 3 Kategori berdasarkan nilai NDVI

Tutupan Lahan	NDVI
Awan, air, dan salju	< 0
Batuan dan lahan kosong	0 – 0,1
Padang rumput dan semak belukar	0,2 – 0,3
Hutan daerah hangat dan hutan hujan tropis	0,4 – 0,8

Sumber: Wikan (2010)

Beberapa penelitian mengenai ekosistem mangrove menggunakan NDVI untuk menggambarkan tingkat kerapatan mangrove (Rumada *et al.* 2015). NDVI merefleksikan berbagai jenis gelombang cahaya yang berbeda-beda. Komunitas mangrove yang lebih hijau akan menyerap sebagian besar gelombang merah dan biru sinar matahari serta memantulkan gelombang infra merah dekat lebih tinggi (Dharmawan *et al.* 2020). Nilai NDVI berkisar antara 0-1, kategori tutupan lahan berdasarkan nilai NDVI dapat dilihat pada Tabel 3.

Indeks Kesehatan Mangrove/ *Mangrove Health Index (MHI)*

Foto *hemisphere* digunakan untuk menentukan persentase tutupan kanopi komunitas mangrove yang diolah menggunakan Aplikasi MonMang2. *Hemisphere* merupakan perbandingan antara jumlah pixel vegetasi dengan seluruh pixel dalam satuan persentase. Tutupan sampah (G) dimasukkan dengan rentang nilai 0- 100%. Jumlah tebangan pohon dan pancang atau *cutten wood* (CW) dihitung dengan perbandingan jumlah tebangan (Ncw) dengan total tegakan yang masih hidup pada tingkat pohon dan pancang (N) ditambah dengan tebangan jumlah tebangan (Ncw)

dikalikan dengan 100% (Dharmawan *et al.* 2014).

$$CW (\%) = Ncw / (N + Ncw) \times 100\% \quad (1)$$

Indeks Kesehatan Mangrove atau *Mangrove Health Index* (MHI) adalah satu metrik, nilai, atau parameter yang dapat merepresentasikan, merefleksikan, dan menunjukkan kualitas ekosistem mangrove yang dapat dibandingkan di antara tapak atau waktu (Dharmawan dan Ulumuddin 2020). MHI dikualifikasikan ke dalam tiga kategori (Tabel 4). Rumus MHI kombinasi dari skor-skor parameter persentase tutupan kanopi (C) dalam %, ukuran diameter rata-rata (D) dalam cm dan jumlah pancang (Nsp) dengan rumus sebagai berikut:

$$MHI (\%) = [(S_C + S_D + S_{Nsp}) / 3] \times 10 \quad (2)$$

$$S_C = 0,25C - 13,06 \quad (3)$$

$$S_D = 0,45D + 1,42 \quad (4)$$

$$S_{Nsp} = 0,13Nsp + 4,1 \quad (5)$$

Keterangan:

MHI = *Mangrove Health Index*/Indeks Kesehatan Mangrove

Jika nilai $S < 0$ atau negatif maka nilai $S = 0$ (minimum)

Jika nilai $S > 10$ maka nilai $S = 10$ (maksimum)

Tabel 4 Kondisi kesehatan mangrove berdasarkan nilai MHI

Kategori	MHI (%)
Buruk/ <i>Poor</i>	$< 33,33$
Sedang/ <i>Moderate</i>	$33,33 \leq \text{MHI} < 66,67$
Sehat/ <i>Healthy</i>	$\geq 66,67$

Sumber: Dharmawan dan Ulumuddin (2020)

Tabel 5 Kondisi struktur tegakan mangrove berdasarkan kombinasi parameter CHDNcv

Kategori	CHDNcv
Sangat Buruk/ <i>Bad</i>	$< 1,509$
Buruk/ <i>Poor</i>	$1,509 \leq \text{CHDNcv} < 2,552$
Sedang/ <i>Fair</i>	$2,552 \leq \text{CHDNcv} < 3,657$
Baik/ <i>Good</i>	$3,657 \leq \text{CHDNcv} < 5,107$
Sangat Baik/ <i>Excellent</i>	$\geq 5,107$

Sumber: Dharmawan *et al.* (2014)

Struktur Tegakan Mangrove

Struktur tegakan mangrove merupakan kombinasi nilai antara persentase tutupan kanopi (C) dalam %, tinggi tegakan (H) dalam meter, ukuran diameter rata-rata tegakan (D) dalam cm dan jumlah tegakan (N) menghasilkan nilai kombinasi (CHDNcv) (Dharmawan *et al.* 2014). Struktur tegakan dikualifikasikan ke lima kategori dapat dilihat pada Tabel 5. Rumus kombinasi parameter CHDNcv sebagai berikut:

$$\text{CHDNcv} = 0,029C + 0,077H + 0,058D + 0,009N \quad (6)$$

Regresi dan Korelasi

Analisis regresi linier sederhana digunakan untuk mendapatkan hubungan matematis pendugaan nilai MHI

berdasarkan nilai NDVI dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = a + bX \quad (7)$$

Keterangan:

Y = MHI

X = NDVI

a = Parameter intersep

b = Parameter koefisien regresi variabel NDVI

Hasil dan Pembahasan

Analisis Kesehatan Mangrove Berdasarkan Indeks Kesehatan Mangrove/Mangrove Health Index (MHI)

Analisis kesehatan mangrove menggunakan Indeks Kesehatan Mangrove/Mangrove Health Index (MHI) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Kesehatan mangrove di TWAAK berdasarkan *Mangrove Health Index* (MHI)

Kerapatan	MHI (%)	Kategori	Standar Deviasi	Tutupan Sampah (%)	Jumlah Semai (ind/100m ²)	Jumlah Pancang (ind/100m ²)	Diameter (cm)	Tutupan Kanopi (%)
Jarang	51,58	Sedang/ <i>Moderate</i>	5,10	14,58	5	0	17,21	62,64
Sedang	63,13	Sedang/ <i>Moderate</i>	3,66	9,09	21	0	19,35	75,06
Rapat	66,97	Sehat/ <i>Healthy</i>	2,87	10,71	14	0	13,58	85,86

Pada ketiga kelas kerapatan didapatkan nilai standar deviasi yang relatif kecil. Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan semakin serupa nilai-nilai tersebut atau semakin akurat dengan nilai rata-rata (Sekaran dan Bougie 2016). Rata-rata persentaseutupan kanopi mangrove menggunakan foto *hemisphere* pada setiap kelas kerapatan berbeda-beda. Hal tersebut sesuai dengan analisis NDVI bahwa persentaseutupan kanopi tertinggi berada pada kelas kerapatan rapat sebesar 85,86% dan persentase terendah berada pada kelas kerapatan jarang sebesar 62,65%. Mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.201 tahun 2004 bahwa nilaiutupan kanopi pada kelas kerapatan rapat dan sedang termasuk kategori sehat karenautupan kanopi > 75%. Sedangkan pada kelas kerapatan jarang masuk kategori sedang karenautupan kanopi 50 – 75%.

Pada ketiga kelas kerapatan, rata-rata dari kehadiran jumlah pancang adalah nol. Pancang merupakan tegakan remaja yang memiliki diameter < 5 cm. Ukuran pohon cenderung lebih mendominasi pada komunitas mangrove yang alamiah, sementara pada hutan sekunder/rehabilitasi/penanaman yang berumur di bawah lima tahun cenderung didominasi oleh tingkat pancang (Dharmawan *et al.* 2020). TWAAK melakukan kegiatan penanaman yang dimulai pada tahun 2006 dan sudah 16 tahun berlalu sehingga jarang ditemukan pancang.

Rata-rata dari diameter pohon pada ketiga kelas kerapatan berbeda-beda. Rata-rata diameter tertinggi berada pada kelas kerapatan jarang bernilai 19,35 cm dan rata-rata diameter terendah berada pada kelas kerapatan rapat bernilai 13,58 cm. Pada kelas kerapatan rapat dan sedang didominasi oleh spesies *Rhizophora mucronata* dan kelas kerapatan jarang didominasi oleh spesies *Avicennia marina*. Substrat pada ekosistem mangrove di TWAAK adalah lumpur berpasir. Kondisi substrat menjadi salah satu faktor yang berperan dalam tempat tumbuh mangrove. *Avicennia* tumbuh baik pada substrat lumpur berpasir dan *Rhizophora* tumbuh baik pada substrat lumpur yang kaya akan bahan organik (Thefarani *et al.* 2019).

MHI mengkaji kesehatan mangrove berdasarkan faktor internal mangrove. Tetapi ancaman dapat mempengaruhi kesehatan mangrove itu sendiri. Ancaman bersifat dari luar atau eksternal diantaranya adanya tebang pohon danutupan sampah. Pada ketiga kelas kerapatan tidak ditemukan pohon yang ditebang (Dharmawan *et al.* 2020). Mengacu pada PP No.28 tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam bahwa Taman Wisata Alam dimanfaatkan untuk kepentingan jasa pengaturan, penelitian, pendidikan, budidaya, dan pariwisata. Oleh karena itu, tidak diizinkan adanya kegiatan pemanfaatan dengan penebangan pohon.

Tutupan sampah merupakan faktor eksternal yang dapat mempengaruhi baik buruknya kondisi kesehatan mangrove (Schaduw 2021). Tutupan sampah di kawasan mangrove dapat berdampak pada terganggunya pertumbuhan semai-semai mangrove yang baru, sehingga proses regenerasi mangrove tidak dapat berjalan dengan baik. Hal tersebut dikarenakan tumpukan sampah non-organik dapat menghalangi masuknya unsur hara yang berasal dari aktivitas pasang surut gelombang. Tidak hanya itu, tutupan sampah dapat menghalangi sirkulasi udara sehingga akar mangrove sulit untuk melakukan respirasi. Adanya tutupan sampah non-organik menjadikan kualitas fisika, kimia dan biologi yang mendukung kehidupan mangrove berkurang (Ance *et al.* 2016). Pada kelas kerapatan jarang dengan persentase tutupan sampah terbesar 14,58% memiliki potensi regenerasi mangrove yang rendah ditunjukkan dengan sedikitnya jumlah semai yang ada yaitu sebanyak 5 individu/m². Sedangkan pada kelas kerapatan sedang memiliki persentase tutupan sampah terkecil 9,09 % dan memiliki potensi regenerasi mangrove yang tinggi dengan jumlah semai 21 individu/m².

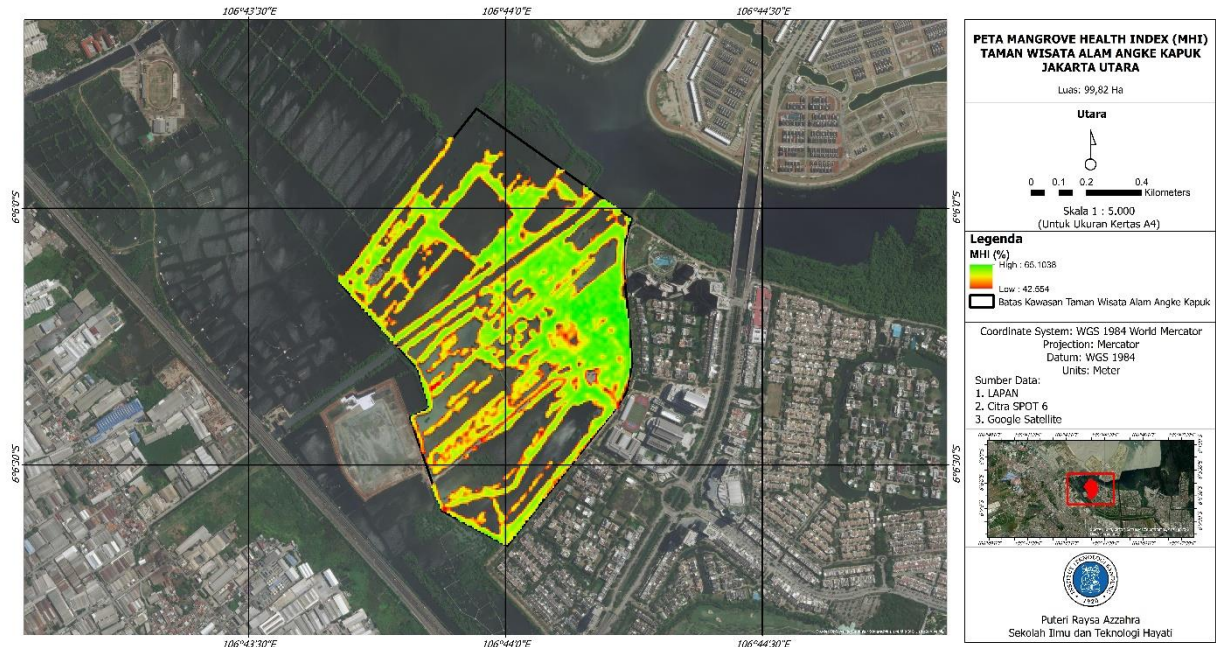
Hubungan antara MHI dan NDVI di kawasan TWAACK ditentukan menggunakan analisis korelasi dan regresi. Nilai koefisien korelasi antara MHI dan NDVI adalah 0,60. Nilai tersebut menunjukkan korelasi antara MHI dengan NDVI positif dan sedang, jika NDVI meningkat maka MHI akan ikut

meningkat. Model regresi antara MHI dan NDVI menghasilkan formula:

$$\text{MHI (\%)} = 40,14 + 34,44 \times (\text{NDVI}).$$

Model tersebut memiliki akurasi yang rendah dengan nilai R² sebesar 0,35. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hanya 35% variasi MHI yang dapat dijelaskan oleh NDVI. Rendahnya nilai R² diduga berkaitan dengan karakter NDVI yang hanya mampu menangkap informasi tentang tingkat kehijauan vegetasi pada lapisan teratas (tajuk pohon). Kondisi anakan, yang merupakan salah satu faktor dalam penghitungan MHI, sulit dijelaskan oleh NDVI karena keberadaannya di bawah tajuk pohon. Hal ini menunjukkan perlunya pelibatan variabel lain selain NDVI untuk meningkatkan akurasi dugaan MHI. Dharmawan *et al.* (2020) mengkombinasikan indeks vegetasi berbasis penginderaan jauh seperti *Normalized Burn Ratio* (NBR), *Green Chlorophyll Index* (GCI), *Structure Incentive Pigment Index* (SIPI), dan *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI) dalam pendugaan MHI dan mendapatkan akurasi yang lebih baik dengan nilai R² 0.83.

Berdasarkan model tersebut diperoleh nilai MHI pada kawasan TWAACK sebesar 42,5% – 65,1%. Nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian Dharmawan *et al.* (2020) di Kabupaten Biak Numfor yang memperoleh nilai MHI dengan rentang 39,3% - 76,8%. Peta MHI pada kawasan TWAACK berdasarkan analisis NDVI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Peta MHI pada Kawasan TWAAK

Tabel 7 Kesehatan mangrove di TWAAK berdasarkan struktur tegakan mangrove

Kerapatan	CHDNcv	Kategori	Standar Deviasi	C (%)	H (m)	D (cm)	N (ind/100m ²)
Jarang	3,501	Sedang/ <i>Fair</i>	0,347	62,636	8,042	17,210	7
Sedang	4,156	Baik/ <i>Good</i>	0,203	75,056	9,818	19,346	13
Rapat	4,535	Baik/ <i>Good</i>	0,197	85,855	12,643	13,581	32

Analisis Kesehatan Mangrove Berdasarkan Struktur Tegakan Mangrove

Analisis kesehatan mangrove berdasarkan struktur tegakan mangrove dapat dilakukan menggunakan pendekatan analisis vegetasi (English *et al.* 1997). Pendekatan dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan parameter-parameter struktur tegakan mangrove (Dharmawan *et al.* 2020). Analisis kesehatan mangrove berdasarkan struktur tegakan mangrove di TWAAK dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada ketiga kelas kerapatan didapatkan nilai standar deviasi yang relatif kecil. Nilai standar deviasi yang kecil

menunjukkan semakin serupa nilai-nilai tersebut atau semakin akurat dengan nilai rata-rata (Sekaran dan Bougie 2016). Tutupan kanopi komunitas (C) merupakan bagian atas dari tegakan yang terdiri dari struktur ranting atau kayu dan daun. Analisis parameter ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi kesehatan komunitas berdasarkan nilai persentase tutupan kanopi mangrove. Tutupan kanopi mangrove menggambarkan tingkat produktivitas komunitas mangrove, tingkat penembusan cahaya dan *forest gap* yang mempengaruhi pertumbuhan semai dalam suatu area (Dharmawan dan Pramudji 2017).

Tinggi pohon menjadi salah satu parameter dalam analisis kesehatan mangrove berdasarkan struktur tegakan. Tinggi pohon dapat digunakan untuk menentukan umur dari suatu tegakan dan komunitas mangrove (Dharmawan *et al.* 2020). Kelas kerapatan rapat memiliki nilai tinggi pohon yang lebih besar dibandingkan dengan kelas kerapatan sedang dan jarang. Hal tersebut dikarenakan TWAAK melakukan restorasi mangrove dengan kegiatan penanaman mangrove yang dimulai dari tahun 2006. Daerah yang dilakukan penanaman terlebih dahulu adalah daerah dengan kelas kerapatan rapat. Umur tegakan komunitas mangrove di plot dengan kelas kerapatan rapat lebih tua dibandingkan dengan plot dengan kelas kerapatan sedang dan jarang.

Diameter at Breast Height (DBH) adalah diameter pohon yang diukur setinggi dada orang dewasa. Kelas kerapatan sedang memiliki nilai diameter pohon yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kerapatan jarang dan sedang. Pada kelas kerapatan sedang dan jarang banyak ditemukan spesies *Avicennia marina* sedangkan pada kelas kerapatan jarang banyak ditemukan spesies *Rhizophora mucronata*. *Avicennia marina* memiliki pertumbuhan diameter lebih tinggi dibandingkan dengan *Rhizophora mucronata* (Kathiresan *et al.* 2013).

Kerapatan didefinisikan sebagai jumlah tegakan jenis yang ditemukan dalam satuan luasan pengukuran. Parameter ini memberikan gambaran mengenai kelimpahan suatu jenis di lokasi penelitian dan dapat digunakan sebagai salah satu parameter dalam penentuan kesehatan komunitas mangrove (Dharmawan *et al.* 2020). Kelas kerapatan rapat memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan dengan kelas

kerapatan sedang dan jarang. Semakin tinggi kerapatan mangrove maka menunjukkan banyaknya tegakan yang ada pada kawasan tersebut. Semakin rapat suatu tegakan maka semakin baik peranannya dalam menahan sedimen dan memecah gelombang (Schaduw 2016). Selain itu, kerapatan pada suatu tegakan mangrove berpengaruh dalam biota yang berasosiasi di dalamnya (Schaduw 2019).

Kesimpulan

Kondisi kesehatan mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) berdasarkan Indeks Kesehatan Mangrove/*Mangrove Health Index* (MHI) termasuk dalam kategori sedang/*moderate* untuk kelas kerapatan jarang dan sedang dan baik/*healthy* untuk kelas kerapatan rapat. Berdasarkan struktur tegakannya, kesehatan mangrove di TWAAK dikategorikan sedang/*fair* untuk kelas kerapatan jarang dan baik/*good* untuk kelas kerapatan sedang dan rapat.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) atas izin yang telah diberikan dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Serta Bapak Djati dan Bapak Wakidi yang telah membimbing dan membantu dalam proses pengambilan data di lapangan.

Daftar Pustaka

- Ance *et al.* 2016. Probabilitas terperangkapnya sampah non-organik di kawasan mangrove studi kasus: Pantai Karangantu, Kota Serang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 22(1): 11–20.
- Bengen, D.G. 2001. *Pedoman teknis pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove*. Bogor: Pusat

- Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan.
- Dharmawan, I.W.E., Pramudji, E., Nontji, A. 2014. *Panduan monitoring status ekosistem mangrove*. Jakarta: PT Sarana Komunikasi Utama.
- Dharmawan, I.W.E., Pramudji, S. 2017. *Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- Dharmawan, I.W.E., Suyarso, I.U., Yaya, P. B. 2020. *Panduan monitoring*. Bogor: PT Media Sains Nasional.
- Dharmawan, I.W.E., T.A. Hadi, U.Y. Arbi, P.C. Makatipu, S. Rahmawati, A. Budiyanto, A.B. Sitepu, B. Usman, P. Halang, Y. Kapitaraw, A. Sulaksmna, F.C.E., B. Otoluwa. 2020. *Monitoring kesehatan terumbu karang dan ekosistem terkait di Kabupaten Biak Numfor*. Jakarta: LIPI.
- Dharmawan, I.W.E., Ulumuddin, Y.I. 2020. *Mangrove community structure data analysis*. Makassar: CV Nas Media Pustaka.
- English, S., Wilkinson, C., Baker, V. 1997. *Survey manual for tropical marine resources*. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. 20(1):154-159.
- Hai, P. M., Tinh, P. H., Son, N. P., Thuy, T. V., Hong Hanh, N. T., Sharma, S., Duy, V. C. 2022. Mangrove health assessment using spatial metrics and multi-temporal remote sensing data. *Plos one*. 17(12): e0275928.
- Kathiresan, K., Anburaj, R., Gomathi, V., Saravanakumar, K. 2013. Carbon sequestration potential of *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina* as influenced by age, season, growth and sediment characteristics in southeast coast of India. *Journal of coastal conservation*. 17(3):397-408.
- Nurdiansah, D., Wayan, I., Dharmawan, I.W.E. 2018. Komunitas mangrove di wilayah pesisir Pulau Tidore dan sekitarnya. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 3(1):1-9.
- Onrizal, O., dan Kusmana, C. 2008. Ecological study on mangrove forest in East Coast of North Sumatra. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 9(1):25-29.
- Prasetya, J.D. dan F. Purwanti. 2017. Mangrove health index as part of sustainable management in mangrove ecosystem at Karimunjawa National Marine Park Indonesia. *Advanced Science Letters*. 23(4):3277-3282.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., Harlan, J. C. 1974. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. NFC Type III Final Report. Greenbelt, MD: NASA/GSFC,
- Rumada, I.W., Kesumadewi, A.I., Suyarto, R. 2015. Interpretasi citra satelit landsat 8 untuk identifikasi kerusakan hutan mangrove di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 4(3):234-243.
- Schaduw, J. N. 2016. Kondisi ekologi mangrove Pulau Bunaken Kota Manado Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*. 3(2):64-74.

- Schaduw, J. N. W. 2019. Struktur komunitas dan persentase penutupan kanopi Mangrove Pulau Salawati Kabupaten Kepulauan Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Majalah Geografi Indonesia*. 33(1):26-34.
- Schaduw, J. N. W. 2021. Mangrove health index and carbon potential of mangrove vegetation in marine tourism area of Nusantara Dian Center, Molas Village, Bunaken District, North Sulawesi Provi. *SPATIAL: Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi*. 21(2):9-15.
- Sekaran, U., Bougie, R.J. 2016. *Research methods for business: a skill-building approach*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sugiana, Andiani, A.A.E, Dewi, I.G.A.I.P.A., Karang, I.W.G.A., Asy-Syakur, A.R., Dharmawan, I.W.K. Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(7):3407-3418.
- Tefarani, R., Martuti, N. K. T., Gabekti, S. 2019. Keanekaragaman spesies mangrove dan zonasi di wilayah Kelurahan Mangunharjo Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Life Science*. 8(1):41-53.
- Tiro, M. A. 2008. *Dasar-dasar statistika*. Makassar: Andira Publisher.
- Wikan, Muhamad. 2015. Pemanfaatan penginderaan jauh untuk kajian tutupan lahan sebelum dan pasca erupsi Gunung Merapi tahun 2010. [Skripsi]. Yogyakarta: Sarjana, Universitas Gadjah Mada.

PEDOMAN PENULISAN

Ketentuan

1. Makalah yang dipublikasikan adalah hasil penelitian dan artikel ulasan balik (*review*) baik dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris.
2. Makalah tersebut belum pernah dipublikasikan pada jurnal lainnya.
3. Makalah dapat dikirimkan ke alamat editor dalam bentuk *softcopy* melalui alamat e-mail: jkayutropis@gmail.com
4. Penulis bersedia memperbaiki makalah yang diterima di jurnal ini sesuai dengan saran dan koreksi dari mitra bestari.
5. Tata bahasa dan tata letak gambar/ tabel bersedia diubah oleh Redaksi tanpa mengubah substansi.
6. Bersedia membayar biaya publikasi Rp. 200.000,- s/d 8 halaman cetak dan kelebihan halaman akan dikenakan biaya sebesar Rp. 50.000,- per halaman. Khusus mengenai gambar yang dicetak berwarna akan dikenakan biaya tambahan.
7. Setiap penulis akan mendapatkan 2 eksemplar jurnal dan 5 artikel cetak lepas

Format Penulisan

1. Makalah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan program *MS Word*; ukuran kertas *Letter*; huruf *Times New Roman*; satu spasi. Margin kiri/kanan = 3 cm dan atas/bawah = 2,5 cm. Besar huruf untuk Judul = 14 pt.; Nama Penulis = 12 pt; dan Teks = 12 pt.
2. Makalah harus menyertakan abstrak dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Untuk makalah yang ditulis dalam bahasa Indonesia harus menuliskan judul dalam bahasa Inggris. Untuk

makalah yang ditulis dalam bahasa Inggris telah diperiksa *spelling* dan *grammar*-nya oleh *native speaker*.

3. Sistematika penulisan:

- 3.1. Judul ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris (dianjurkan tidak lebih dari 14 kata dalam tulisan berbahasa Indonesia, atau 10 kata bahasa Inggris)
- 3.2. Nama lengkap penulis dan nama institusi disertai alamat lengkap termasuk email
- 3.3. Mencantumkan *corresponding author*
- 3.4. Abstrak (maksimum 200 kata)
- 3.5. Kata kunci (maksimum 6 kata)
- 3.6. Teks:

Pendahuluan

Bahan dan Metode

Hasil dan Pembahasan

Kesimpulan

Ucapan Terima Kasih (jika perlu)

Daftar Pustaka

4. Ketentuan lainnya:

- 4.1. Penulisan kata bahasa asing dengan huruf miring.
- 4.2. Nama kayu atau tumbuhan harus disertai nama botani pada pengungkapan pertama kali.
- 4.3. Penulisan angka dengan desimal menggunakan koma untuk teks berbahasa Indonesia dan titik untuk teks berbahasa Inggris.
- 4.4. Penulisan besaran diantara menggunakan simbol - (contoh: 3,75-8,92%).
- 4.5. Satuan pembagi ditulis sebagai berikut: kg cm⁻², bukan kg/cm²
- 4.6. Gambar yang dikirimkan harus masih dapat diubah.
- 4.7. Contoh penulisan nama pustaka pada teks adalah: Palomar *et al.* (1990), (Arancon 1997).
- 4.8. Penulisan kesimpulan tidak dalam bentuk poin-poin tetapi diuraikan.
- 4.9. Daftar Pustaka ditulis memakai sistem nama-tahun dan disusun secara abjad.

Beberapa contoh penulisan sumber pustaka:

Jurnal

Curreli N, Agelli M, Pisu B, Rescigno A, Sanjust E, Rinaldi A. 2002. Complete and efficient enzymatic hydrolysis of pretreated wheat straw. *Process Biochem.* 37:937-41.

Buku

Gunawan AW. 2000. *Usaha Pembibitan Jamur*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Bab dalam buku

Kharazipour A, Hüttermann A, 1998. Biotechnological Production of Wood Composites. In: Bruce A, Palfreyman JW, editors. *Forest Product Biotechnology*. UK: Taylor & Francis Ltd. Pp 141-150.

Prosiding

Alamsyah EM, Yamada M, Taki K. 2005. Bond quality of Indonesian and Malaysian fast growing tree species. In: Dwianto W, editor. *Proceeding of the 6th International Wood Science Symposium*; Bali, 29–31 August 2005. Jakarta: JSPS-LIPI Core University Program. Pp 220-227.

Tesis/Disertasi

Taskirawati I. 2006. Peluang investasi dan strategi pengembangan usaha budidaya Kutu Lak (*Laccifer lacca* Kerr.) [Tesis]. Bogor: Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

Informasi dari internet

Chowdhury R, Hasan CM, Rashid MA. 2003. Bioactivity from *Toona ciliata* stem bark. <http://www.informahealthcare.com/doi/abs/10.1076/phbi.41.4.281.html>. [4 September 2009].

