

**SIFAT DASAR DAN KEGUNAAN KAYU AGATHIS (*Agathis hamii* M. Dr.)
DARI SULAWESI SELATAN**

***(Basic Properties and Uses of Agathis (Agathis hamii M. Dr.) Wood
from South Sulawesi)***

Mody Lempang*

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 16. Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia, Kode Pos 90243
Telp. +62 411554049, Fax. +62 411554058

Article Info

Article History:

Received 16 February 2016;
received in revised form 12
April 2017; accepted 12 July
2017.
Available online since 31
August 2017

Kata kunci:

Sifat dasar kayu,
Agathis hamii
Kegunaan kayu

ABSTRAK

Kesesuaian penggunaan kayu setiap jenis tanaman hutan akan ditentukan oleh sifat dasarnya. Penelitian ini bertujuan mempelajari sifat dasar kayu agathis (*Agathis hamii* M. Dr.) dari hutan alam di Sulawesi, yang meliputi anatomi, kimia, sifat fisis dan mekanis. Sifat dasar tersebut dan informasi penggunaan oleh masyarakat lokal merupakan petunjuk yang bermanfaat untuk menetapkan kegunaannya. Hasil penelitian menunjukkan kayu agathis memiliki kayu teras berwarna keputihan sampai kuning kecokelatan, tekstur halus dan merata, serat lurus, permukaan kayu mengkilap, agak lunak, berat jenis sedang, penyusutan sedang dan tergolong kayu kelas kuat III, serat sangat panjang dan dinding serat sangat tipis, kadar selulosa dan pentosan tinggi sedangkan kadar lignin, ekstraktif dan abu rendah. Berdasarkan kualitas serat dan komponen kimianya, kayu agathis sangat baik digunakan untuk bahan baku pembuatan pulp/kertas. Kayu agathis juga cocok digunakan untuk komponen dengan beban ringan pada bangunan rumah dan perkapalan, mebel, kerajinan dan bahan baku industri perikanan.

Keywords:

Wood basic properties
Agathis hamii
Wood uses

ABSTRACT

Wood proper uses of tree species can be determined by it's basic properties. This research was carried out to examine the basic properties (anatomical structure, chemical, physical and mechanical) of agathis (*Agathis hamii* M. Dr.) wood from natural forest in Sulawesi. Proper uses of wood was determined by considering their basic properties and uses which the local community have currently employed. Results revealed that agathis heartwood is whitenish to yellow brownish colour; fine texture; straight grain; glossy; rather soft; moderate in specific gravity; moderate in dimensional shrinkage; strenght class III; high in cellulose and pentose content; low in lignin, extractive and ash content; remarkably long fiber and thin wall thickness; fiber grade is very good for pulp/paper manufacture. Appropriate uses of agathis are for light construction material in house building and certain ship components, furniture, handicraft and wood industry.

* Corresponding author. Tel.: +62 81355716502
E-mail address: mlempang@yahoo.com (M. Lempang)

I. PENDAHULUAN

Kecenderungan pemakaian kayu akan terus meningkat, baik untuk keperluan struktural maupun industri. Beberapa tahun terakhir laju perkembangan industri per kayu ter hambat atau bahkan stagnan terkait dengan berbagai masalah yang dihadapi, sehingga ekspor kayu Indonesia mengalami penurunan beberapa tahun terakhir (ITTO, 2009). Salah satu permasalahan utama yang dihadapi adalah kelangkaan kayu sebagai bahan baku. Pada tahun 2013 kapasitas produksi Industri Primer Hasil Hutan Kayu (IPHHK) sebesar 70.013.474 m³, sementara produksi kayu bulat pada tahun yang sama hanya mencapai 23.227.012,25 m³ (KEMENHUT, 2014). Pada tahun 2015 produksi kayu bulat agak meningkat menjadi 35.290.288,25 m³ yang terdiri dari 5.843.179,25 m³ asal hutan alam dan 29.447.109 m³ asal hutan tanaman (KLHK, 2016). Kementerian Kehutanan saat ini mengarahkan peran hutan tanaman sebagai pemasok kayu untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri per kayu nasional. Selain itu, industri pengolahan kayu juga disarankan untuk memanfaatkan jenis kayu yang selama ini kurang dikenal. Hal ini perlu diimbangi dengan informasi yang akurat dari setiap jenis kayu kurang dikenal (ITTO, 2009). Ada dua hal yang perlu diketahui untuk memanfaatkan suatu jenis kayu secara tepat, yaitu pengenalan jenisnya dan pengetahuan tentang sifat-sifatnya (Lempang & Asdar, 2012).

Di Indonesia terdapat 4.000 jenis pohon penghasil kayu. Namun sebagian besar jenis-jenis tersebut baru diketahui keberadaannya saja, sedangkan sifat dasar kayu, cara pengolahan dan pemanfaatan kayunya masih banyak jenis yang belum diketahui. Sifat dasar kayu yang dimaksud adalah sifat anatomi, kimia, fisis dan mekanis (Wahyudi, 2013). Dari 4.000 jenis pohon penghasil kayu, sekitar 400 jenis yang berdiameter besar dan dianggap penting, dimana 267 jenis digolongkan ke dalam 120 kelompok kayu perdagangan (*commercial wood species*) sedangkan sisanya 133 jenis digolongkan ke dalam kelompok kayu kurang dikenal (*less-known wood species*). Pengelompokan 267 jenis kayu perdagangan ke dalam 120 kelompok kayu perdagangan kurang sesuai lagi karena jumlah jenis kayu perdagangan sudah bertambah (Muslich *et al.*, 2013). Mandang (2013) juga mencatat masih terdapat 577 jenis kayu Indonesia yang digolongkan ke dalam jenis kayu sangat tidak dikenal (*the least-known wood species*).

Pada saat ini kayu dengan kualitas tinggi sulit didapat dan harganya relatif mahal (Arsad, 2013). Oleh karena itu, masyarakat pengguna kayu mulai memanfaatkan jenis-jenis kayu kualitas rendah tanpa memperhatikan sifat dasarnya, sehingga

penggunaan kayu tidak efisien dan mutu produk kayu yang dihasilkan tidak memuaskan. Penggunaan kayu harus mempertimbangkan sifat-sifat kayu agar dapat diperoleh manfaat yang optimal baik dari aspek teknis maupun ekonomis (Hamdi, 2010). Tulisan ini menyajikan informasi hasil penelitian sifat dasar kayu agathis (*Agathis hamii* M.Dr.) yang mencakup struktur anatomi, komponen kimia, sifat fisis dan mekanis yang selanjutnya dikaitkan dengan penetapan penggunaannya. Pohon agathis tumbuh di hutan primer pada tanah berpasir atau tanah liat dengan drainase baik, pada ketinggian 50 m sampai 1.750 m dari permukaan laut. Daerah penyebarannya antara lain Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sulawesi, Maluku dan Papua. Di Sulawesi terdapat 3 jenis agathis yaitu *A. beckingii*, *A. hamii* dan *A. philippinensis*, namun hanya 2 dari 3 jenis tersebut yang dianggap penting yaitu *A. hamii* dan *A. philippinensis* (Sugeng, 2013). Pada daerah penyebarannya di Sulawesi *A. hamii* dapat tumbuh pada ketinggian 0-900 m dpl. Pohon agathis dapat mencapai tinggi 55 m dengan panjang batang bebas cabang 12-25 m, diameter 150 m atau lebih, bentuk batang silindris dan lurus, tidak berbanir, kulit batang bervariasi dari abu-abu sampai coklat tua, mengeluarkan resin yang dikenal sebagai kopal.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Kayu contoh uji diambil dari kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) Malili, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan pada ketinggian di bawah 50 m dari permukaan laut. Pengamatan struktur anatomi dan analisa komponen kimia dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor, pengujian sifat fisis dilakukan di Balai Penelitian Kehutanan Makassar, sedangkan pengujian sifat mekanis dilakukan di Laboratorium Struktur Bahan Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Hasanuddin di Makassar. Penelitian dilaksanakan dari bulan Mei sampai Nopember 2012.

B. Bahan dan Alat

Bahan baku penelitian menggunakan contoh uji kayu agathis (*A. hamii* M.Dr.) dari famili Araucariaceae. Pohon agathis dengan ukuran tinggi 31,8 m, tinggi bebas cabang 14,2 m dan diameter 59,5 cm ditebang dan diambil kayunya pada bagian pangkal, tengah dan ujung batang. Sedangkan bahan kimia yang digunakan antara lain CH₃COOH, HNO₃, C₂H₅OH, Na₂SO₃, safranin, xylol, aquadestilata. Alat-alat yang digunakan antara lain chainsaw, cross cut saw, planner, hammer mill, microtome, mikroskop, kaliper,

universal testing mechine (UTM), water bath, oven, destilator dan alat-alat gelas.

C. Prosedur Penelitian

1. Pengamatan struktur anatomi

Pengamatan struktur anatomi kayu meliputi ciri umum (makroskopis) dan ciri anatomi (mikroskopis). Contoh kayu agathis dalam bentuk lempengan dengan ukuran tebal 5 cm diambil dari bagian pangkal, tengah dan ujung. Selanjutnya pada empat arah dari bagian teras dari masing-masing lempengan diambil beberapa cuplikan kayu. Cuplikan kayu tersebut selanjutnya dicampur dan kemudian dipilih secara acak. Beberapa cuplikan digunakan untuk membuat preparat sayatan dan preparat maserasi. Deskripsi ciri umum kayu diamati dari penampang lintang lempengan dan contoh kayu berbentuk papan yang sudah dihaluskan permukaannya. Ciri umum kayu diamati pada contoh kayu utuh maupun yang telah diketam. Penelaahan ciri umum kayu dilakukan menurut prosedur yang disusun oleh Kartasudjana dan Martawijaya (1977), yaitu meliputi warna kayu, tekstur, arah serat, kilap, kesan raba dan corak. Ciri anatomi kayu diamati pada preparat sayatan mikrotom penampang lintang, radial dan tangensial yang diwarnai dengan safranin. Ciri anatomi tersebut meliputi dimensi serat, dimensi pembuluh, susunan dan sebaran pembuluh, susunan parenkim, susunan dan bentuk jari-jari, adanya saluran interselular, silika, dan lain-lain sesuai yang telah dianjurkan oleh *International Association of Wood Anatomist Committee (IAWA)* (Wheeler *et al.*, 2008). Kualitas serat dinilai berdasarkan kriteria yang disusun oleh Direktorat Jenderal Kehutanan (DJK, 1976) dengan menggunakan variabel panjang serat dan nilai turunan dimensi serat (bilangan Runkel, daya tenun, perbandingan fleksibilitas, koefisien kekakuan dan perbandingan Muhlstep).

2. Analisis komponen kimia

Dari lempengan kayu yang berasal dari bagian pangkal batang agathis diambil beberapa cuplikan dari bagian sentral ke kulit pada empat arah. Cuplikan tersebut kemudian dicampur dan digiling menggunakan alat giling kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk. Serbuk yang lolos ayakan 40 mesh dan tertahan 60 mesh digunakan untuk analisis komponen kimia. Komponen kimia kayu yang dianalisa adalah selulosa, pentosan, lignin, ekstraktif dan abu. Penetapan komponen kimia menggunakan metode kesepakatan industri pulp dan kertas Amerika (TAPPI, 1993). Selulosa ditetapkan dengan standar TAPPI T15 m-58, pentosan dengan T19 m-50, lignin dengan T13 m-45, abu

dengan T15 m-58, kelarutan dalam air dingin dengan T1 m-50, kelarutan dalam air panas dengan T1 m-59, kelarutan dalam NaOH dengan T4 m, kelarutan dalam alkohol-benzena 1:2 dengan T6 m-59, dan abu dengan T15 m-58.

3. Pengujian sifat fisis dan mekanis

Kayu agathis yang digergaji dalam bentuk balok ukuran 6 x 6 x120 cm diambil dari bagian teras pada pangkal, tengah dan ujung batang untuk contoh uji sifat fisis dan mekanis. Pengujian sifat fisis dan mekanis dilakukan dengan mengikuti standar industri Jepang (JIS, 2003). Pengujian sifat fisis kayu meliputi kadar air, berat jenis dan penyusutan masing-masing mengikuti JIS Z 2101, Z 2102 dan Z 2103, sedangkan pengujian sifat mekanis meliputi keteguhan lentur statik, keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat, keteguhan geser dan keteguhan pukul masing-masing mengikuti JIS Z 2113, Z 2111, Z 2114 dan 2116.

4. Penetapan kegunaan

Informasi penggunaan kayu secara lokal dilakukan dengan cara kunjungan ke industri skala kecil (industri penggergajian, mebel, lamber sering/papan plafon, kusen dan daun pintu/jendela) serta masyarakat umum yang baru selesai atau sedang membangun rumah atau perahu di Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan (lokasi pengambilan kayu contoh). Penetapan kegunaan kayu agathis dilakukan berdasarkan data struktur anatomi, komponen kimia, sifat fisis dan mekanis serta informasi penggunaannya secara lokal oleh masyarakat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Struktur Anatomi

1. Ciri umum

Bagian kayu teras dan gubal hampir tidak dapat dibedakan. Kayu teras berwarna keputihan sampai kuning kecokelatan. Kayu berdiameter 59,5 cm memiliki gubal yang tebalnya sekitar 6,5 cm dan persentase volume kayu teras 61,07%. Tekstur halus dan merata, serat lurus dan kadang-kadang spiral, pada bidang radial tampak bintik cokelat yang terputus-putus pada sel jari-jari, permukaan kayu mengkilap, kesan raba licin, kekerasan tergolong agak lunak, tidak ada bau khusus. Daun, kulit batang dan penampang melintang kayu agathis (*A. hamii*) disajikan pada Gambar 1.

2. Ciri anatomi

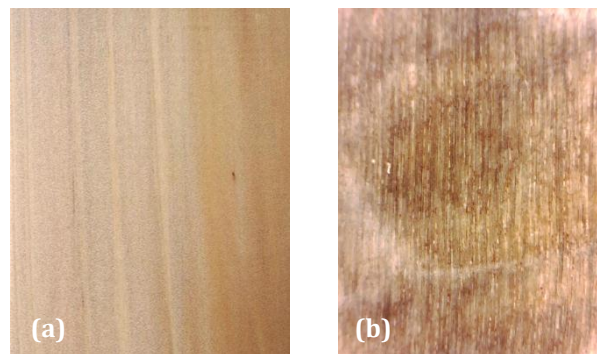
Lingkaran tumbuh pada penampang melintang batang kayu agathis terlihat jelas. Kayu agathis tidak memiliki pembuluh. Parenkim tersebar atau difus dan mengandung resin yang

berwarna putih kemerahan. Lebar jari-jari 1 seri (*uniseriate*) dengan komposisi seluruhnya sel baring, sangat sempit dan sangat pendek, frekuensi 6 per mm. Serat tergolong sangat panjang, diameter serat lebar, diameter lumen

lebar dan dinding sel serat tipis. Saluran damar sering ditemukan pada bidang lintang kayu. Saluran interselular radial dijumpai. Struktur makro dan mikro kayu agathis disajikan pada Gambar 2 dan 3.

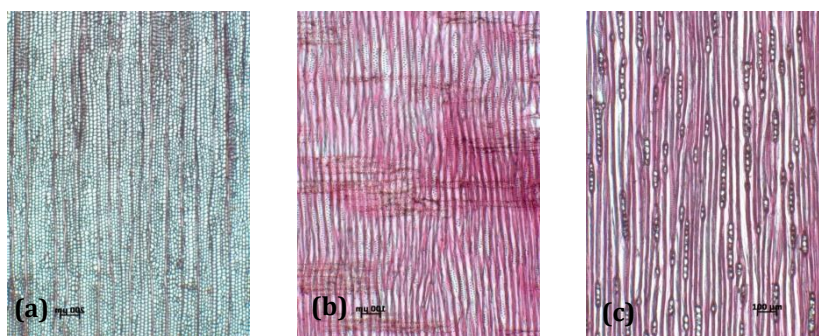


Gambar 1. Agathis (*A. hamii*): daun (a), kulit batang (b) dan penampang melintang batang (c)
Figure 1. Agathis (*A. hamii*): leaf (a), bark (b) and cross section of stem (c)



Gambar 2. Struktur makro kayu agathis (*A. hamii*): penampang tangensial (a) dan penampang melintang, perbesaran 10x (b)

Figure 2. Wood macro structure of agathis (*A. hamii*): tangential surface (a) and transversal surface, magnification 10x (b)



Gambar 3. Struktur mikro kayu agathis (*A. hamii*): penampang melintang, perbesaran 25x (a); penampang radial, perbesaran 50x (b) dan penampang tangensial, perbesaran 50x (c)

Figure 3 Wood micro structure of agathis (*A. hamii*): transversal surface, magnification 25x (a); radial surface, magnification 50x (b) and tangential surface, magnification 50x (c)

3. Kualitas serat

Agathis adalah salah satu jenis yang tergolong kelompok kayu konifer (*soft wood*). Serat pada kayu *soft wood* dikenal sebagai trakeid. *Soft wood* menunjukkan struktur yang sederhana karena terdiri atas 90-95% trakeid, yang merupakan sel-sel yang panjang dan ramping (Smhusky & Jones, 2011). Hasil pengukuran dimensi serat agathis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi serat kayu agathis

Table 1. Fiber dimension of agathis wood

Dimensi serat (Fiber dimension)	Rata-rata (Average)	Standar deviasi (Standard of deviation)
Panjang (Length), μm	3.560,34	$\pm 1.293,86$
Diameter (Diameter), μm	44,15	$\pm 6,38$
Diameter lumen (Lumen diameter), μm	39,58	$\pm 6,20$
Tebal dinding (Wall thickness), μm	2,28	$\pm 0,13$

Kayu agathis memiliki serat dengan panjang $3.560,34 \pm 1.293,86 \mu\text{m}$ dan diameter $44,15 \pm 6,38 \mu\text{m}$. Serat kayu yang panjangnya lebih besar dari $1.600 \mu\text{m}$ tergolong serat sangat panjang (Wheeler *et al.*, 2008), sehingga agathis tergolong kayu yang memiliki serat sangat panjang. Kayu agathis memiliki serat dengan diameter lumen $39,58 \pm 6,20 \mu\text{m}$ dan tebal dinding $2,28 \pm 0,13 \mu\text{m}$. Serat dengan diameter lumen tiga kali lipat atau lebih dari tebal dua dinding serat tergolong serat dengan tebal dinding sangat tipis (Wheeler *et al.*, 2008). Oleh karena diameter lumen serat kayu agathis lebih tiga kali lipat dari tebal dua dinding serat, maka agathis tergolong kayu yang memiliki serat dengan tebal dinding sangat tipis. Agathis (*A. hamii*) adalah salah satu jenis *softwood* (kayu lunak). Ukuran diameter dan panjang trakeidnya sesuai dengan trakeid *softwood* yang memiliki diameter 25-45 μm dan panjang 3.000-4.000 μm (Shmulsky & Jones, 2011). Bila dibandingkan dengan jabon merah (*Anthocephalus macrophyllus*) yang tergolong *hardwood* (kayu keras) yang memiliki berat jenis $0,48 \pm 0,88$ (Lempang, 2014), kayu agathis memiliki berat jenis relatif sama ($0,48 \pm 0,65$). Akan tetapi tebal dinding serat kayu agathis ($2,28 \pm 0,13 \mu\text{m}$) dua kali lebih tipis daripada dinding serat jabon merah ($4,63 \pm 0,88 \mu\text{m}$). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Shmulsky dan Jones (2011) bahwa dinding serat *softwood* pada umumnya lebih tipis daripada dinding serat *hardwood*.

Peranan dimensi serat seperti panjang dan diameter serat serta tebal dinding serat mempunyai hubungan satu sama lain yang kompleks dan mempunyai pengaruh yang mendasar terhadap sifat fisik pulp dan kertas serta produk serat lainnya (Lempang *et al.*, 2013). Pengaruh panjang serat, diameter serat dan tebal

dinding sel serat terhadap kekuatan kertas secara tersendiri lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh faktor nilai turunannya seperti bilangan kelenturan (*fleksibility ratio*), daya tenun, bilangan Rankel (*Rankel ratio*) dan bilangan Muhlsteph (*Muhlsteph ratio*). Jika dimensi serat kayu agathis tersebut di atas diklasifikasikan dan dinilai berdasarkan persyaratan dimensi serat *softwood* sebagai bahan baku pulp dan kertas (DJK, 1976), maka nilai turunan dimensi serat dan klasifikasi kualitas serat kayu agathis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi kualitas serat kayu agathis untuk bahan pembuatan pulp kertas

Table 2. Quality classification on wood fibers of agathis as raw material for paper pulp manufacture

Dimensi serat dan turunan dimensi serat (Fiber dimension and fiber dimensional derivation)	Rata-rata (Average)	Nilai (Score)	Kelas kualitas (Class of quality)
Panjang serat (Fiber length)	3.560,34 μm	100	I
Bilangan Runkel (Runkle ratio)	0,12	100	I
Daya tenun (Felling power)	80,64	75	II
Bilangan fleksibilitas (Flexibility ratio)	0,89	100	I
Bilangan Muhlsteph (Muhlsteph ratio)	19,63 %	100	I
Koefisien kekakuan (Coefficient of rigidity)	0,05	100	I
Total		575	I

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa kayu agathis memiliki serat sangat panjang dengan tebal dinding sel serat sangat tipis. Dinding sel serat yang sangat tipis akan sangat mudah dipipihkan dan serat yang sangat panjang akan menghasilkan daya tenun yang sangat kuat. Sehingga berdasarkan nilai turunan dimensi seratnya, apabila kayu agathis digunakan sebagai bahan baku pembuatan pulp kertas, akan menghasilkan produk kertas dengan sifat kekuatan sangat tinggi (kualitas I).

B. Komponen Kimia

Komponen kimia kayu dibedakan atas komponen yang terikat di dalam dinding sel dan yang mengisi rongga sel. Komponen kimia kayu yang terikat di dalam dinding sel tersusun dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, sedangkan penyusun utama yang terdapat di dalam rongga sel adalah zat ekstraktif. Unit gula yang membentuk hemiselulosa antara lain pentosa, heksosa, asam heksuronat dan deoksi-heksosa. Akan tetapi pada umumnya dalam analisis kayu dan pulp, penentuan kadar pentosa terhadap sejumlah kayu dan pulp menunjukkan kadar

hemiselulosa pada kayu dan pulp tersebut. Komponen kimia di dalam kayu mempunyai arti yang penting karena selain menentukan kegunaan, pengerjaan dan pengolahan suatu jenis kayu, juga dapat digunakan untuk membedakan jenis-jenis kayu dan sebagai pengenalan ketahanan kayu terhadap serangan organisme perusak kayu (Arsad, 2013). Komponen kimia kayu menentukan kesesuaian penggunaan kayu untuk tujuan menghasilkan produk tertentu, misalnya untuk bahan baku pembuatan bioetanol yang cocok adalah kayu dengan kadar selulosa dan pentosan tinggi tetapi dengan kadar lignin dan ekstraktif rendah (Sokanandi *et al.*, 2014). Hasil analisis komponen kimia kayu agathis disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Komponen kimia kayu agathis

Table 3. Chemical components of agathis wood

Komponen kimia (Chemical components)	Kadar, % (Content, %)	Klasifikasi*) (Classification)
Selulosa (Cellulose)	50,52	Tinggi (High)
Pentosan (Pentose)	17,29	Tinggi (High)
Lignin	26,87	Rendah (Low)
Ekstraktif (Extractive):		
Kelarutan dalam air dingin (Solubility in cold water)	2,68	-
Kelarutan dalam air panas (Solubility in hot water)	3,04	-
Kelarutan dalam alkohol- benzena 1:2 (Solubility in alcohol-benzene 1:2)	3,40	Rendah (Low)
Kelarutan dalam NaOH 1% (Solubility in NaOH 1%)	12,34	-
Abu (Ash)	0,30	Rendah (Low)

Keterangan:

*) = Klasifikasi berdasarkan komponen kimia kayu daun jarum (Direktorat Jenderal Kehutanan, 1976).

Remarks:

*) = Classification based on chemical components of soft wood (Direktorat Jenderal Kehutanan, 1976)

Apabila dibandingkan dengan kadar selulosa *softwood*, selulosa kayu agathis (50,52%) juga tergolong tinggi (> 44%). Selulosa merupakan zat yang mendukung kekuatan kayu, sehingga keberadaannya sangat menentukan manfaat kayu untuk pertukangan. Kadar selulosa dalam kayu dapat juga digunakan untuk memperkirakan besarnya rendemen pulp yang dihasilkan dalam proses *pulping*, dimana semakin besar kadar selulosa dalam kayu maka semakin besar pula rendemen pulp yang dihasilkan (Syafii & Siregar, 2006). Selulosa merupakan bahan dasar untuk rayon, pulp, kertas dan derivat selulosa seperti nitro selulosa, selulosa asetat, selulosa alkali dan etil selulosa. Selain itu, selulosa adalah bahan utama pembuatan bioetanol generasi kedua dan jenis kayu yang memiliki kadar selulosa tinggi berindikasi sangat baik digunakan dalam proses pembuatan bioetanol (Sokanandi *et al.*, 2014).

Kadar pentosan agathis adalah 17,35%. Kadar pentosan yang rendah sangat diharapkan

dalam pembuatan pulp untuk rayon dan turunan selulosa. Sebaliknya untuk tujuan pembuatan bioetanol dengan bantuan ragi maka kayu dengan kadar pentosan tinggi sangat dikehendaki (Sokanandi *et al.*, 2014). Kandungan pentosan yang tinggi dapat menyebabkan kerapuhan benang rayon yang dihasilkan. Apabila dihubungkan dengan klasifikasi komponen kimia kayu daun jarum, kadar pentosan agathis tergolong tinggi (>13%).

Lignin merupakan zat yang keras, lengket, kaku dan mudah mengalami oksidasi (Kasmudjo, 2010). Lignin dapat melindungi selulosa dan karbohidrat lain pada dinding serat kayu karena pada lignin terdapat antara lain ikatan aril-alkil dan ikatan eter, dimana ikatan tersebut lebih tahan terhadap hidrolisis/degradasi asam tetapi tidak tahan terhadap alkali (Sokanandi *et al.*, 2014). Lignin dibutuhkan pada kayu dengan tujuan konstruksi karena dapat meningkatkan kekerasan/kekuatan kayu, tetapi tidak dibutuhkan di dalam industri kertas karena lignin sangat sulit dibuang dan menyebabkan produk kertas berwarna cokelat. Kadar lignin berpengaruh pada banyaknya pemakaian bahan kimia dalam pembuatan pulp dengan proses kimia. Untuk menghilangkan lignin diperlukan pemutih/pengelantang senyawa *chlor* yang banyak sehingga akan menambah biaya produksi pulp (Kasmudjo, 2010). Pada proses pengolahan kayu untuk menghasilkan bioetanol, hal yang menghambat adalah kandungan lignin dan ekstraktif, sehingga kayu dengan kadar lignin tinggi tidak dikehendaki untuk pembuatan bioetanol (Sokanandi *et al.*, 2014). Penggunaan metode secara biologis dengan melibatkan spesies jamur atau bakteri, penggunaan senyawa alkali, ozonolisis, organosolv, larutan ionik dan gelombang mikro mempunyai efek delignifikasi yang tinggi (Pandey *et al.*, 2011). Apabila dihubungkan dengan klasifikasi komponen kimia *softwood*, kadar lignin kayu agathis (26,87%) tergolong rendah (< 28%). Kadar lignin agathis tersebut relatif sama dengan jenis *softwood* lainnya jenis *Pinus merkusii* dan *P. insularis* yang masing-masing berkadar lignin 27,16% dan 26,58% (Karlinasari *et al.*, 2010).

Ekstraktif merupakan zat pengisi rongga sel dan merupakan kumpulan banyak zat seperti gula, pati, tanin, pektin, zat warna kayu, asam-asam, minyak-minyak, lemak dan sebagainya (Kasmudjo, 2010). Komponen yang terlarut dalam air dingin adalah tanin, gum, karbohidrat dan pigmen (zat warna kayu), sedangkan yang terlarut dalam air panas adalah sama dengan yang terlarut dalam air dingin tetapi dengan kadar zat yang terlarut lebih besar. Kelarutan ekstraktif kayu agathis dalam air dingin 3,39% dan dalam air panas 4,81%. Khusus untuk kelarutan dalam

alkohol-benzena 1:2, apabila dihubungkan dengan klasifikasi komponen kimia kayu daun jarum, kadar ekstraktif kayu agathis (3,40%) tergolong rendah (< 5%). Jumlah ekstraktif di dalam kayu sekitar 2-8%, tetapi ada juga yang melebihi 8%. Penggunaan kayu untuk tujuan pertukangan disarankan mempunyai kandungan ekstraktif lebih dari 3%, tetapi untuk tujuan pulp bisa 3% atau kurang (Kasmudjo, 2010). Kayu dengan kadar ekstraktif dan lignin yang rendah, secara umum kayunya berwarna lebih muda, dan sebaliknya yang lebih tinggi disamping awet, juga keras dan berwarna lebih tua. Ekstraktif dalam kayu yang tersusun lebih banyak dari jenis karbohidrat (pati/tepung, gula) akan menyebabkan kayu rentan terhadap serangan cendawan dan serangga perusak kayu, sedangkan yang tersusun lebih banyak dari jenis minyak, asam-asam dan garam-garam yang bersifat racun, akan meningkatkan keawetan alami kayu. Kadar ekstraktif yang tinggi di dalam kayu terutama dari kelompok non karbohidrat (minyak, lemak, resin, garam) dapat mengganggu di dalam proses perekatan kayu. Untuk menurunkan kadar ekstraktif kayu dapat dilakukan dengan cara pelarutan melalui proses perendaman (*soaking*), perebusan (*boiling*) atau penguapan (*steaming*) agar kayu mudah direkat. Ekstraktif juga berpengaruh dalam proses *pulping*, dimana semakin tinggi kandungan ekstraktif akan semakin tinggi pula konsumsi bahan kimia yang diperlukan dalam proses *pulping* serta dapat menyebabkan *pitch-problem* yaitu terjadi bintik-bintik pada lembaran pulp yang dihasilkan (Syafii & Siregar, 2006). Dalam pembuatan bioetanol dari kayu (bahan lignoselulosa), zat ekstraktif merupakan penghambat (*inhibitor*) bekerjanya enzim dalam proses hidrolisis dan menurunkan kinerja mikroorganisme dalam proses fermentasi sehingga kecepatan reaksi fermentasi menjadi turun (Sokanandi *et al.*, 2014). Atas dasar itu, kayu dengan kadar ekstraktif tinggi tidak dikehendaki untuk produksi bioetanol.

Kelarutan dalam NaOH 1% kayu agathis sebesar 12,34%. Kelarutan dalam NaOH 1% ini memberikan gambaran adanya kerusakan komponen kimia dinding sel kayu yang diakibatkan oleh serangan jamur pelapuk kayu atau terdegradasi oleh cahaya, panas dan oksidasi (Lempang, 2014). Semakin tinggi kelarutan dalam NaOH 1% berarti semakin tinggi tingkat kerusakan kayu, sehingga penggunaan kayu yang tingkat kerusakannya tinggi untuk bahan baku pembuatan pulp dapat menurunkan rendemen pulp. Kayu yang terdegradasi memungkinkan selulosa dan senyawa karbohidrat mengalami depolimerisasi menjadi senyawa lebih sederhana atau senyawa dengan berat molekul lebih rendah. Hal tersebut banyak membantu proses hidrolisis

dan aktivitas enzim untuk konversi menjadi bioetanol (Sokanandi *et al.*, 2014). Dengan demikian kayu dengan kelarutan NaOH 1% yang tinggi dikehendaki untuk pembuatan bioetanol.

Komponen yang terdapat dalam abu diantaranya adalah K_2O , MgO , CaO dan Na_2O (Lempang *et al.*, 2008). Kadar abu yang tinggi tidak diharapkan dalam pembuatan pulp, karena dapat mempengaruhi kualitas kertas. Apabila dihubungkan dengan klasifikasi komponen kimia kayu daun jarum, kadar abu kayu agathis (0,30%) tergolong rendah (< 0,89%). Jika dilihat dari komponen kimianya, maka kayu agathis sangat baik untuk bahan baku pembuatan pulp kertas karena kadar selulosanya tergolong tinggi, sebaliknya kadar lignin, ekstraktif dan abu tergolong rendah.

C. Sifat Fisis

Sifat fisis kayu adalah spesifik karena peranan faktor dalam (faktor inheren) dari pada struktur kayu sangat menentukan, disamping peranan lingkungan dimana kayu tersebut berada (digunakan). Tiga sifat fisis kayu yang dianggap mendasar yaitu kadar air, penyusutan dan berat jenis kayu (Kasmudjo, 2010). Kadar air jenis kayu sangat tergantung pada volume rongga selnya serta berat jenis kayu tersebut. Ketika dinding sel kehilangan air di bawah titik jenuh serat, maka kekuatan kayu (beberapa sifat mekanik kayu) akan cepat bertambah dengan menurunnya kadar air. Bertambahnya kekuatan ini disebabkan oleh adanya kekakuan dinding sel ketika mengering dan semakin menyatunya zat kayu ketika menyusut. Penyusutan kayu perlu untuk diketahui karena dapat menyebabkan perubahan dimensi (ukuran) dan bentuk (retak-retak, pecah, melengkung, bergelombang, memuntir dan sebagainya). Hasil pengujian sifat fisis kayu agathis disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisis kayu agathis

Table 4. Physical properties of agathis wood

Sifat fisis (Physical properties)	Satuan (Unit)	Rata-rata (Average)	Standar deviasi (Standard of deviation)
Kadar air basah (<i>Green moisture content</i>)	%	102,70	± 6,93
Kadar air kering udara (<i>Air dry moisture content</i>)	%	14,12	± 0,56
Berat jenis nominal basah (<i>Nominal specific gravity</i>)	-	0,43	± 0,03
Berat jenis kering udara (<i>Air dry specific gravity</i>)	-	0,48	± 0,03
Kerapatan (<i>Density</i>)	g/cm ³	0,45	± 0,02
Penyusutan dari kondisi basah ke kering udara: (<i>Shrinkage from green to air dry</i>)			
- Radial	%	1,68	± 0,56
-Tangensial (<i>Tangential</i>)	%	2,26	± 0,36
Penyusutan dari kondisi basah ke kering oven (<i>Shrinkage from green to oven dry</i>):			
- Radial	%	3,17	± 0,82
- Tangensial (<i>Tangential</i>)	%	6,39	± 0,59

Kayu agathis yang masih segar (basah) berkadar air rata-rata 102,70%, kadar air kering udara rata-rata 14,23%. Di dalam pohon yang baru ditebang atau kayu yang masih segar, kondisi kadar air adalah maksimum yang umumnya di atas 40% untuk kayu daun lebar. Sedangkan kadar air kayu kering udara di Indonesia rata-rata 10-18%. Kayu agathis mempunyai berat jenis kering udara rata-rata 0,48 dan kerapatan rata-rata 0,45 g/cm³. Bila dibandingkan dengan *softwood* lainnya, kayu *A. hamii* memiliki kerapatan relatif sama dengan *Agathis sp.* (0,42 g/cm³) (Ishiguri *et al.*, 2012), tetapi lebih rendah dari *P. merkusii* (0,55 g/cm³) (Karlinsari *et al.*, 2010). Tebal dinding serat, jumlah dan diameter sel pembuluh, maupun jumlah sel parenkim menentukan kerapatan kayu (Lempang, 2014; Lempang, 2016). Tebal dinding serat kayu agathis rata-rata 2,28 µm yang tergolong sangat tipis, sehingga penyusutan kayu tersebut dari keadaan basah ke kering udara pada arah tangensial yang besarnya rata-rata 2,26% tergolong sedang (1,5-2,5%) dengan rasio penyusutan dimensi arah tangensial terhadap arah radial (rasio T/R) sebesar 1,35. Berat jenis, struktur anatomi dan ratio T/R mempengaruhi sifat pengeringan kayu. Kayu dengan rasio T/R di atas 2 memiliki cacat pengeringan (terutama cacat bentuk) lebih banyak dibandingkan kayu dengan rasio T/R seimbang atau kurang dari 2 (Basri *et al.*, 2009). Hal ini menunjukkan jika kayu agathis memiliki dimensi stabil dan mudah dikeringkan.

D. Sifat Mekanis

Sifat mekanis kayu sering disebut juga dengan kekuatan kayu, yaitu sifat-sifat kayu yang dihubungkan dengan kemampuan kayu dalam menahan suatu beban atau muatan yang diberikan kepada kayu tersebut. Dalam berbagai penggunaan kayu, kekuatan kayu sangat penting untuk diketahui, terutama jenis-jenis kayu yang diperdagangkan dan kegunaannya untuk konstruksi (Kasmudjo, 2010). Hasil pengujian sifat mekanis kayu agathis disajikan pada Tabel 5.

Pada umumnya klasifikasi kekuatan kayu di Indonesia didasarkan pada berat jenis, dan sifat mekanis tertentu seperti keteguhan lentur pada batas patah (keteguhan lentur maksimum) dan keteguhan tekan sejajar serat kayu dalam kondisi kering udara. Sifat mekanis lainnya juga penting diketahui terkait dengan pengolahan dan pemanfaatan kayu untuk keperluan tertentu. Kekuatan setiap jenis kayu selalu berbeda-beda, dan dinyatakan dalam kelas kuat kayu. Kekuatan kayu tergantung pada beberapa faktor, antara lain suhu lingkungan, sifat struktur anatomi kayu, berat jenis, kadar air, lamanya pemberian gaya/beban, umur pohon dan kecepatan tumbuhnya (Kasmudjo, 2010). Untuk menetapkan kelas kuat kayu agathis, maka dilakukan

klasifikasi kekuatan dengan menggunakan hubungan antara nilai berat jenis kering udara dengan keteguhan lentur pada batas patah dan keteguhan tekan sejajar serat disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Sifat mekanis kayu agathis

Table 5. Mechanical properties of agathis wood

Sifat mekanis (Mechanical properties)	Satuan (Unit)	Rata-rata (Average)	Standar deviasi (Standard of deviation)
Keteguhan lentur pada batas proporsi (Bending strength at proportional limit)	kg/cm ²	505,82	± 39,10
Keteguhan lentur pada batas patah (Bending strength at failure), MOR	kg/cm ²	561,48	± 41,35
Modulus elastisitas (Modulus of elasticity), MOE	kg/cm ²	44.787,48	± 4.858,82
Keteguhan tekan sejajar serat (Compressive strength parallel to the grain)	kg/cm ²	393,13	± 57,05
Keteguhan tekan tegak lurus serat (Compressive strength perpendicular to the grain)	kg/cm ²	127,07	± 17,52
Keteguhan geser sejajar serat (Shearing strength parallel to the grain)	kg/cm ²	74,33	± 16,65
Keteguhan pukul (Impact bending strength)	kg/dm ³	32,69	± 1,97

Keterangan (Remarks):

MOR = Modulus patah (Modulus of rupture)

MOE = Modulus elastisitas (Modulus of elasticity)

Tabel 6. Klasifikasi kekuatan kayu agathis

Table 6. Wood strength classification of agathis wood

Sifat kayu (Wood properties)	Satuan (Unit)	Rata-rata (Average)
Berat jenis kering udara (Air dry specific gravity)	-	0,48
Keteguhan lentur pada batas patah (Bending strength at failure), MOR	kg/cm ²	561,48
Keteguhan tekan sejajar serat (Compressive strength parallel to the grain)	kg/cm ²	393,13
Kelas kuat (Strength class)	-	III

Keterangan (Remark):

MOR = Modulus patah (Modulus of rupture)

Hasil klasifikasi kekuatan kayu pada Tabel 6 menunjukkan bahwa agathis tergolong kayu kelas kuat III. Hal ini menjelaskan jika kayu agathis digunakan sebagai kayu struktural, maka hanya cocok untuk komponen struktural dengan beban ringan sampai sedang.

E. Kegunaan

Hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya membuktikan bahwa masing-masing produk kayu yang akan dibuat menuntut persyaratan sifat kayu yang berbeda. Ini berarti tidak semua jenis kayu cocok digunakan untuk satu jenis produk dan tidak semua jenis produk berkualitas tinggi dapat dibuat hanya dari satu jenis kayu saja. Yang harus diperhatikan adalah kesesuaian antara sifat kayu dengan jenis produk yang akan dibuat (tujuan) dan dengan proses pengolahan yang akan diaplikasikan (Wahyudi, 2013).

Kayu agathis memiliki berat jenis 0,48 dan tergolong kayu kelas kuat III, mudah dikeringkan tanpa banyak cacat, mudah dikerjakan dan apabila diserut menimbulkan permukaan licin dan mengkilap. Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki dan informasi penggunaan kayu secara lokal oleh masyarakat, kayu agathis dapat digunakan untuk bahan bangunan rumah (kaso, reng dan rangka dinding/plafon) dan sebagai komponen non struktural seperti papan pelapis dinding (*siding*), partisi, plafon (*ceiling*) dan lis. Sedangkan pada bangunan kapal/perahu, kayu agathis hanya cocok digunakan sebagai papan dinding, plafon dan lis untuk rumah geladak. Kayu agathis juga dapat digunakan untuk mebel (meja, kursi dan lemari), kerajinan (ukiran, mainan anak-anak, peralatan dapur), *pallet*, peti pembungkus, kotak lebah dan bahan baku industri perkerajinan (*moulding*, alat ukur dan gambar, pensil, kayu lamina, kayu lapis, kotak dan batang korek api, tusuk gigi, sendok dan gagang es krim, papan partikel, papan semen, papan serat, pulp dan kertas serta bioetanol).

Kayu untuk mebel berdasarkan SNI 01-0608-1989 minimum kayu kelas kuat III dengan berat jenis (BJ) antara 0,40-0,60 (Krisdianto & Dewi, 2012), bertekstur agak halus sampai sangat halus (Kasmudjo, 2010), mudah dikerjakan, dimensi stabil, serta memiliki nilai dekoratif atau penampilan yang indah (Prayitno, 2007). Agathis tergolong kayu yang cukup dekoratif, memiliki berat jenis 0,48 dan tergolong kelas kuat III, penyusutan sedang, dimensinya stabil, tekstur halus, permukaan kayu mengkilap, kesan raba licin, kekerasan tergolong agak lunak dan mudah dikerjakan, sehingga cocok untuk bahan baku mebel. Kayu jabon merah (*Anthocephalus macrophyllus* (Roxb.) Havil) yang berwarna kekuning-kuningan sedikit mengarah ke merah,

berat jenis 0,48, tergolong kelas kuat III, penyusutan rendah, tekstur halus sampai agak kasar dan kekerasan tergolong agak lunak (Lempang, 2014) dicampur dengan kayu agathis dalam pembuatan mebel oleh masyarakat di kabupaten Luwu Timur Propinsi Sulawesi Selatan. Selain untuk mebel, kayu agathis juga dipakai untuk membuat *kontainer* untuk *steaming* (pemanasan dengan uap) yang digunakan di tempat-tempat spa.

Kayu untuk bahan baku industri kerajinan/kreatif adalah jenis kayu yang berasal dari jenis pohon cepat tumbuh sehingga mudah didapat dan harganya murah, kerapatan kayu rendah sehingga mudah dikerjakan, lebih disenangi kayu yang berwarna terang, tekstur kayu tergolong halus sampai moderat, serat lurus, permukaan rata dan sangat diharapkan yang mempunyai dekoratif unik (Pandit *et al.*, 2011). Kayu agathis memiliki sifat-sifat tersebut sehingga sangat cocok untuk bahan baku industri kerajinan/kreatif.

Kayu untuk bahan baku produksi vinir pada umumnya menggunakan kayu yang memiliki kerapatan 0,40-0,70 g/cm³, yang terbaik kayu yang memiliki kerapatan 0,50-0,55 g/cm³. Jabon merah memiliki kerapatan 0,45 g/cm³ dan sifat kekerasan yang tergolong sedang, sehingga akan mudah dikupas dalam kondisi dingin tanpa mendapatkan perlakuan pemanasan melalui proses perebusan atau penguapan. Permukaan kayu agathis cukup dekoratif, tekstur halus, arah serat lurus, permukaan kayu mengkilap dan kesan raba licin, sehingga vinir yang dihasilkan dari kayu ini sangat baik untuk vinir muka pada produk kayu lapis, vinir untuk membuat kotak dan batang korek api serta tusuk gigi.

Sifat terpenting dari kayu yang berpengaruh terhadap kesesuaian bahan baku kayu untuk papan partikel adalah berat jenis. Kayu yang cocok untuk papan partikel adalah kayu yang memiliki berat jenis rendah hingga sedang. Kisaran berat jenis kayu yang pernah dibuat dan menghasilkan papan partikel yang memuaskan adalah antara 0,40-0,72 (Prabawa, 2005 dalam Lempang, 2016). Berdasarkan hal tersebut maka kayu agathis dengan berat jenis 0,48 cocok bila digunakan untuk bahan baku papan partikel. Selain untuk papan partikel, juga berpotensi untuk bahan baku produk panel berserat seperti papan serat berkerapatan tinggi (*Hardboards*) dan papan serat berkerapatan sedang (*Medium Density Fiberboards-MDF*).

Berdasarkan kriteria IAWA (Wheeler *et al.*, 2008) berat jenis kayu dibedakan dalam tiga kelompok yaitu rendah (< 0,40), sedang (0,40-0,75) dan tinggi (> 0,75). Berat jenis kayu yang digunakan untuk pulp berkisar antara 0,35-0,65. Akan tetapi secara umum kayu dengan berat jenis

- properties in *Agathis* sp. planted in Indonesia. *Wood Research Journal*, 3(1), 1–5.
- ITTO. (2009). Strengthening the capacity of promote efficient wood processing technology in Indonesia (Technical Report No.7 International Tropical Timber Organization).
- JIS. (2003). *Standard methods of testing small clear specimens of timber*. Tokyo, Japan: Japan Industrial Standard (JIS).
- Karlinasari, L., Nawawi, D. S., & Widayani, M. (2010). Kajian sifat anatomi dan kimia kayu kaitannya dengan sifat akustik kayu. *Bionatura-Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Dan Fisik*, 12(3), 110–116.
- Kartasujana, I., & Martawijaya, A. (1977). *Ciri umum, sifat dan kegunaan jenis-jenis kayu Indonesia. Publikasi khusus No. 41*. Bogor: Lembaga Penelitian Hasil Hutan.
- Kasmudjo. (2010). *Teknologi Hasil Hutan*. Yogyakarta: Cakrawala Media.
- KEMENHUT. (2014). *Statistik Kementerian Kehutanan Tahun 2013*. Jakarta: Kementerian Kehutanan (KEMENHUT).
- KLHK. (2016). *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2015*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).
- Krisdianto, & Dewi, L. M. (2012). *Jenis Kayu Untuk Mebel*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Lempang, M. (2014). Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu jabon merah. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 3(2), 163–175.
- Lempang, M. (2016). Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu saling-saling. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 5(1), 79–90.
- Lempang, M., & Asdar, M. (2012). Beberapa sifat dasar dan kegunaan tiga jenis kayu kurang dikenal asal hutan alam di Sulawesi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(1), 27–39.
- Lempang, M., Asdar, M., & Rulliaty, S. (2013). Struktur anatomi, sifat fisik dan mekanik kayu kambelu dan kanduruan dari hutan alam di Sulawesi Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(1), 27–35.
- Lempang, M., Pari, G., & Asdar, M. (2008). Analisis kimia dan destilasi kering kayu kumea batu. *Buletin Hasil Hutan*, 14(1), 45–52.
- Mandang, Y. I. (2013). *Xylarium bogoriense dan peranannya dalam penelitian anatomi dan pengenalan aneka jenis kayu Indonesia (Makalah Diskusi Anatomi Kayu Indonesia, tanggal 3-4 Juni 2013, Bogor)*. Bogor.
- Muslich, M., Wardani, M., Kalima, T., Rulliaty, S., Darmayanti, R., Hajib, N., ... Tata, H. L. (2013). *Atlas Kayu Indonesia Jilid IV*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Pandey, A., Larroche, C., Ricke, S. C., Dussap, C. G., & Gnansoonou, E. (2011). *Biofuels: Alternative feedstock and conversion proses*. Oxford: Elsevier inc.
- Pandit, I. K. N., Nandika, D., & Darmawan, I. W. (2011). Analisis sifat dasar kayu hasil hutan tanaman rakyat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 16(2), 199–224.
- Prayitno, T. A. (2007). *Pertumbuhan dan Kualitas Kayu. Lecture Note Program Magister Riset S2*. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada.
- Shmulsky, R., & Jones, P. D. (2011). *Forest Products and Wood Science: An Introduction (Sixth)*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Sokanandi, A., Pari, G., Setiawan, D., & Saepuloh. (2014). Komponen kimia sepuluh jenis kayu kurang dikenal: Kemungkinan penggunaan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(3), 209–210.
- Sudarsono, Rusianto, T., & Suryadi, Y. (2010). Pembuatan papan partikel berbahan baku sabut kelapa dengan bahan pengikat alami (Lem kopal). *Jurnal Teknologi*, 3(1), 22–32.
- Sugeng. (2013). Klasifikasi *agathis*. <http://www.klasifikasitanaman.com/2013/08/klasifikasi-tanaman-agathis.html>. Diakses tanggal 25 Juli 2017.
- Syafii, W., & Siregar, I. Z. (2006). Sifat kimia dan dimensi serat kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kayu Tropis*, 4(1), 28–32.
- TAPPI. (1993). *TAPPI Test methods*. Atlanta, Georgia: Treaty of American Pulp and Paper Industry (Tappi).
- Wahyudi, I. (2013). *Hubungan struktur anatomi kayu dengan sifat kayu, kegunaan dan pengolahannya. Makalah Diskusi Anatomi Kayu Indonesia, tanggal 3-4 Juni 2013, Bogor*. Bogor.
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Gasson, E. (2008). *Ciri Mikroskopik Untuk Identifikasi Kayu Daun Lebar. Alih bahasa Sulistyobudi, A., Mandang, Y.I, Damayanti, R. & Rulliaty, S. dari judul asli IAWA list of microscopic features for hardwood identification*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.