



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*)

Ucapan Terima Kasih

Dewan Penyunting Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Apri Heri Iswanto, S.Hut., M.Si. (USU)
Dr. Effendi Tri Bahtiar, S.Hut., M.Si. (IPB)
Prof. Dr. Enos Tangke Arung, S.Hut., M.P. (UNMUL)
Dr. Ganis Lukmandaru (UGM)
Prof.(R). Dr. Gustan Pari, B.Sc., Dipl.IV, M.Si. (PUSTEKOLAH-KLHK)
Ir. Ihak Sumardi, S.Hut., Ph.D. (ITB)
Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.S. (UNHAS)
Dr. Ir. Naresworo Nugroho, M.S. (IPB)
Ir. Nyoman J Wistara, M.S., Ph.D. (IPB)
Dr. Ragil Widyorini, S.T., M.T. (UGM)
Dr. Ir. Rita Kartika Sari, M.Si. (IPB)
Dr. Saptadi Darmawan, S.Hut., M.Si. (PUSTEKOLAH -KLHK)
Prof. Dr. Wasrin Syafii, M.Agr. (IPB)
Dr. Widya Fatriasari, S.Hut., M.M. (LIPI)
Prof. Buan Anshari, Ph.D. (Unram)
Prof. Dr. Agus S Budi (Unmul)
Dr. Atmawi Darwis (ITB)
Dr. Rudi Hartono (USU)
Prof. Dr. Fauzi Febrianto (IPB)
Dr. Wahyu Hidayat (Unila)
Dr. Istie Sekartining Rahayu (IPB)

Sebagai penelaah naskah Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis Volume 18 Nomor 1 tahun 2020.

Daftar Isi

Pengaruh Jenis Perekat terhadap Sifat Papan Partikel dari Campuran Limbah Vinir Sengon dan Bagas Sorgum (The Effect of Resin Types on the Properties of Particleboard from Waste Veneer of Sengon and Sorghum Bagasse Mixture) Jajang Sutiawan, Suci Mardhatillah, Dede Hermawan, Firda A Syamani, Subyakto, Sukma S Kusumah	1-10
Pengaruh Modifikasi Steam dan Pembilasan NaOH terhadap Keasaman Enam Jenis Bambu (Effect of Steam and NaOH Rinsing Modification on Acidity of Six Bamboo Species) Muhammad I Maulana, Marwanto Marwanto, Sena Maulana, Aginsa T Putri, Nicken O Putri, Denni Prasetya, Deded S Nawawi, Siti Nikmatin, Fauzi Febrianto, Nam-Hun Kim.....	11-18
Identifikasi Senyawa Ekstraktif Kayu Cendana Papua dan Potensinya Sebagai Pengusir Nyamuk (Identification of Extractives Compounds from Cendana Papua Wood and Its Potential as Mosquito Repellent) Mulyana Arifudin, Renny Purnawati, Abdul Azis	19-26
Prediksi Nilai Kuat Lentur Kayu Tropis Berdasarkan Nilai Modulus Elastis (Prediction of Timber Bending Strength of Tropical Timbers Based on Its Modulus of Elastic) Ali Awaludin, Urwatul Wusqo	27-42
Sifat-Sifat Arang Aktif Kulit Batang Sagu Hasil Karbonisasi Hidrotermal (The Properties of Hydrothermal Sago Bark Activated Charcoal) Herman Siruru, Wasrin Syafii, Nyoman J Wistara, Gustan Pari.....	43-56

**Pengaruh Jenis Perekat terhadap Sifat Papan Partikel dari Campuran
Limbah Vinir Sengon dan Bagas Sorgum**
*(The Effect of Resin Types on the Properties of Particleboard from Waste
Veneer of Sengon and Sorghum Bagasse Mixture)*

Jajang Sutiawan¹, Suci Mardhatillah¹, Dede Hermawan^{1*}, Firda A Syamani², Subyakto²,
Sukma S Kusumah²

¹ Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Jl. Ulin, Kampus IPB Darmaga,
16680

² Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Raya Bogor
Km. 46, Cibinong, 16911

*Penulis korespondensi: mr.dede.hermawan@gmail.com

Abstract

The waste of wood and agricultural industries are potential raw material of particleboard production. The purpose of this study was to evaluate the effect of adhesive types on the physical and mechanical properties of particleboard prepared from the waste veneer of sengon and sorghum bagasse particle mixture. The variations of adhesive used in this study were 10% urea-formaldehyde (UF), 10% phenol-formaldehyde (PF), and 20% citric acid (CA). The ratio between sengon waste veneer and sorghum bagasse particles used was 25:75 by weight. The physical and mechanical properties of particleboard were examined referring to the Japanese Standard JIS A 5908:2003. The results showed that the resulting particleboards' physical properties with CA adhesive were the best among others. Meanwhile, the particleboards with UF adhesive were the best in mechanical properties. It was found that the moisture content, thickness swelling, modulus of rupture, and internal bond of the particleboards fulfilled JIS A 5908:2003 requirements for particleboard type 8.

Keywords: citric acid, particleboard, phenol formaldehyde, sengon veneer, sorghum bagassese, urea formaldehyde

Abstrak

Limbah industri perkayuan dan pertanian memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku dalam pembuatan papan partikel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis perekat terhadap sifat fisis dan mekanis papan partikel. Papan partikel dibuat dengan menggunakan perekat 10% urea formaldehida (UF), 10% fenol formaldehida (PF) dan 20% asam sitrat (CA). Komposisi campuran bahan baku partikel vinir sengon dan bagas sorgum yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25:75 berdasarkan berat. Karakteristik papan partikel diuji secara fisis dan mekanis berdasarkan standar JIS A 5908:2003. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sifat fisis terbaik dimiliki oleh papan yang dibuat dengan perekat CA. Sementara itu, sifat mekanis terbaik dimiliki oleh papan yang dibuat dengan perekat UF. Berdasarkan hasil penelitian, kadar air, pengembangan tebal, keteguhan patah, dan keteguhan rekat papan partikel telah memenuhi standar JIS A 5908:2003 untuk papan partikel.

Kata Kunci: asam sitrat, bagas sorgum, fenol formaldehida, papan partikel, urea formaldehida, vinir sengon

Pendahuluan

Papan partikel merupakan salah satu jenis panel yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan panel lainnya. Selain itu bahan baku papan partikel dapat berasal dari berbagai macam bahan berlignoselulosa yang berasal dari limbah industri perkayuan seperti industri kayu lapis dan juga limbah pertanian seperti bagas sorgum. Purwanto (2009) menyebutkan bahwa limbah industri kayu lapis mencapai 58,41% yang terdiri dari limbah vinir basah sebesar 8,50% dan vinir kering sebesar 9,60% dari total limbah kayu yang dihasilkan. Sementara itu, Pabendon *et al.* (2012) menyatakan bahwa rata-rata biomassa bagas sorgum adalah sebesar 23,06 ton ha⁻¹, sedangkan rata-rata biomassa bagas sorgum sebesar 4,89 ton ha⁻¹. Pencampuran kedua limbah tersebut sebagai bahan baku papan partikel pernah dilakukan oleh Mardhatillah (2018) yang menunjukkan bahwa penambahan 75% partikel bagas sorgum dalam pembuatan papan partikel dengan limbah vinir sengon meningkatkan sifat fisis dan mekanis papan partikel yang dihasilkan.

Papan partikel diproduksi secara komersial menggunakan perekat berbasis formaldehida, yaitu urea formaldehida untuk papan partikel interior dan fenol formaldehida untuk papan partikel eksterior (Chaturvedi & Pappu 2016). Penggunaan perekat berbasis formaldehida masih menjadi pilihan bagi industri karena harganya yang relatif murah dan mampu menghasilkan papan partikel dengan karakteristik yang memenuhi standar (Zhang *et al.* 2018). Namun, perekat berbasis formaldehida dapat menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan (Salem & Böhm 2013, Ferdosian *et al.* 2017, Zhang *et al.* 2018). Upaya untuk mengatasi permasalahan

tersebut antara lain dengan mengembangkan papan partikel menggunakan perekat ramah lingkungan berbasis asam organik seperti asam sitrat. Asam sitrat sebagai perekat alami mulai dikembangkan dalam *molding* kayu (Umemura *et al.* 2012) dan papan partikel (Umemura *et al.* 2013, Umemura *et al.* 2014, Umemura *et al.* 2015, Liao *et al.* 2016, Kusumah *et al.* 2016). Penggunaan asam sitrat sebagai perekat menghasilkan papan partikel dengan kualitas yang baik dan memenuhi standar JIS A 5908-2003 (JAS 2003). Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh jenis perekat terhadap kualitas papan partikel campuran vinir sengon dan bagas sorgum.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan yang digunakan antara lain yaitu limbah vinir sengon (*Falcataria molluccana*) yang didapatkan dari PT Goenoeng Poetri Lestari Tasikmalaya dan limbah bagas sorgum (*Sorghum bicolor*) yang didapatkan dari lahan percobaan di Kawasan Cibinong Science Center, Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, perekat UF (SC 50%), perekat PF (SC 50%) dan perekat CA (SC 59%).

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari timbangan digital, *hot press*, *mixer*, *gun sprayer*, kaliper, desikator, *chipper*, *ring flaker*, kamera, alat tulis, oven, pH meter, mikroskop digital dan *Universal Testing Machine*, sedangkan untuk perlengkapan terdiri dari cetakan papan ukuran (30×30) cm², teflon, plat besi, plastik bening, label, karet gelang, baut, dan obeng.

Pengujian pH vinir sengon dan bagas sorgum

Prosedur penentuan pH ini mengacu pada metode yang dilakukan oleh Johns dan Niazi (1980) dengan beberapa modifikasi. Sebanyak 2 gram serbuk 40-60 mesh dimasukan dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan air destilata dengan perbandingan 10 kali massa serbuk. Erlenmeyer yang sudah terisi serbuk dipanaskan selama 30 menit pada suhu 70 °C dalam *waterbath* di atas permukaan air. Selanjutnya sampel disaring dengan *glass filter* atau kertas saring, lalu filtrat didinginkan dan nilai pH diukur dengan pH meter.

Persiapan bahan baku

Limbah vinir sengon dan limbah bagas sorgum dibuat partikel dengan mesin *chipper*, yang kemudian digiling menggunakan *ring flaker* dan disaring hingga lolos ukuran 4 mesh dan tertahan 14 mesh. Partikel kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60 °C hingga mencapai kadar air dibawah 10%. Komposisi perbandingan sengon:bagas sorgum yang digunakan adalah 25:75. Setelah itu, melakukan penimbangan partikel sengon, partikel bagas sorgum, perekat UF, PF, dan CA yang mengacu pada penelitian Iswanto *et al.* (2014) dan Kusumah *et al.* (2016) dan sesuai perhitungan bahan dengan kerapatan target 0,8 g cm⁻³ dengan kadar perekat UF dan PF sebesar 10% dan CA 20% dari berat bahan.

Pembuatan papan partikel

Pembuatan papan partikel diawali dengan proses pencampuran partikel (sengon dan bagas sorgum) dan perekat (UF, PF, dan CA) dengan memasukkan partikel ke dalam *mixer* kemudian perekat disemprotkan menggunakan *gun sprayer* secara merata. Setelah dicampur

rata, hasil pencampuran menggunakan perekat CA dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80 °C selama 12 jam yang bertujuan mengurangi kadar air bahan setelah dicampur perekat. Kemudian, bahan dimasukan ke dalam cetakan berukuran panjang dan lebar (30×30) cm² dengan diberi alas kertas teflon dan sisinya diberi pembatas plat besi setebal 1 cm. Pengempaan panas dilakukan selama 10 menit dengan tekanan spesifik 25 kgf cm⁻² pada suhu 130 °C untuk perekat UF, 150 °C untuk perekat UF, dan 200 °C untuk perekat CA.

Pengkondisian dan pengujian papan partikel

Pengkondisian papan partikel dalam penelitian ini dilakukan selama 7 hari. Pengujian sifat fisis dan mekanis papan partikel mengacu pada standar JIS A 5908:2003. Pengujian sifat fisis terdiri dari kerapatan, kadar air, daya serap air, dan pengembangan tebal, sedangkan pengujian sifat mekanis terdiri dari keteguhan lentur, keteguhan patah, keteguhan rekat, dan kuat pegang sekrup.

Pengujian kerapatan dilakukan menggunakan sampel berukuran panjang, lebar, dan tebal (5×5×1) cm³, penentuan kerapatan dinyatakan dalam hasil perbandingan antara massa dan volume papan. Pengujian kadar air dilakukan menggunakan sampel berukuran (5×5×1) cm³, pengujian kadar air dihitung berdasarkan massa awal (BB) dan massa akhir setelah pengeringan dalam oven selama 24 jam (BKT) pada suhu 103 ±2 °C. Pengujian daya serap air dilakukan dengan menggunakan sampel berukuran (5×5×1) cm³, daya serap air didapatkan dari selisih massa sebelum direndam (B1) dan massa setelah direndam selama 24 jam (B2) pada sampel. Pengujian pengembangan tebal dilakukan dengan

menggunakan sampel berukuran $(5 \times 5 \times 1)$ cm^3 . Pengembangan tebal didapatkan dari selisih tebal awal sebelum direndam (T1) dan tebal setelah direndam selama 24 Jam (T2) pada sampel.

Pengujian keteguhan lentur dan keteguhan patah diawali dengan menyiapkan sampel berukuran panjang, lebar dan tebal $(20 \times 5 \times 1)$ cm^3 , kemudian diuji menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine*. Pengujian keteguhan rekat dilakukan dengan menggunakan sampel berukuran $(5 \times 5 \times 1)$ cm^3 . Sampel direkatkan pada dua buah blok besi dengan lem epoksi dan dibiarkan mengering selama 2×24 jam. Kedua blok besi kemudian ditarik tegak lurus permukaan sampel sampai beban maksimum. Pengujian kuat pegang sekrup dilakukan dengan menggunakan sampel berukuran $(10 \times 5 \times 1)$ cm^3 , dimana sekrup dipasang pada permukaan sampel, kemudian sekrup ditarik menggunakan *Universal Testing Machine*.

Analisis data

Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 1 faktor. Faktor yang dianalisis yaitu jenis perekat dengan 3 taraf UF, PF, dan CA, masing-masing perlakuan dibuat sebanyak 3 kali ulangan. Analisis data penelitian ini menggunakan selang kepercayaan 95%, apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka hasil yang didapat berbeda nyata, dan dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan*.

$$Y_i = \mu + A_i + \epsilon_{ik}$$

Keterangan:

Y_i : Nilai respon pada taraf ke-i faktor jenis perekat

μ : Rataan umum

A_i : Pengaruh perbedaan jenis perekat pada taraf ke-i

i : Perbedaan jenis perekat pada taraf perekat UF, PF, dan CA

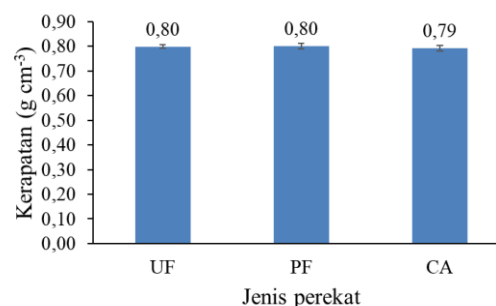
k : Ulangan 1,2, dan 3

ϵ_{ik} : Kesalahan (Galat I) percobaan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-k.

Hasil dan Pembahasan

Kerapatan

Kerapatan papan partikel dalam penelitian ini berkisar 0,79-0,80 g cm^{-3} (Gambar 1). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel yang dihasilkan, sehingga kerapatan papan partikel dalam penelitian ini seragam. JIS A 5908:2003 menyaratkan kerapatan papan partikel sekitar 0,4-0,9 g cm^{-3} , dengan demikian semua papan partikel memenuhi standar JIS A 5908:2003.

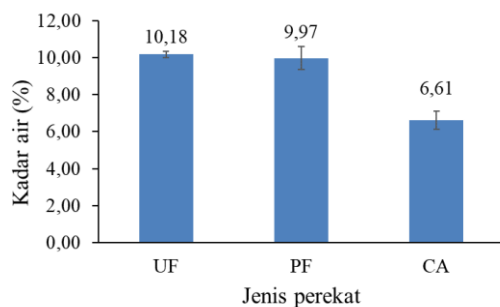


Gambar 1 Kerapatan papan partikel.

Hasil penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) papan partikel sengan dengan perekat asam sitrat-sukrosa (CAS) didapatkan rata rata kerapatan sebesar 0,77 g cm^{-3} . Hasil penelitian Iswanto *et al.* (2014) yang membuat papan partikel dari bagas sorgum dengan menggunakan perekat UF, PF, dan Isosianat kerapatan papan partikel berkisar 0,68-0,81 g cm^{-3} . Sementara itu hasil penelitian Iswanto *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel campuran bagas sorgum dengan kayu (kompisisi 50:50) menggunakan perekat UF berkisar 0,62-0,66 g cm^{-3} .

Kadar air

Kadar air papan partikel yang dibuat dengan menggunakan perekat CA lebih rendah dibanding perekat UF dan PF (Gambar 2). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap kadar air papan partikel. Perekat UF dan PF merupakan jenis perekat cair dengan *solid content* 50%, kadar air papan partikel yang tinggi pada kedua jenis perekat ini dapat disebabkan oleh penggunaan jenis perekat yang berupa cairan. Bowyer (2003) menyatakan bahwa apabila pada pembuatan papan partikel menggunakan perekat cair maka partikel yang digunakan harus memiliki kadar air (2-5%) karena penggunaan perekat cair akan menambah kadar air sebesar $\pm 4-6\%$.



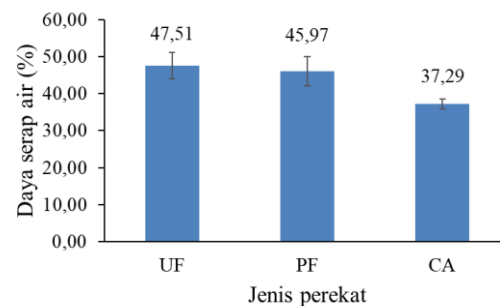
Gambar 2 Kadar air papan partikel.

Syarat mutu kadar air papan partikel menurut JIS A 5908:2003 berkisar antara 5-13%, dengan demikian nilai kadar air papan partikel hasil penelitian ini memenuhi persyaratan standar tersebut. Hasil penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) kadar air papan partikel sengan dengan menggunakan perekat CAS berkisar 4,45-7,07%. Sementara itu, hasil penelitian Iswanto *et al.* (2014) papan partikel bagas sorgum menggunakan perekat UF, PF, dan isosianat berkisar 2,92-11,06% dan penelitian Iswanto *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kadar air papan

partikel bagas sorgum yang diperkuat dengan anyaman bambu, vinir, dan strand bambu berkisar 4,14-7,84%.

Daya serap air

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap daya serap air papan partikel. Daya serap air papan partikel dengan menggunakan perekat UF lebih besar dibanding perekat PF dan CA (Gambar 3), hal ini diduga karena perekat UF adalah perekat yang kurang tahan terhadap air, sehingga air dapat dengan mudah merusak ikatan-ikatan antara perekat dan partikel kayu. Maloney (1993) menyatakan bahwa terdapat kelemahan utama perekat UF yaitu terjadi kerusakan pada ikatannya terutama disebabkan oleh air dan kelembaban.



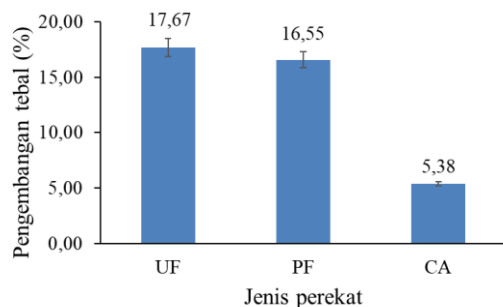
Gambar 3 Daya serap air papan partikel.

Daya serap air papan partikel bagas sorgum penelitian Iswanto *et al.* (2014) dengan menggunakan perekat UF, PF, dan Isosianat berkisar 40,77-124,33%. Sementara itu, papan partikel sengan dengan perekat CAS berkisar 21-35% (Widyorini & Nugraha 2015). Daya serap air papan partikel dengan perekat CA memiliki kestabilan dimensi yang baik. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Kusumah *et al.* (2016) yang menunjukkan bahwa papan partikel dari bagas sorgum dengan perekat CA memiliki kestabilan dimensi yang tinggi.

Perekat CA dapat mengurangi penyerapan air pada papan selama proses perendaman, hal itu diduga karena adanya ikatan ester antara gugus karboksil pada asam sitrat dengan gugus hidroksil pada bahan baku. Ikatan ester tersebut bersifat hidrofobik (Widyorini *et al.* 2015). JIS A 5908:2003 tidak memberikan persyaratan terhadap nilai daya serap air pada papan partikel.

Pengembangan tebal

Pengembangan tebal pada perekat UF lebih tinggi dibanding perekat PF dan CA (Gambar 4). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap pengembangan tebal papan partikel. JIS A 5908:2003 memberikan persyaratan untuk pengembangan tebal maksimum sebesar 12%, dengan demikian papan partikel dengan perekat UF dan PF tidak memenuhi standar JIS A 5908:2003, sedangkan papan partikel dengan CA memenuhi standar JIS A 5908:2003.



Gambar 4 Pengembangan tebal papan partikel.

Pengembangan tebal papan partikel dalam penelitian ini lebih rendah dibanding papan partikel bagas sorgum penelitian Iswanto *et al.* (2016) dengan menggunakan perekat UF yaitu berkisar 22,08-26,46% dan Khazaeian *et al.* (2015) sebesar 26,7%. Sementara itu, pengembangan tebal papan partikel

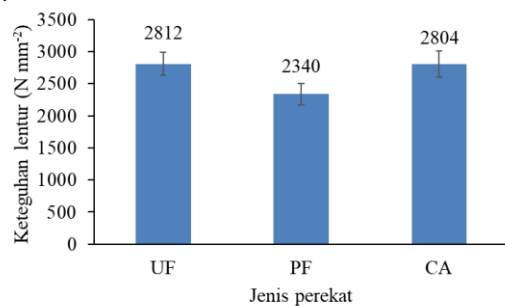
penelitian ini lebih tinggi dibanding pengembangan tebal papan partikel penelitian Kusumah *et al.* (2016) dengan menggunakan perekat CA (kadar perekat 30%) yaitu sebesar 9,02% dan pengembangan tebal papan partikel dari sengan penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) dengan menggunakan perekat CAS (kadar perekat 15%) yaitu sebesar 2,90%.

Keteguhan lentur

Papan partikel yang dibuat dengan menggunakan perekat UF dan CA memiliki keteguhan lentur yang lebih tinggi dibanding dengan menggunakan perekat PF (Gambar 5). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap keteguhan lentur papan partikel. Penyebab lebih rendahnya keteguhan lentur papan partikel menggunakan perekat PF tersebut adalah karakteristik dari bahan baku tidak cocok dengan perekat PF (bersifat asam), sorgum memiliki pH 5,60 dan sengan memiliki pH 5,78. Hasil penelitian ini sejalan dengan Iswanto *et al.* (2014) yang menghasilkan papan partikel bagas sorgum dengan perekat UF memiliki keteguhan lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan perekat PF. Maloney (1993) menyatakan sifat keasaman pada bahan baku yang digunakan mampu mempengaruhi kekuatan perekatan papan partikel, perekat PF pada umumnya tidak menghendaki kondisi asam.

Hasil penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) papan partikel sengan dengan perekat CAS berkisar 2300-3400 N mm⁻² dan hasil penelitian Kusumah *et al.* (2016) papan partikel bagas sorgum dengan perekat CA (kadar perekat 20%) sebesar 5270 N mm⁻². Sementara itu, keteguhan lentur papan partikel hasil

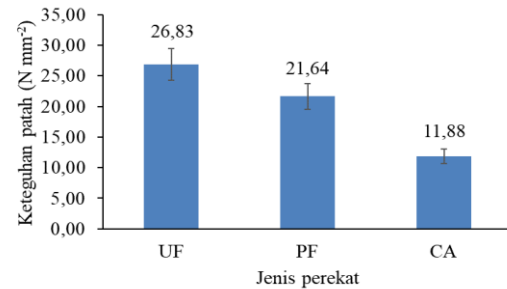
penelitian Iswanto *et al.* (2014) dengan menggunakan perekat UF, PF, dan isosianat berkisar 970-3700 N mm⁻², dan penelitian Khazaeian *et al.* (2015) menggunakan perekat UF sekitar 1200-2700 N mm⁻². JIS A 5908:2003 menyaratkan keteguhan lentur minimal papan partikel yaitu 2000 N mm⁻² untuk papan partikel tipe 8, dengan demikian papan partikel menggunakan perekat PF dalam penelitian ini sudah memenuhi standar tersebut dan papan partikel menggunakan perekat UF dan CA sudah memenuhi standar JIS A 5908:2003 tipe 13 (minimal 2500 N mm⁻²).



Gambar 5 Keteguhan lentur papan partikel.

Keteguhan patah

Keteguhan patah papan partikel yang dibuat dengan menggunakan perekat CA lebih rendah dibanding dengan menggunakan perekat UF dan PF (Gambar 6). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap keteguhan patah papan partikel. Penyebab rendahnya keteguhan patah papan partikel dengan perekat CA diduga karena getas (mudah patah). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Kusumah *et al.* (2016) yang mendapatkan hasil bahwa keteguhan patah papan partikel dengan menggunakan perekat CA mengalami *brittleness* sehingga memiliki keteguhan patah yang rendah.



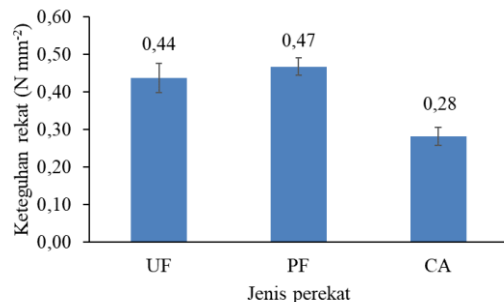
Gambar 6 Keteguhan patah papan partikel.

Keteguhan patah papan partikel dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan keteguhan patah papan partikel penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) menggunakan perekat CAS (6,98-11,60 N mm⁻²), tetapi sebanding dengan papan partikel (Iswanto *et al.* 2014) yang menggunakan perekat UF, PF, dan isosianat (5,2-26,4). JIS A 5908:2003 menyaratkan keteguhan patah minimal papan partikel tipe 8 yaitu 8 N mm⁻², dengan demikian papan partikel yang dibuat dengan perekat CA hanya memenuhi standar papan partikel tipe 8. Keteguhan patah minimal papan partikel tipe 18 sebesar 18,0 N mm⁻², sehingga papan partikel menggunakan perekat UF dan PF sudah memenuhi standar papan partikel tipe 18.

Keteguhan rekat

Keteguhan rekat tertinggi dalam penelitian ini terdapat pada papan partikel menggunakan perekat PF, sedangkan keteguhan rekat terendah dalam penelitian ini terdapat pada papan partikel menggunakan perekat CA (Gambar 7). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat papan partikel. Roihan *et al.* (2015) menyatakan bahwa perekat PF memiliki kelebihan yaitu sifat perekatan yang baik, tahan terhadap cuaca, tahan terhadap temperatur tinggi, dan tahan terhadap bahan kimia seperti minyak.

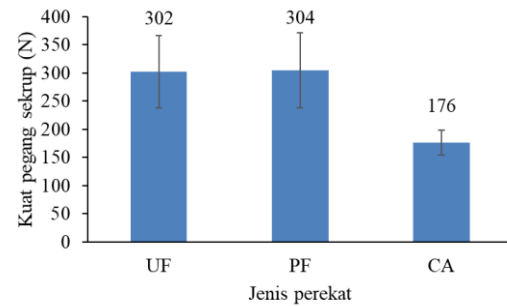
JIS A 5908:2003 menyatakan keteguhan rekat minimal papan partikel tipe 8 yaitu $0,15 \text{ N mm}^{-2}$ dan tipe 18 yaitu $0,30 \text{ N mm}^{-2}$, dengan demikian nilai keteguhan rekat papan partikel menggunakan perekat CA telah memenuhi persyaratan standar tipe 8 dan keteguhan rekat papan partikel menggunakan perekat UF dan PF memenuhi persyaratan standar tipe 18. Hasil penelitian Widyorini dan Nugraha (2015) keteguhan rekat papan partikel sengan dengan menggunakan perekat CAS berkisar $0,19\text{-}0,50 \text{ N mm}^{-2}$. Sementara itu, hasil penelitian Iswanto *et al.* (2016) menunjukkan bahwa keteguhan rekat papan partikel bagas sorgum yang dicampur dengan kayu durian sebesar $0,37 \text{ N mm}^{-2}$.



Gambar 7 Nilai keteguhan rekat papan partikel.

Kuat pegang sekrup

Kuat pegang sekrup papan partikel dengan menggunakan perekat CA lebih rendah dibandingkan dengan papan partikel dengan menggunakan perekat UF dan PF (Gambar 8). Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap kuat pegang sekrup papan partikel. Penyebab rendahnya kuat pegang sekrup papan partikel dengan perekat CA yaitu CA dapat menyebabkan partikel menjadi lebih rapuh seperti pada keteguhan patah (Kusumah *et al.* 2016).



Gambar 8 Nilai kuat pegang sekrup papan partikel.

JIS A 5908:2003 menyatakan kuat pegang sekrup minimal papan partikel tipe 8 yaitu 300 N, dengan demikian nilai kuat pegang sekrup papan partikel hasil penelitian menggunakan perekat CA tidak memenuhi standar, sedangkan papan partikel menggunakan perekat UF dan PF telah memenuhi persyaratan standar tersebut. Papan partikel dalam penelitian ini juga lebih kecil dibandingkan penelitian Kusumah *et al.* (2017) yang mendapatkan kuat pegang sekrup papan partikel bagas sorgum sebesar 348 N.

Kesimpulan

Papan partikel campuran vinir sengan dan bagas sorgum memiliki sifat fisis dan mekanis yang dipengaruhi oleh jenis perekat. Sifat fisis terbaik terdapat pada papan partikel menggunakan perekat CA. Sementara itu, sifat mekanis terbaik terdapat pada papan partikel menggunakan perekat UF. Berdasarkan hasil penelitian, pengujian kadar air, pengembangan tebal, keteguhan lentur, keteguhan patah, keteguhan rekat, dan kuat pegang sekrup telah memenuhi standar JIS A 5908:2003.

Daftar Pustaka

Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. 2003. *Forest Products and Wood*

- Science*, 5th ed. America: Blackwell Publishing.
- Chaturvedi R, Pappu A. 2016. Performance of formaldehyde resins and cement bonded particleboards and understanding its properties for further advancement. *Int. J. Waste Resour.* 6(2): 1-8. doi.org/10.4172/2252-5211.1000215
- Ferdosian F, Pan Z, Gao G, Zhao B. 2017. Bio-based adhesives and evaluation for wood composites application. *Polymers.* 9(2): 1-29. doi.org/10.3390/polym9020070
- Iswanto AH, Azhar I, Supriyanto, Susilowati A. 2014. Effect of resin type, pressing temperature and time on particleboard properties made from sorghum bagasse. *Agric. For. Fish.* 3(2): 62-66. doi.org/10.11648/j.aff.20140302.12
- Iswanto AH, Azhar I, Susilowati A, Ginting A. 2016. Effect of wood shaving to improve the properties of particleboard made from sorghum bagasse. *Int. j. mater. sci. appl.* 5(2): 113-118. doi.org/10.11648/j.ijmsa.20160502.23
- Iswanto AH, Wulandhari I, Irawati A, Supriyanto A. 2016. The physical , mechanical and durability properties of sorghum bagasse particleboard by layering surface treatment. *J. Indian Acad. Wood Sci.* 14(1): 1-8 doi.org/10.1007/s13196-016-0181-7
- [JAS] Japanese Standard Association. 2003. JIS A 5908. *Japanese Industrial Standard Particleboard*. Tokyo: Japan.
- Johns WE, Niazi KA. 1980. Effect of pH and buffering capacity of wood on the gelation of urea formaldehyde resin. *J. Wood and Fiber Sci.* 12(4): 256-263.
- Khazaeian A, Ashori A, Dizaj MY. 2015. Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. *Carbohydr. Polym.* 120: 15-21. doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.001
- Kusumah SS, Umemura K, Guswenrivo I, Yoshimura T, Kanayama K. 2017. Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: Influences of pressing temperature and time on particleboard properties. *J Wood Sci.* 63(2): 161-172. doi.org/10.1007/s10086-016-1605-0
- Kusumah SS, Umemura K, Yoshioka K, Miyafuji H, Kanayama K. 2016. Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard I: effects of pre-drying treatment and citric acid content on the board properties. *Ind. Crops. Prod.* 84: 34-42. doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.042
- Liao R, Xu J, Umemura K. 2016. Low density sugarcane bagasse particleboard bonded and additive content. *BioResources.* 11(1): 2174-2185.
- Maloney TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing*. San Fransisco: Miller Fremann.
- Mardhatillah S. 2018. Karakteristik papan partikel dari campuran sengan dengan batang sorgum menggunakan perekat asam sitrat [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pabendon MB, Sarungallo R, Mas'ud S. 2012. Pemanfaatan nira batang, bagas, dan biji sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol. *PPTP.* 31(3): 180-187. doi.org/10.21082/jpptp.v31n3.2012.p

%25p

- Purwanto D. 2009. Analisa Jenis Limbah kayu pada industri pengolahan kayu di kalimantan selatan. *JRIHH*. 1(1):14-20.
- Roihan A, Rudi H, Tito S. 2015 Kualitas papan partikel dari komposisi partikel batang kelapa sawit dan mahoni dengan berbagai variasi kadar perekat phenol formaldehida. *Jurnal USU*. 4(2):1-8.
- Salem MZM, Böhm M. 2013. Understanding of formaldehyde emissions from solid wood: An overview. *BioResources*. 8(3): 4775-4790. doi.org/10.15376/biores.8.3.4775-4790
- Umemura K, Putra DR, Prayitno TA, Widyorini R, Awaludin A, Isnani R. 2015. Manufacture and properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo materials. *Eur. J. Wood. Wood. Prod.* 74(1): 57-65. doi.org/10.1007/s00107-015-0967-0
- Umemura K, Sugihara O, Kawai S. 2013. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *J. Wood. Sci.* 59(3): 203-208. doi.org/10.1007/s10086-013-1326-6
- Umemura K, Sugihara O, Kawai S. 2014. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard II: effects of board density and pressing temperature. *J. Wood. Sci.* 61(1): 40-44. doi.org/10.1007/s10086-014-1437-8
- Umemura K, Ueda T, Kawai S. 2012. Characterization of wood-based molding bonded with citric acid. *J. Wood. Sci.* 58(1): 38-45. doi.org/10.1007/s10086-011-1214-x
- Widyorini R, Nugraha PA. 2015. Sifat fisis dan mekanis papan partikel sengon dengan perekat asam (physical and mechanical properties of sengon particleboard using citric acid-sucrose adhesive). *JITKT*. 13(2): 175-184.
- Widyorini R, Yudha AP, Lukmandaru G, Prayitno TA. 2015. Sifat fisika mekanika dan ketahanan papan partikel bambu dengan perekat asam sitrat terhadap serangan rayap kayu kering. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 9(1): 12-22
- Zhang J, Song F, Tao J, Zhang Z, Shi S Q. 2018. Research progress on formaldehyde emission of wood-based panel. *Int. J. Polym. Sci.* doi.org/10.1155/2018/9349721

**Pengaruh Modifikasi Steam dan Pembilasan NaOH terhadap
Keasaman Enam Jenis Bambu
(Effect of Steam and NaOH Rinsing Modification on Acidity of Six
Bamboo Species)**

Muhammad I Maulana¹, Marwanto Marwanto¹, Sena Maulana², Aginsa T Putri¹, Nicken O Putri¹, Denni Prasetya³, Deded S Nawawi¹, Siti Nikmatin⁴, Fauzi Febrianto^{1*}, Nam-Hun Kim³

¹Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor

²Rekayasa Kehutanan, Institut Teknologi Sumatera

³Department of Forest Biomaterial Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University

⁴Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

*Penulis korespondensi: febrianto76@yahoo.com

Abstract

Strands steaming and rinsing with 1% NaOH decreased extractives and other low molecular weight components, improving the physical and mechanical properties of the bamboo Oriented Strand Board (OSB). Steaming and rinsing with 1% NaOH was also thought to affect bamboo acidity. This study aims to determine the acidity changes that occur due to steam treatment and rinsing with 1% NaOH on six species of Indonesian bamboo. This study used six bamboo species, including bamboo andong, betung, tali, ampel, kuning, and hitam. The bamboo samples were chopped up to form particles and treated with two different treatments, i.e., steaming and steaming, followed by rinsing with 1% NaOH. Bamboo particles were then ground until 40-60 mesh powders were obtained. Bamboo powders were hot water extracted for 1 hour. The pH value of the extract filtrate was measured using a pH meter. The extract was titrated with 0.025 N H₂SO₄ solution to pH 4 and 0.025 N NaOH solution to pH 10. The amount of buffer solution added to the extract was expressed as the acids and bases buffering capacity. The results showed that the bamboo species and its treatments affected the pH value and buffering capacity. The average pH value of the six bamboo species ranged from 5.20 to 6.67 and increased after 1% steam and Steam + rinse NaOH treatments to 5.97-6.78 and 7.02-7.63, respectively. The six bamboo species' acids and bases buffer capacities were 0.404-0.525 mmeq and 0.095-0.1750 mmeq, respectively, and increased after 1% steam and Steam + rinse NaOH treatments.

Keywords: acidity, alkaline, bamboo, buffering capacity, steam

Abstrak

Perlakuan *steam* dan bilas NaOH 1% telah diketahui meningkatkan sifat fisis dan mekanis *Oriented Strand Board* (OSB) bambu. Peningkatan tersebut disebabkan oleh menurunnya kadar zat ekstraktif dan komponen berbobot molekul rendah lainnya pada bambu. Selain itu, *steam* dan bilas NaOH 1% juga diduga mempengaruhi keasaman bambu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perubahan keasaman yang terjadi akibat perlakuan *steam* dan bilas NaOH 1% pada enam jenis bambu Indonesia. Enam jenis bambu meliputi bambu andong, betung, tali, ampel, kuning, dan hitam digunakan pada penelitian ini. Sampel bambu dicacah hingga berbentuk partikel dan diberikan dua perlakuan berbeda yaitu *steam* dan *steam* + bilas NaOH 1%. Partikel bambu kemudian digiling hingga didapatkan serbuk berukuran 40-60 mesh. Serbuk bambu diekstrak dengan air panas selama 1 jam. Nilai pH filtrat ekstrak diukur menggunakan pH meter. Ekstrak

kemudian dititrasi dengan larutan H_2SO_4 0,025 N hingga pH 4 dan larutan NaOH 0,025 N hingga pH 10. Jumlah larutan penyangga yang ditambahkan ke dalam ekstrak dinyatakan sebagai kapasitas penyangga asam dan basa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis bambu dan perlakuan berpengaruh terhadap nilai pH dan kapasitas penyangga. Nilai rata-rata pH enam jenis bambu berkisar 5,20-6,67 dan meningkat setelah perlakuan *steam* dan *Steam* + bilas NaOH 1% berturut-turut menjadi 5,97-6,78 dan 7,02-7,63. Kapasitas penyangga asam dan basa enam jenis bambu masing-masing berkisar 0.404-0.525 mmeq dan 0.095-0.1750 mmeq dan meningkat setelah perlakuan *steam* dan *Steam* + bilas NaOH 1%.

Kata kunci: alkali, bambu, kapasitas penyangga, keasaman, *steam*

Pendahuluan

Bambu merupakan hasil hutan bukan kayu yang memiliki potensi sebagai alternatif bahan baku produk kayu. Ketersediaan bambu di Indonesia cukup menjanjikan. Pada tiga tahun terakhir produksi bambu terus meningkat dari ± 12 juta batang pada tahun 2016 menjadi ± 14 juta batang pada tahun 2017 dan mencapai ± 20 juta batang pada tahun 2018 (BPS 2017, 2018, 2019). Secara tradisional, salah satu pemanfaatan bambu adalah sebagai bahan konstruksi bangunan. Sebagai bahan konstruksi bangunan bambu memiliki kekuatan yang memadai terutama kuat tarik sejajar serat, ulet, lurus, relatif ringan, dan murah (Febrianto *et al.* 2017). Namun, pemanfaatan bambu dalam bentuk solid memiliki beberapa kelemahan, antara lain keteguhan belahnya rendah, variabilitas sifat fisis antara bagian pangkal, tengah, dan ujung yang cukup besar, hingga mudah diserang organisme perusak. (Febrianto *et al.* 2017, Sulastiningsih & Santoso 2005). Alternatif lain pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi yaitu menggunakannya dalam bentuk panel komposit. Pengaruh kelemahan bambu dapat berkurang ketika dikonversi menjadi panel komposit.

Salah satu panel komposit yang dapat memanfaatkan bambu sebagai bahan baku adalah *Oriented Strand Board* (OSB). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa OSB bambu memiliki sifat-sifat

yang lebih baik dari pada OSB kayu mangium (Adrin *et al.* 2013, Febrianto *et al.* 2015, 2009). Penelitian lain menunjukkan bahwa sifat fisis dan mekanis OSB bambu dapat meningkat dengan perlakuan *steam* pada *strand* bambu dengan suhu 126 °C dan tekanan 0,14 MPa selama 1 jam (Maulana *et al.* 2017). Peningkatan sifat-sifat OSB tersebut diduga disebabkan oleh perubahan komponen kimia pada bambu. Perlakuan *steam* pada serat kayu mengubah gula bebas menjadi furan intermediet yang kemudian menjadi furan resin (Rowell *et al.* 2002). Penelitian Fatrawana *et al.* 2019 mengkonfirmasi bahwa peningkatan stabilitas dimensi dan sifat mekanis OSB bambu dengan perlakuan *steam* dan pembilasan pada bambu disebabkan oleh perubahan komponen kimia bambu. Perlakuan *steam* dan pembilasan dapat menurunkan kadar hemiselulosa, pati, dan zat ekstraktif. Zat ekstraktif yang lebih rendah menyebabkan penetrasi perekat semakin mudah dan menghasilkan kekuatan OSB yang lebih baik (Maulana *et al.* 2018, Murda *et al.* 2019). Namun, selain menyebabkan penetrasi perekat yang lebih baik, perubahan zat ekstraktif dan komponen kimia lainnya juga diduga menyebabkan perubahan nilai pH dan kapasitas penyangga bambu.

Keasaman pada bahan baku komposit sangat mempengaruhi proses *curing* perekat. *Curing time* perekat akan

berubah ketika pH dan kapasitas penyangga berubah (Choon & Roffael 1990). Kapasitas penyangga merupakan perubahan keasaman akibat penambahan asam kuat atau basa kuat sampai mencapai pH tertentu (Krisdianto 2013). Tingginya kapasitas penyangga memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap laju pengerasan (Zanetti & Pizzi 2003). Perlakuan *steam* dan pembilasan diduga mempengaruhi nilai pH dan kapasitas penyangga, sehingga terjadi proses perekatan yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai pH dan kapasitas penyangga pada enam jenis bambu akibat perlakuan *steam* dan pembilasan NaOH.

Bahan dan Metode

Bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*), betung (*Dendrocalamus asper*), tali (*Gigantochloa apus*), ampel (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*), kuning (*Bambusa vulgaris* var. *striata*), dan hitam (*Gigantochloa arundinaceae*) berumur $\pm$ 3 tahun diperoleh dari koleksi Kebun Raya Bogor. Sampel bambu diambil pada bagian pangkal tanpa bagian kulit dan buku. Bambu dicacah dan digiling menjadi bentuk partikel. Partikel bambu kemudian disteam pada suhu 126 °C dan tekanan 0,14 MPa selama 1 jam (Maulana *et al.* 2017). Sebagian bambu yang telah disteam dibilas dengan larutan NaOH 1%. Partikel bambu lalu dikeringkan dan digiling menggunakan willey mill hingga mendapatkan serbuk ukuran 40-60 mesh.

Metode pengukuran nilai pH dan kapasitas penyangga mengacu pada Adamopoulos (2005). Sebanyak 20 g serbuk bambu diekstrak dengan 200 ml

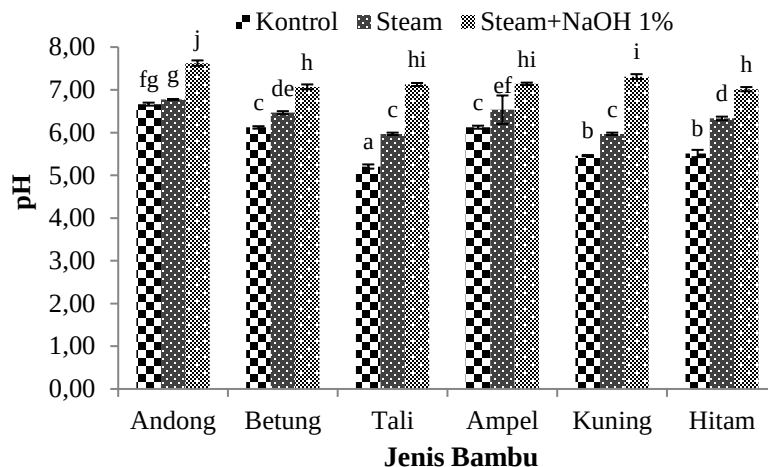
air panas selama 1 jam. Nilai pH 50 ml larutan ekstrak diukur menggunakan pH-meter. Sampel kemudian dititrasi dengan larutan H₂SO₄ 0,025 N untuk kapasitas penyangga asam dan NaOH 0,025 N untuk kapasitas penyangga basa. Nilai pH larutan dicatat pada setiap penambahan larutan titrasi. Jumlah larutan penyangga yang ditambahkan ke dalam larutan filtrat dinyatakan sebagai kapasitas penyangga asam dan basa pada bambu.

Nilai pH dan kapasitas penyangga masing-masing dihitung sebanyak 3 ulangan. Data hasil perhitungan dianalisis menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial 2 faktor, yaitu faktor jenis bambu dengan 6 taraf (andong, betung, tali, ampel, kuning, dan hitam) dan jenis perlakuan dengan 3 taraf (kontrol, *steam*, *steam* bilas NaOH 1%). Jika terdapat faktor yang berpengaruh nyata, uji lanjut Duncan dilakukan untuk menentukan nilai yang berbeda nyata.

Hasil dan Pembahasan

Nilai pH bambu

Nilai pH enam jenis bambu kontrol, *steam*, dan *steam* bilas NaOH 1% berturut-turut adalah 5,20-6,67, 5,97-6,78, dan 7,02-7,63 (Gambar 1). Nilai pH tertinggi terdapat pada bambu andong dengan perlakuan *steam* bilas NaOH 1%, sementara nilai pH paling rendah terdapat pada bambu tali dengan perlakuan kontrol. Secara umum, perlakuan *steam* dan *steam* bilas NaOH 1% meningkatkan nilai pH bambu. Hasil analisis keragaman ($\alpha=0,05$) menunjukkan bahwa jenis bambu, perlakuan, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap nilai pH bambu ($P<0,01$).



Gambar 1 Nilai pH enam jenis bambu pada berbagai perlakuan.

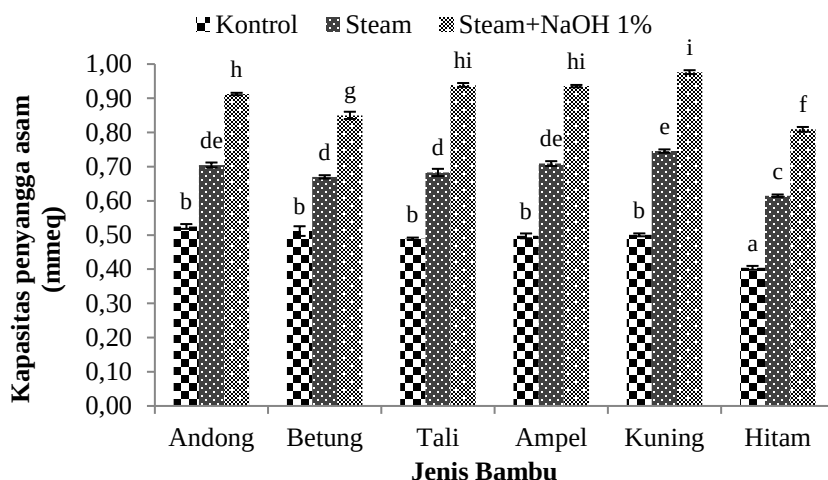
Peningkatan nilai pH bambu diduga terjadi akibat perubahan asam organik dan polifenol dalam pada bambu bersama dengan zat ekstraktif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *steam* dan bilas NaOH 1% menurunkan kadar zat ekstraktif dan hemiselulosa (Maulana *et al.* 2018, Murda *et al.* 2018, Fatrawana *et al.* 2019). Sementara itu, keasaman kayu dipengaruhi oleh polifenol dan asam organik yang ada pada kayu (Krillov & Lasander 1988). Hal yang sama juga dapat terjadi pada bambu. Asam organik dalam kayu terdapat dalam keadaan bebas atau terikat sebagai komponen non-struktural (ekstraktif) dan hemiselulosa (Nawawi *et al.* 2012).

Perubahan nilai pH bambu hingga cenderung basa merupakan hal positif pada proses perekatan komposit. Penelitian sebelumnya menggunakan perekat phenol-formaldehida (PF) dalam pembuatan OSB bambu (Maulana *et al.* 2017, 2019, Fatrawana *et al.* 2019) dan Perekat PF memiliki kondisi optimum untuk *curing* pada kondisi basa (Pizzi & Stephanou 1993). He dan Reidl (2004) menemukan bahwa energi aktivasi *curing* PF pada kondisi asam lebih tinggi dari pada kondisi basa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai pH pada bambu

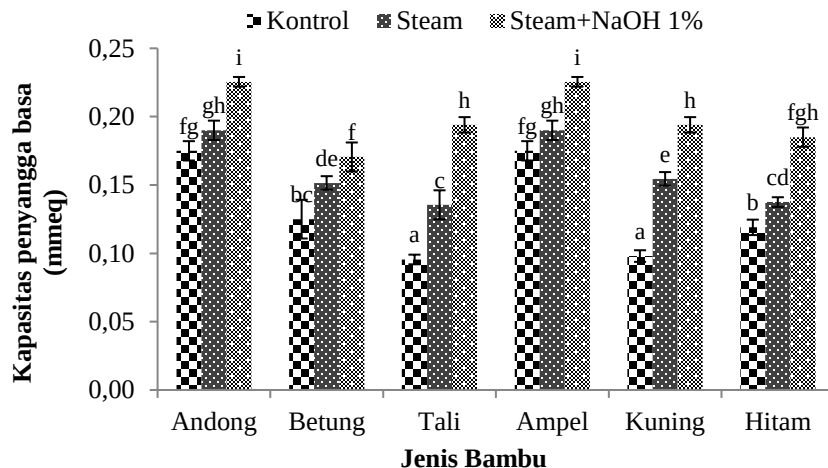
dengan perlakuan *steam* dan bilas NaOH 1% dapat menurunkan energi aktivasi *curing* PF.

Nilai kapasitas penyangga bambu

Kapasitas penyangga asam dan basa enam jenis bambu masing-masing berkisar 0.404-0.525 mmeq dan 0.095-0.1750 mmeq. Kapasitas penyangga asam dan basa enam jenis bambu meningkat setelah diberi perlakuan *steam* dan *steam* bilas NaOH 1% (Gambar 2 dan 3). Kapasitas penyangga asam bambu kuning dengan perlakuan *steam* + pembilasan NaOH 1% memiliki nilai tertinggi yaitu 0,977 mmeq, sedangkan bambu hitam kontrol memiliki nilai kapasitas penyangga asam paling rendah yaitu 0,404 mmeq. Nilai kapasitas penyangga basa tertinggi dimiliki oleh bambu andong dengan perlakuan *steam* bilas NaOH 1% dan paling rendah dimiliki bambu hitam kontrol dengan nilai masing-masing yaitu 0,226 dan 0,096 mmeq. Hasil analisis keragaman ($\alpha=0,05$) menunjukkan bahwa hanya jenis bambu, perlakuan, dan interaksi keduanya berpengaruh nyata ($P<0,01$) terhadap nilai kapasitas penyangga asam dan kapasitas penyangga basa.



Gambar 2 Kapasitas penyangga asam enam jenis bambu pada berbagai perlakuan.



Gambar 3 Kapasitas penyangga basa enam jenis bambu pada berbagai perlakuan.

Kapasitas penyangga dapat digunakan untuk menduga kekuatan sistem asam dalam kayu. Pengerasan perekat urea formaldehide (UF) memiliki hubungan yang lebih erat dengan kapasitas penyangga dibandingkan dengan nilai pH (John & Niazi 1984). Kapasitas penyangga juga memiliki pengaruh yang kuat terhadap laju pengerasan, reaksi degradasi dan derajat pembentukan melamine-ureaformaldehyde (Zanetti & Pizzi 2003). Berbeda dengan pH bambu, peningkatan kapasitas penyangga yang terjadi bukan hal yang positif. Kapasitas penyangga yang besar dapat menghambat

perubahan pH yang diperlukan untuk reaksi pengerasan perekat (Hernández 2013). Kapasitas penyangga memberikan gambaran jumlah katalis yang perlu ditambahkan untuk mengubah pH agar sesuai dengan kondisi perekatnya (Bates 1973). Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kapasitas penyangga tidak berpengaruh nyata terhadap perekat dan proses perekatan. Tidak terdapat korelasi langsung antara waktu gelatinasi resin PF dengan kapasitas penyangga (Lee *et al.* 2001). Selain itu, kapasitas penyangga tidak berpengaruh nyata terhadap keteguhan

rekat OSB yang menggunakan perekat phenol-formaldehida (Carvalho *et al.* 2018). Perbedaan pengaruh kapasitas penyangga tersebut mungkin disebabkan oleh perbedaan jenis perekat (UF dan PF) dan perbedaan jenis bahan baku pada masing-masing penelitian tersebut.

Kesimpulan

Keasaman enam jenis bambu mengalami perubahan akibat pemberian perlakuan *steam* dan *steam* bilas NaOH 1%. Perlakuan *steam* dan *steam* bilas NaOH 1% berturut-turut meningkatkan nilai pH enam jenis bambu dari berkisar 5,20-6,67 menjadi 5,97-6,78 dan 7,02-7,63. Kapasitas penyangga asam dan basa enam jenis bambu masing-masing berkisar 0.404-0.525 mmeq dan 0.095-0.1750 mmeq dan meningkat setelah perlakuan *steam* dan *Steam* + bilas NaOH 1%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI), Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui program PMDSU (No. 4122/IT3.L1/PN/2020) dan Penelitian Dasar (No. 4033/ IT3.L1/PN/2020).

Daftar Pustaka

- Adamopoulos S, Voulgaridis E, and Passialis C. 2005. Variation of certain chemical properties within the stemwood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Holz Roh Werkst.* 63: 327–333. <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0018-3>
- Adrin, Febrianto F, Sadiyo S. 2013. Properties of oriented strand board prepared from steam treated bamboo strands under various adhesive combinations. *JITKT* 11(2):109-119. <https://doi.org/10.51850/jitkt.v11i2.89>
- Bates RG. 1973. *Determination of pH Theory and Practise. Second Edition.* A Wiley-Interscience Publication. New York: John and sons.
- [BPS]. Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Produksi Kehutanan 2016.* Jakarta: Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/publication/2017/11/27/dc0ea537e5f36f7ed3ac6c2d/statistik-produksi-kehutanan-2016.html>
- [BPS]. Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Produksi Kehutanan 2017.* Jakarta: Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/publication/2018/12/04/b28817f99d1391871e551abd/statistik-produksi-kehutanan-017.html>
- [BPS]. Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistik Produksi Kehutanan 2018.* Jakarta: Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/publication/2019/11/29/dc8c58a7c1c467126c285d2e/statistik-produksi-kehutanan-018.html>
- Carvalho AG, Zanuncio AJV, Vital BR, Carneiro ADCO, da Silva CMS, Tonoli GHD. 2018. Hydrothermal treatment of strand particles of pine for the improvement of OSB panels. *Eur. J. wood wood prod*, 76(1), 155-162. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1234-3>
- Choon KK, Roffael E. 1990. The acidity of five hardwood species. *Holzforschung.* 44(1): 53-58. <http://dx.doi.org/10.1515/hfsg.1990.44.1.53>
- Fatrawana A, Maulana S, Nawawi DS, Sari RK, Hidayat W, Park SH, Febrianto F, Lee SH, Kim, N. H. 2019. Changes in chemical components of *steam*-treated betung bamboo strands and their effects on the physical and mechanical properties of bamboo-

- oriented strand boards. *Eur. J. Wood Wood Prod*, 77(5), 731-739. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01426-7>
- Febrianto F, Royama LI, Hidayat W, Bakar ES, Kwon J, Kim NH. 2009. Development of oriented strand board from acacia wood (*Acacia mangium* Willd.): Effect of pretreatment of strand and adhesive content on the physical and mechanical properties of OSB. *J. Korean Wood Sci. Technol*, 37(2), 121-127. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2009.37.2.121>
- Febrianto F, Jang JH, Lee SH, Santosa IA, Hidayat W, Kwon JH, Kim NH. 2015. Effect of bamboo species and resin content on properties of oriented strand board prepared from steam-treated bamboo strands. *BioResources*, 10(2), 2642-2655. <https://doi.org/10.15376/biores10.2.2642-2655>
- Febrianto F, Sumardi I, Hidayat W, Maulana S. 2017. *Papan Untai Bambu Berarah: Material Unggul untuk Komponen Bahan Bangunan Struktural*. Bogor: IPB Press.
- He G, Riedl B. 2004. Curing kinetics of phenol formaldehyde resin and wood-resin interactions in the presence of wood substrates. *Wood Sci. Technol*, 38(1), 69-81. <https://doi.org/10.1007/s00226-003-0221-5>
- Hernández V. 2013. Radiata pine pH and buffering capacity: Effect of age and location in the stem. *Maderas-Cienc Tecnol*, 15(1), 73-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000007>
- Johns WE, Niazi KA. 1980. Effect of pH and buffering capacity of wood or the gelation of urea formaldehyde resin. *Wood Fiber Sci*. 12(4): 256-263. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1988>
- Krilov A dan Lasander W.H. 1988. Acidity of heartwood and sapwood in some eucalyptus species. *Holzforschung*, 42(4):253-258. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1988.42.4.253>
- Krisdianto. 2013. Variasi Keasaman dan Kapasitas Penyangga Kayu Tampui Beras (*Baccaurea macrocarpa* (Miq.) Muell.Arg.) dan Manggis Hutan (*Garcinia cornea* Miq.). *JPHH*. 31(4): 242-249. <https://dx.doi.org/10.20886/jphh.2013.31.4.242-249>
- Lee S, Wu Q, Strickland B. 2001. The influence of flake chemical properties and zinc borate on gel time of phenolic resin for oriented strandboard. *Wood Fiber Sci*, 33(3), 425-436. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/109>
- Maulana S, Gumelar Y, Fatrawana A, Maulana MI, Hidayat W, Sumardi I, Wistara NJ, Lee SH, Kim NH, Febrianto F. 2019. Destructive and Non-destructive Tests of Bamboo Oriented Strand Board under Various Shelling Ratios and Resin Contents. *J. Korean Wood Sci. Technol*, 47(4), 519-532. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.4.519>
- Maulana S, Busyra I, Fatrawana A, Hidayat W, Sari RK, Sumardi I, Wistara NJ, Lee SH, Kim NH, Febrianto F. 2017. Effects of Steam Treatment on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Board. *J. Korean Wood Sci. Technol*. 45(6): 872-882.

- <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.6.872>
- Maulana MI, Nawawi DS, Wistara NJ, Sari RK, Nikmatin S, Maulana S, Park SH, Febrianto F. 2018. Perubahan kadar komponen kimia bambu andong akibat perlakuan steam. *JITKT*. 16(1):82-90.
<https://doi.org/10.51850/jitkt.v16i1.444>
- Murda RA, Nawawi DS, Maulana S, Maulana MI, Park SH, Febrianto F. 2018. Perubahan Kadar Komponen Kimia pada Tiga Jenis Bambu Akibat Proses Steam dan Pembilasan. *JITKT*. 16(2):103-115.
<https://doi.org/10.51850/jitkt.v16i2.446>
- Nawawi DS, Priadi T, Murwentianto B. 2012. The Change of Wood Acidity during Drying Process. *JITKT*. 10(2): 195-199.
<https://doi.org/10.51850/jitkt.v10i2.119>
- Pizzi A, Stephanou A. 1993. A comparative C13 NMR study of polyflavor extract for phenolic polycondensates. *J. Appl. Poly. Sci*, 51 : 2125 :21.
<https://doi.org/10.1002/app.1993.070501209>
- Rowell R, Lange S, McSweeney J, Davis M. 2002. Modification of wood fiber using steam. Proceeding of 6th Rim Bio-Based Composites Symposium. Oregon, USA.
<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/22168>
- Sulastiningsih I.M, Nurwati, Kamita Y. 2005. Teknologi Pembuatan Bambu Lamina dan Bambu Lapis. Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan 2005. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Zanetti M and Pizzi A. 2003. Upgrading of MUF resins by buffering additives. Part 2: hexamine sulphate mechanisms and alternate buffers. *J. Appl. Poly. Sci*, 90: 215-226.
<https://doi.org/10.1002/app.12635>

Identifikasi Senyawa Ekstraktif Kayu Cendana Papua dan Potensinya Sebagai Pengusir Nyamuk (*Identification of Extractives Compounds from Cendana Papua Wood and Its Potential as Mosquito Repellent*)

Muliyana Arifudin^{1*}, Renny Purnawati¹, Abdul Azis¹

¹ Faculty of Forestry, University of Papua. Amban, Manokwari, 98314, Telp./Fax. +62-986-211065

*Corresponding Author: m.arifudin@unipa.ac.id

Abstract

This research aimed to identify chemical compounds of Cendana Papua (*Flindersia sp.*) wood and to elucidate its potential utilization as a mosquito repellent. The experimental methods were qualitative phytochemical analysis, GCMS Pyrolysis analysis, and mosquito mortality test, which was conducted to investigate the anti-mosquito property of this wood species based on SNI 06-3566-1994. The results indicated that phytochemical analysis of Cendana Papua wood showed medical phytochemical compounds such as alkaloids, saponin, flavonoid, terpenoid, glycoside, and phenolic. GCMS pyrolysis analysis indicated that of 43 compounds found within this wood, butylated hydroxyanisole (5.37%), carbamic acid (5.30%), 2,4 imidazolidine Dione (2.13%), and hydrazine (1.23%) are active compounds which possibly responsible for mosquito repellent. The mosquito mortality test showed that the composition of 50:50 for sawdust and coconut shells had the highest mortality rate (55.6%). The mortality rate indicated that this wood species could be potentially used as a natural source of the anti-mosquito chemical.

Keywords: Cendana Papua, *Flindersia sp.*, GCMS pyrolysis, mosquito repellent, phytochemistry

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen kimia dari kayu cendana Papua (*Flindersia sp.*) dan menganalisa potensi pemanfaatannya sebagai pengusir nyamuk. Metode eksperimen yang dilakukan adalah analisis fitokimia kualitatif, analisis GCMS Pirolisis, dan uji mortalitas nyamuk untuk menginvestigasi sifat anti-nyamuk dari jenis kayu ini berdasarkan SNI 06-3566-1994. Hasil analisis fitokimia menunjukkan adanya komponen fitokimia seperti alkaloid, saponin, flavonoid, terpenoid, glikosida dan fenolik. Analisis GCMS pirolisis mengindikasikan bahwa diantara 43 senyawa kimia, butylated hydroxyanisole (5,37%), carbamic acid (5,30%), 2,4 imidazolidinedione (2,13%) and hidrazin (1,23%) adalah senyawa yang berperan dalam mengusir nyamuk. Uji mortalitas nyamuk menggunakan sampel uji dengan komposisi serbuk cendana Papua dan tempurung kelapa sebesar 50:50 menunjukkan tingkat kematian nyamuk tertinggi (55,6%). Hal ini mengindikasikan bahwa jenis kayu ini berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan kimia alami pengusir nyamuk.

Kata kunci: Cendana Papua, fitokimia, *Flindersia sp.*, GCMS pirolisis, pengusir nyamuk

Introduction

Several tree species from natural forests have been investigated for their mosquitocidal activities. For instance, the

wood bark of Gemor (*Alseodaphne sp.*) and shell of kemiri (*Aleurites molucca*) are used as natural mosquito coil conducted by Cahyana dan Rachmadi (2011). They reported that the plant

extracts could repel and knock down mosquitoes.

Cendana Papua (*Flindersia sp.*) is hardwood species found in Papuan Forest that is still lesser known commercially due to lack of information about its essential characteristics and utilization (Sosef *et al.* 1998). In West Papua, this species is spread in the Regency of Wasior (Wondama Bay) and Ransiki District. The local community uses this wood as a primary material for making boats and rows and constructing houses. What is unique from *Flindersia* is that this wood releases a good smell when it is cut or burnt. For that reason, the local community calls it “Dupa wood” and also uses the wood to make incense. In addition, the local people frequently burn some pieces of the wood in their front- or back yard to repel mosquitoes and other insects. Based on local knowledge, it is suspected that Cendana Papua wood can potentially be a natural repellent and mosquito killer. This will be beneficial information, especially for the Papua region, which is a malaria-endemic area.

Malaria is a disease spread among humans by the bite of an infected *Anopheles* mosquito. Malaria is found mainly in tropical countries all around the world, including Indonesia. Up to date, the distribution of malaria is still high in Indonesia, precisely in Papua, West Papua, and East Nusa Tenggara (Kemkes 2018). In 2018, the total population in West Papua was around 850000 people. Of 1550 research subjects who performed blood tests, 1018 patients were positively affected by Malaria (Subekti *et al.* 2018).

Many efforts have been made to control the number of mosquitoes. The local government of West Papua, through Health Department, has carried out several programs, such as public

education about preventing the development of mosquito larvae, fogging in communities' residences, and also free distribution of anti-mosquito larvae to the local community. However, the programs have not significantly resulted in the eradication of the mosquito population.

Moreover, the community uses commercial mosquito repellent; either in spray, lotion, or mosquito coil. Those repellents, however, contain synthetic chemicals that could be toxic and dangerous to humans, specifically children and pets. Therefore, it is necessary to substitute synthetic chemicals with plant-derivate chemicals, such as natural insecticide. The advantage of using phytochemicals is that the active compounds generated are biodegradable, and their use is safe for humans and pets. According to Robinson (1995), metabolic compounds contained in plants, such as alkaloid, tannin, and flavonoid, are usually responsible for biological properties used to control insects' development.

The analysis of chemical components of *Flindersia* wood has been carried out by Purnawati (2013). The result showed that the wood contains 45.5% α -selulosa, 24.7% lignin, and 0.50% ash. Extractives dissolved in cool water, hot water, and ethanol: benzene are respectively 4.82%, 7.17%, 4.30%. The high number of extractives indicates that this species is potential for natural chemical utilization. Therefore, further research on phytochemical screening and chemical compound identification is necessary to scientifically confirm the use of this species as an anti-mosquito agent by the local community. This research is expected to provide information about plant utilization based on local wisdom, specifically for *Flindersia* wood.

Materials and Methods

Methods and observation variables

The method used in this study was experimental with observation technique. The variables observed were phytochemical content (alkaloids, flavonoids, saponin, and tannins) of the wood, GCMS analysis of the wood, and the mortality rate of tested mosquitoes.

Research procedures

Phyto-chemical analysis of Flindersia sp sawdust

Sawdust from a tree 60 cm in diameter, with 80% heartwood and 20% sapwood (100 g), was extracted using the maceration method with 500 ml of methanol for one week. The methanol extract obtained was then evaporated using a rotary vacuum evaporator at 65 °C, to obtain dry extracts of *Flindersia sp.* wood. The crude extract was then used for the phytochemical test.

Alkaloid test is conducted as follows: The crude extract (0.2 g) added with 2 ml of 30% ammonia and 20 ml of chloroform was added and crushed in a mortar. The suspension was filtered, and the filtrate was collected in a sample bottle. Then to the filtrate was added 10 mL of 0.1 M HCl solution, shaken, and kept to form 2 layers. The acid layer was taken and put into 2 test tubes. The first test tube was added Dragendorff reagent, and the second tube was added Meyer reagent. The presence of alkaloid compounds was characterized by red or orange precipitation in the first tube and white precipitation in the second tube (Robinson 1995).

The following procedures are for flavonoid, saponin, and tannin compounds. The crude extract (0.2 g) was put into a beaker glass. Hot water (100 ml) was added to the beaker, and the

suspension is boiled for 5 minutes. Afterward, 15 ml filtrate was collected and put in 3 test tubes with 5 ml filtrate in each tube. Magnesium powder was added to the first test tube, added with 1 mL of concentrated HCl, and added amyl-alcohol. The mixture was shaken and allowed to separate. Colors formed in the layer of amyl-alcohol indicate the presence of flavonoids. The second tube was shaken vertically for 15 seconds and allowed to stand for 10 minutes. The formation of stable foam indicates the presence of saponin. To the third tube is added 5 drops of 1 N NaOH solution and filtered. The filtrate was added with a solution of iron (III) chloride FeCl₃ 1%. The formation of dark blue or blackish green indicates a compound class of tannins (Robinson 1995).

Pyrolysis GC-MS Analysis

Wood powder is injected into the quartz chamber in a pyrolysis unit heated in an oxygen-free environment at 400 °C for 10 s. The mixture of these compounds is then incorporated into the Shimadzu GCMS type QP2010. GCMS uses helium as a gas carrier, a capillary column of Phase Rtx-5MS type (length 60 m and diameter 0.25 mm), pressure 100 Kpa, column temperature 50 °C, flow rate 0.85 ml min⁻¹. The result of the structure of a chemical component is determined by computer software based on the GCMS characterization graph (Purnawati 2013).

Anti-mosquito test

Preparing and rearing Anopheles sp. mosquitoes

The method of rearing mosquito is conducted based on the method applied by Cahyani and Rachmadi (2011) that have been slightly modified. At first, *Anopheles sp* mosquito larvae are collected from water reservoirs in several

communities' residences in Manokwari. Then the mosquitoes are kept in a container of clean water. The container is placed into a rearing box sized (70x70x70) cm³. During 1-2 days, larvae will turn into pupae. If mosquitoes have come out of the cocoon (3-5 days), honey is put in the box to feed the mosquitoes. Later, the mosquitoes transferred to the mosquito's test box (6 boxes of treatments) with 20 mosquitoes each box.

Production of mosquito coil

The 80-mesh sawdust of *Flindersia sp.* wood and coconut shells mixed with composition is displayed in Table 1. The coconut shell was used to lengthen the burning time of the coil. The different composition becomes treatment in producing mosquitoes.

Table 1 Types of coils and their composition of the sawdust of *Flindersia sp* wood and ground coconut shells

Types of coils	The ratio of wood and coconut shells, %
F100	100: 0
F75	75: 25
F50	50: 50
F25	25: 75
F0	0: 100

The mixture of each treatment was added with tapioca flour (5% of the total weight) and a small amount of water (as a mixer). The paste is then printed in a spiral mold of mosquito coil and pressed with a pressure of 25 kg/cm². The mosquito coil is then dried to reach air dry (approximately 12%).

The mortality rate of mosquito

The mosquito coil of each treatment is burned and set in the testing box contained 20 mosquitoes. Observation is carried out by calculating the time required to burn out the coil perfectly and

calculating the dead mosquitoes every 30 minutes. The calculation of mortality rate of mosquitoes is the percentage of the amount the death mosquitoes and those which were tested.

Results and Discussions

Qualitative phytochemical analysis of *Flindersia* wood

The presence of phytochemicals enables the plant to have a defense mechanism and protection from various diseases, and they are helpful for healing and curing human diseases (Wadood *et al.* 2013). Phytochemical analysis was carried out to determine phytochemical compounds in the stem of *Flindersia* wood qualitatively. The analysis result is displayed in Table 2.

Table 2 Qualitative Phytochemical analysis of *Flindersia sp.* wood

Chemical compound	Indicator
Saponin	+
Tannin	-
Phenolic	+
Flavonoid	+
Alkaloid	+
Triterpenoid	+
Steroid	-
Glycoside	+

(+): presence, (-): absence

This study has revealed that almost all essential medical phytochemicals are present in *Flindersia* wood, such are alkaloid, flavonoid, glycoside, phenolic, saponin, and terpenoid. At the same time, tannin and steroids were not found in this wood species.

The result shows that this wood species contains almost similar phytochemical constituents to another hardwood species from Papua, *Tristania sp.* Arifudin *et al.* (2009) investigated phytochemical components contained in this wood

species. The study found that the stem of *Tristania sp.* wood contains alkaloids, saponin, and flavonoids.

These metabolite groups in this wood species could play essential roles as insecticidal property, anti-bacterial, anti-viral, and antifungal activities. Donia *et al.* (2012) reported that phenolics and flavonoid contents in three plants from the Chenopodiaceae family were found to have insecticidal activity. Plants containing alkaloids are used in medicine to reduce headaches and fever. These are attributed to anti-bacterial and analgesic properties (Wadood *et al.* 2013). Terpenoids have various critical pharmacological activities, such as anti-viral, antimalarial, anti-bacterial, anti-inflammatory, anti-cancer, and inhibition to cholesterol synthesis. According to Tiwari *et al.* (2011), polyphenols have anti-microbial, antidiarrhoeal, and anthelmintic, almost play similar roles to alkaloids. Glycosides have the ability to inhibits the release of autocoids and prostaglandins.

The metabolites mentioned above generally have anti-bacterial, antimalarial, anti-microbial, and anti viral activities. Thus, it can be concluded that they have the ability to prevent and heal the diseases caused by bacteria, mosquitoes, microbes, and viruses.

In this study, of important phytochemicals components of medical plants, tannins and steroids were not found in the stem of *Flindersia sp.* wood., while steroid and triterpenoid have analgesic properties. Steroid and saponin play essential roles in central nervous system activities (Mir *et al.* 2013). In a previous study, tannin was also not found in *Tristania sp.* wood (Arifudin *et al.* 2009).

GC-MS Analysis

The analysis using GC-MS Pyrolysis detected the presence of 43 chemical compounds within *Flindersia* wood. Figure 1 shows several compounds with a concentration averagely higher than 5%, which are ethylic acid (9.02%), 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol (6.62), levoglucosan (6.30%), acetone (5.39%), butylated hydroxyanisole (5.37%), and carbamic acid (5.30%).

The two last compounds may responsible for repelling or killing the *Anopheles* mosquito tested in this research. Necsi *et al.* (2010) revealed that butylated hydroxyanisole (BHA) was one compound that showed insecticidal activity against *Oryzaephilus surinamensis*. Carbamic acid in this wood could have anti-mosquito properties as Gupta (2014) found that carbamic acid has insecticide properties. DHSS (2015) reported a similar statement that the derivate of carbamic acid, called carbamic insecticide, is used to kill or control insects. Some carbamates also repel mosquitos.

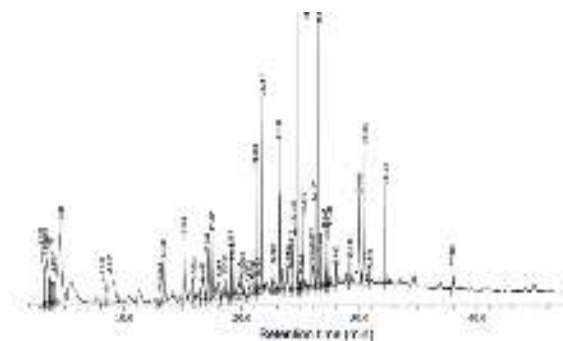


Figure 1 Result of GCMS Analysis

There are also several chemical compounds within *Flindersia* wood that are potentially used as an insecticide, such as 2,4 imidazolidinedione (2.13%) and hydrazine (1.23%). The first compound has been used as pest control and anti-

microbial pesticide chemicals (EPA 2007). Thus, it could be a cause of mosquito mortality. Hydrazine which is contained within *Flindersia* wood is also suspected as an insecticide compound. Li *et al.* (2016) investigated gossypol, which also contains hydrazine. They found that the compound plays a role in anti-viral, insecticide, and fungicidal activities. These active compounds are possibly responsible for repelling insects, including mosquitoes, even cause mortality to the mosquito.

Some compounds can be extracted for food flavoring, pharmacy, and cosmetics, such as 4,5 epoxypentenol, guaiacol, p-ethyl guaiacol 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol, vanillin dan syringaldehyde (Figure 1). Guaiacol is a naturally organic component generated from the pyrolysis of lignin. It can be used as a source of food flavoring, perfume, and cosmetics. Its derivatives are potentially helpful for medicines as an expectorant, antiseptic and local anesthetic (Guaiacol Safety Summary 2011). Syringaldehyde is a compound that naturally presents in Maple tree species used as a vanilla flavor in making wine (Arapitsas *et al.* 2004). According to Wong *et al.* (2010), syringaldehyde has been widely used in the food, drug, and cosmetic industries. As an aromatic compound, syringaldehyde can be produced either from derivative components of fossil oil or biomass.

In addition, *Flindersia* wood also contains α -pentane-3-one, 1,5-diphenyl- around 1.61%. This compound has a simple aromatic ring to be potentially used as a source of perfume.

Anti-mosquito test: mortality of mosquito

Six types of Mosquito coil were made

based on different compositions of *Flindersia* sp. wood sawdust and ground coconut shells. The types of coils are detailed in Table 1. The coils were addressed to mortality testing of mosquitoes. The coil was put into a testing box that contained reared mosquitoes. The coil was burnt for 30 minutes, and during the observation, the number of mosquitoes that died was counted. The mortality rate of mosquitoes tested is shown in Figure 2.

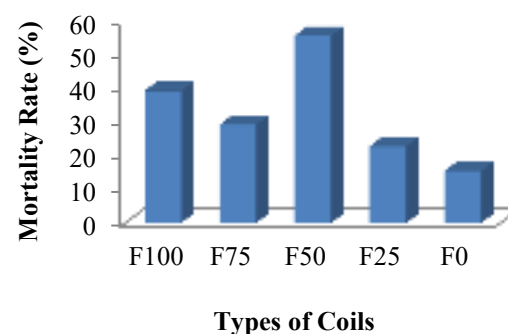


Figure 2 The effect of *Flindersia* sp sawdust on mosquito mortality rate

According to the Figure 2, the mortality of mosquito rate following the test of coils with sawdust compositions of 100%, 75%, 50%, 25% and 0% are 39.2%, 29.2%, 55.6%, 22.7%, dan 15.5%, respectively. This means that *Flindersia* wood contains active compounds that are toxic and then cause mortality to mosquitoes. On the other hand, the coil containing all coconut shells and no sawdust (F0) shows the lowest mosquito mortality rate.

This result is supported by the result of the phytochemical analysis (Table 2). The existence of mainly flavonoid and phenolic in *Flindersia* wood could play an essential role in insecticidal property.

Moreover, the result of GCMS analysis of this wood species also confirmed that butylated hydroxyanisole (5.37%),

carbamic acid (5.30%), 2,4 imidazolidinedione (2.13%), and hydrazine (1.23%) have insecticide property that can repel mosquito.

This research found that the coil F50, with the composition of 50% *Flindersia* sawdust and 50% ground coconut shell, caused the highest mortality rate of the tested mosquito (Figure 2). This implied that this combination shows the best composition in producing coils that can kill a more significant number of mosquitoes. *Flindersia* sawdust contained several active compounds that have insecticide activity, as shown by the GCMS analysis result. At the same time, coconut shell only plays a role in prolonging the burning time of the coil. Jamilatun (2008) revealed that briquette made of coconut shells had a longer ignition time than that made of wood sawdust. Her research also found that coconut shell is responsible for the lower burning speed of briquette.

The result of this research agrees with the study conducted by Cahyana and Rachmadi (2011). The study results stated that the coil with a weight-based composition of 50:50 for *Gemor* wood bark (*Alseodaphne* sp.) and kemiri shell (*Aleurites molucca*) had the highest number of dead mosquito and also had longer and more stable burning capacity.

The local community has generally used *Flindersia* wood to repel mosquitoes by burning a piece of the wood in either their front or back yard. The smoke is also not toxic for human living. Thus, this wood species is recommended as a potential source of natural anti-mosquito that is not dangerous for man and pets.

Conclusions

Phytochemical analysis of *Flindersia* sp. showed the presence of alkaloids, saponin,

flavonoid, terpenoid, glycoside, and phenolic.

GCMS analysis found 43 compounds contained in *Flindersia* wood. Butylated hydroxyanisole (5.37%), carbamic acid (5.30%), 2,4 imidazolidinedione (2.13%), and hydrazine (1.23%) may have insecticidal activity for the mosquito tested in this research.

According to the mosquito mortality test, the coil contained 50% *Flindersia* sawdust had the highest mortality rate of the tested mosquitoes (55.6%), while the coils without *Flindersia* sawdust showed the lowest mosquito mortality (15.5%). This wood species can be potentially used as a natural source of anti-mosquito.

Acknowledgment

This study was funded by the TANABE FOUNDATION OF JAPAN (The fiscal year of 2014).

References

- Arapitsas P, Antonopoulus A, Stefanaou, E, Dortoglou V. 2004. Artificial aging of wines using oak chips. *Food Chem.* 86(4): 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.003>
- Arifudin M, Adyaksa AI, Purnawati R, Husodo SB. 2009. Phytochemistry test of Jolie Wood (*Tristania* sp.). *Journal of Tropical Forestry* 2(1): 7-11.
- Cahyana BT, Rachmadi AT. 2011. Pemanfaatan kulit kayu *Gemor* (*Alseodaphne* sp.) dan cangkang kemiri (*Aleurites molucca*) untuk obat nyamuk alami. *JRIHH*. Vol. 3, No. 2.
- Delaware Health and Social Services. 2015. Carbamate Insecticides. Retrieved from <https://dhss.delaware.gov/dph/files/carbamfaq.pdf>.

- Donia AERM, Alqasoumi SI, Radwan AM, Burand J, Craker LE. 2012. Phytochemical screening and insecticidal activity of three plants from the Chenopodiaceae family. *J. Med. Plant Res.* Vol. 6(48), pp. 5863-5867.
- EPA. 2007. 2,4 Imidazolidinedione (Hydroxymethyl dimethyl Hydantoins) Summary Document Registration Review. Environmental Protection Agency. The USA. Retrieved from https://archive.epa.gov/oppsrrd1/registration_review/web/pdf/imidazolidinedione_summary.pdf
- Guaiacol GPS Safety Summary. 2011. Guaiacol. Rhodia, Member of the Solvay Group.
- Gupta RC. 2014. *Carbamate pesticides*. Encyclopedia of Toxicology (3th Ed) 2014, 661-664.
- Jamilatun S. 2008. Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 2(2).
- Kemkes. 2018. Hari Malaria Sedunia, Pemerintah Perluas Wilayah Bebas Malaria. Retrieved from <https://www.kemkes.go.id/article/view/18043000010/hari-malaria-sedunia-pemerintah-perluas-wilayah-bebas-malaria.html>
- Li L, Li Z, Wang K, Liu Y, Li Y, Wang Q. 2015. Synthesis and anti-viral, insecticidal, and fungicidal activities are containing alkyamide, oxime, or hydrazine moiety. *Bioorg. Med. Chem.* 24(3): 474-483.
- Mir AM, Sawhney SS, Jassal MMS. 2013. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals of *Taraxacum officinale*. *J. Pharm. Pharmacol.* 2(1): 1-5.
- Purnawati R. 2013. Sifat Dasar dan Sifat Pengolahan Kayu Maniani (*Flindersia Pimenteliana* F.V. Muell) Asal Teluk Wondama Papua Barat. [Unpublished Master Thesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sosef MSM, Hong LT, Prawirohatmodjo S.(ed).1998. *Timber trees: Lesser-known timbers*. No 5(3). Bogor: PROSEA.
- Robinson T. 1995. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Bandung: Kosasih Padmawinata Bandung.
- Subekti N, Paiticen M, Kuwulur EIJJ, Sirait SHK, Mohamed S. 2018. Types of plasmodium and the effect of environmental factor against malaria in manokwari, west papua. *JPII*. 7 (3): 322-332.
- Tiwari P, Kumar B, Kaur M, Kaur G, Kaur H. 2011. Phytochemical screening and extraction: A review. *J. Int. Pharm. Sci.* 1(1): p. 98-106.
- Wadood A, Gufran M, Jamal SB, Naeem M, Khan A, Ghafar R, Asnad. 2013. Phytochemical analysis of medical plants occuring local area of Mardan. *J. Biochem. anal. Biochem.* 2(4).
- Wong Z, Chen K, Li J. 2010. Formation of vanillin and syringaldehyde in an oxygen delignification process. *Bioresources*. 5(3): 1509-1516.

Prediksi Nilai Kuat Lentur Kayu Tropis Berdasarkan Nilai Modulus Elastis

(Prediction of Timber Bending Strength of Tropical Timbers Based on Its Modulus of Elasticity)

Ali Awaludin*, Urwatul Wusqo

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Penulis korespondensi: ali.awaludin@ugm.ac.id

Abstract

SNI 7973:2013 classifies the timber grade based on its static modulus of elasticity (MoE_s). The timber mechanical properties, such as timber bending strength (MoR), can be predicted using its static modulus of elasticity. This study focused on obtaining the formulas to predict $E_{0,05}$ and tropical timber bending strength (MoR) based on its MoE_s . The static bending test was conducted following EN 408, and the dynamic timber bending test was performed based on the stress wave velocity method. Furthermore, some bending tests result from the previous researchers were also used in this study. The analysis result shows that the $E_{0,05}$ is about $0,754 E_{0,mean}$. The regression analysis also shows that the formula $MoR = -1.59 + 0.0061 MoE_s$ can be used to predict the value of MoR . From this, the bending design values provided in table 4.2.1 (SNI 7973:2013) tend to give a good safety factor. The correlation between dynamic and static modulus of elasticity is expressed by the equation $MoE_d = -1330.1 + 1.254 MoE_s$ with the determination coefficient (R^2) reaches 0.69

Keywords: bending strength, dinamyc modulus of elasticty, static modulus of elasticty

Abstrak

Dalam SNI 7973:2013, nilai modulus elastisitas statik kayu (MoE_s) digunakan sebagai dasar pengelompokan mutu kayu. Nilai MoE_s juga dapat digunakan untuk memprediksi sifat mekanika kayu yang lain. Penelitian ini melakukan kajian untuk mendapatkan persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai $E_{0,05}$ berdasarkan nilai rata rata modulus elastisitas dan persamaan untuk mendapatkan nilai kekuatan lentur (MoR) berdasarkan nilai MoE_s nya dari kayu tropis yang ada di Indonesia. Uji lentur statik dilakukan berdasarkan EN 408, sementara itu uji lentur dinamik dilakukan menggunakan metode *stress wave velocity*. Selain itu, data sekunder hasil pengujian lentur dari para peneliti terdahulu juga digunakan dalam penelitian ini. Dari hasil analisis, nilai $E_{0,05}$ adalah sebesar 0,754 dari $E_{0,mean}$. Analisis regresi linear menunjukkan bahwa nilai MoR dapat didekati dengan persamaan $MoR = -1,359 + 0,0061 MoE_s$, dimana dari persamaan ini dapat diketahui bahwa nilai desain acuan yang ada pada Tabel 4.2.1 SNI 7973:2013 cenderung memberikan faktor keamanan yang memadai. Pengujian lentur dinamik kayu menunjukkan bahwa hubungan antara modulus elastisitas dinamik (MoE_d) dan MoE_s dapat didekati melalui persamaan $MoE_d = -1330,1 + 1,254 MoE_s$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,69.

Kata kunci: kekuatan lentur, modulus elastisitas dinamik, modulus elastisitas statik

Pendahuluan

Nilai modulus elastisitas (MoE) dan kekuatan lentur (MoR) kayu merupakan

dua parameter utama yang lazim digunakan untuk memprediksi sifat-sifat mekanika kayu yang lain, seperti kuat

tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Salah satu parameter penting yang sering digunakan, terutama dalam perhitungan struktur lentur adalah nilai $E_{0,05}$. EN 338 telah menyediakan persamaan empiris untuk menghitung nilai $E_{0,05}$ dari nilai rata-rata modulus elastisitas yang didapatkan dari pengujian lentur. Namun demikian, persamaan ini belum tentu sesuai apabila diaplikasikan pada kayu tropis yang ada di Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk mengetahui kesesuaian persamaan yang ada pada EN 338 terhadap kayu tropis yang ada di Indonesia.

Penentuan kelas/mutu kayu dapat dilakukan dengan berdasarkan kekuatan dan modulus elastisitas kayu. EN 338 mengelompokkan kelas kayu berdasarkan nilai kekuatan lenturnya, sementara SNI 7973:2013 mengelompokkan mutu kayu berdasarkan nilai MoE. Nilai MoE dan MoR pada kayu memiliki keterkaitan satu sama lain, dimana nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari analisis regresi terhadap dua parameter ini berkisar antara 0,45 sampai 0,7596 (Baar *et al.* 2015 ; Baillères *et al.* 2012; Baillères *et al.* 2009; Steiger *et al.* 2010). Menurut Blass (2010), untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi yang tinggi, nilai MoE berdasarkan pengujian (*machine grading*) perlu dikombinasikan dengan hasil penilaian secara visual (*visual grading*) yang meliputi pengamatan terhadap adanya mata kayu.

Untuk mendapatkan nilai MoE dan MoR kayu, SNI 03-3539-1995 tentang *Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium* menggunakan benda uji berukuran (50×50×760) mm³ yang diuji dengan metode uji lentur tiga titik (BSN 1995). Sementara itu, banyak penelitian tentang pengujian lentur kayu di

Indonesia yang masih menggunakan standar lain seperti ASTM D143-94, ASTM D198, BS 373:1957, EN 408, dan JIS Z 2113 yang memiliki dimensi benda uji dan metode uji yang berbeda. Pada umumnya, benda uji lentur kayu berukuran kecil (seperti pada BS 373:1957) bebas dari adanya cacat kayu (mata kayu, kemiringan serat, dan retak). Sementara itu, benda uji berukuran besar biasanya mengandung cacat kayu yang dapat mempengaruhi hasil dari uji kuat lentur.

Pengujian lentur untuk mendapatkan nilai MoE dan MoR dapat dilakukan secara statik dan dinamik. Pengujian secara statis umumnya bersifat destruktif, yaitu melalui uji lentur tiga titik maupun empat titik di laboratorium. Pengujian secara dinamik dapat dilakukan dengan memanfaatkan data kecepatan rambat gelombang tegangan (*stress wave velocity*) pada material kayu ketika salah satu ujungnya diberi pukulan kejut, dan pengujian ini bersifat non-destruktif. Pengujian lentur kayu secara dinamik ini lebih efisien, praktis, cepat, serta tidak menyebabkan kerusakan pada kayu. Namun demikian, hasil yang didapatkan dari pengujian kayu secara statik ini seringkali berbeda nilainya dengan hasil dari pengujian lentur secara dinamis. Pengujian terdahulu menunjukkan adanya korelasi yang baik antara MoE yang dihasilkan dari pengujian statik (MoE_s) dan dinamik (MoE_d). Selain itu, nilai modulus elastisitas dari pengujian dinamik biasanya cenderung lebih besar daripada hasil dari pengujian statik (Karlinsari *et al.* 2017; Piao *et al.* 2004; Utami *et al.* 2020). Sementara itu, dalam desain biasanya yang digunakan sebagai nilai acuan dalam adalah hasil dari pengujian lentur secara statik. Oleh karena itu, perlu adanya kajian untuk mendapatkan persamaan yang dapat

digunakan menghubungkan nilai MoE_d dengan nilai MoE_s . Lebih lanjut, persamaan ini nantinya juga dapat dikembangkan menjadi persamaan yang dapat digunakan untuk menghubungkan nilai MoE_d dengan nilai MoR dari kayu untuk kepentingan penggunaan praktis.

Pada penelitian ini, dilakukan uji lentur statik pada sembilan jenis kayu tropis dan uji lentur dinamik pada enam jenis kayu tropis yang ada di Indonesia. Pengujian-pengujian tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai MoE_s , MoE_d , dan nilai kekuatan lentur (MoR) dari beberapa kayu yang ada di Indonesia. Hasil uji lentur yang diperoleh dari penelitian ini dan data hasil uji lentur dari beberapa penelitian sebelumnya diolah menggunakan analisis statistik untuk mendapatkan persamaan empiris yang menghubungkan nilai modulus elastisitas statik (MoE_s) dengan nilai kuat lentur (MoR) dari kayu tropis yang ada di Indonesia. Pada nilai MoE yang sama, nilai MoR dari persamaan empiris yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai MoR yg disajikan dalam SNI 7973:2013 untuk mengetahui seberapa besar tingkat keamanan yang diberikan oleh SNI 7973:2013. Adanya perbedaan standar pengujian yang diacu pada saat uji lentur pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu juga dikaji lebih lanjut. Selain itu, makalah ini secara khusus menyajikan bahasan tentang korelasi data pengukuran MoE_s dengan MoE_d .

Metode

Prediksi sifat mekanika kayu

EN 338 menyediakan beberapa persamaan untuk mendapatkan parameter sifat mekanika kayu berdasarkan nilai MoE dan MoR kayu. Dalam EN 338, nilai persentil ke-5 dari modulus elastisitas kayu sejajar serat dapat diprediksi

berdasarkan nilai rerata modulus elastisitasnya, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1) (Anonim, 2003) .

$$E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean} (softwood) \quad (1.a)$$

$$E_{0,05} = 0,84 E_{0,mean} (hardwood) \quad (1.b)$$

dengan $E_{0,05}$ = nilai persentil ke-5 dari modulus elastisitas kayu sejajar serat, $E_{0,mean}$ = nilai rata-rata modulus elastisitas kayu sejajar serat.

Kayu jenis *hardwood* merupakan tumbuhan *angiospermae* (tumbuhan berbiji tertutup), memiliki daun yang berukuran lebar, dan biasanya menggugurkan daunnya pada saat musim kemarau. Kayu jenis *hardwood* memiliki struktur sel yang lebih kompleks dibandingkan *softwood*, dimana sebagian besar volume kayunya disusun oleh sel serat yang memberikan dukungan struktural pada batang kayu *hardwood* (Bond 2002). Dilihat dari ciri-ciri fisiknya, sebagian besar kayu tropis yang banyak tumbuh dan dimanfaatkan untuk komponen konstruksi di Indonesia dapat dikategorikan sebagai *hardwood*.-EN 338 juga menyediakan persamaan untuk memprediksi nilai modulus elastisitas tegak lurus serat dan modulus geser kayu berdasarkan nilai modulus elastisitas sejajar serat. Sementara itu, nilai kuat tarik sejajar serat, kuat tekan sejajar serat, serta kuat geser dapat diprediksi menggunakan nilai kuat lentur (MoR).

Pengujian lentur balok kayu

Pengujian empat titik dilakukan pada balok kayu sesuai dengan EN 408, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jack*. Besarnya beban yang diberikan pada benda uji diukur menggunakan *load cell*, sedangkan lendutan vertikal yang terjadi di tengah bentang diukur menggunakan

dua buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*). Balok kayu yang diuji pada posisi rebah memiliki dimensi (60×120×1230) mm³. Keberadaan cacat kayu berupa mata kayu dan kemiringan serat dimungkinkan pada benda uji mengingat ukuran benda uji termasuk ukuran struktur dimana keberadaan cacat kayu sulit dihindari. Namun, dalam penelitian ini keberadaan cacat kayu tidak diperhitungkan dalam proses analisis. Pengujian lentur statik dilakukan sampai benda uji mengalami kerusakan pada sembilan jenis kayu: Akasia (*Acacia mangium*), Mahoni (*Swietenia mahogany*), Munggur (*Samanea saman*), Sukun (*Artocarpus altilis*), Sonokeling (*Dalbergia latifolia*), Jati (*Tectona grandis*), Durian (*Durio zibethinus*), Surian (*Toona sureni*), dan Wadang (*Pterospermum javanicum*). Selain itu, uji lentur dengan standar SNI 03-3539-1995 juga dilakukan pada empat jenis kayu meliputi kayu Keruing (*Dipterocarpus retusus*), Bangkirai (*Shorea laevis Ridl*), Kamper

(*Cinnamomum camphora*), dan Balau (*Shorea spp.*). Benda uji kayu ini memiliki dimensi (50×50×760) mm³, dan diuji dengan metode uji lentur tiga titik. Sementara itu, hanya enam jenis kayu tropis yang diuji lentur dinamik, yaitu kayu Akasia, Mahoni, Munggur, Sukun, Sonokeling, dan Jati. Besarnya nilai modulus elastisitas dari kayu dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) (Anonim, 2004).

$$MoE_s = \frac{\alpha l_1^2 (F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad (2)$$

dimana α adalah jarak antara titik pembebanan dengan tumpuan, l_1 adalah panjang bentang, dan I adalah momen inersia penampang balok. Pada Persamaan (2), nilai $F_2 - F_1$ menunjukkan kenaikan beban, sementara $w_2 - w_1$ menunjukkan kenaikan lendutan vertikal. Data nilai beban dan lendutan yang berkesesuaian ini diambil pada rentang pembebanan 10% sampai 40% dari beban puncak hasil pengujian lentur statik.



Gambar 1 Pengujian lentur statik balok kayu.



Gambar 2 Pengujian lentur dinamik balok kayu.

Sebelum pengujian lentur, juga dilakukan pengujian *stress wave velocity* untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dinamik (MoE_d) seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Nilai MoE_d dihitung berdasarkan Persamaan (3), dimana f_0 adalah nilai frekuensi terukur dari gelombang tegangan dalam satuan kHz, L adalah panjang batang kayu dalam satuan meter, dan ρ adalah nilai kerapatan kayu dalam satuan kg/m^3 (Divós & Tanaka 2005). Asumsi material yang berperilaku homogen digunakan dalam penghitungan MoE_d .

$$MoE_d = 4f_0^2 L^2 \rho \quad (3)$$

Pengumpulan data

Pengumpulan data sekunder pengujian lentur kayu tropis yang ada di Indonesia, meliputi modulus elatisitas statik, modulus elastisitas dinamik, dan kuat lentur dari penelitian terdahulu dilakukan, dimana data-data tersebut secara lengkap disajikan pada Tabel 1. Selain itu, hasil pengujian lentur berupa nilai MoE dan MoR dari penelitian ini juga ditampilkan pada Tabel 1. Pengujian dilakukan berdasarkan berbagai macam standar dengan dimensi dan metode benda uji yang berbeda-beda seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil pengujian lentur kayu tropis di Indonesia

Jenis kayu	Sifat mekanika			Standar pengujian lentur kayu
	MoE_s (MPa)	MoE_d (MPa)	MoR (MPa)	
Mangium, Akasia (<i>Acacia mangium</i>)	8808 ^a		63,89 ^a	ASTM D143-94
	8900 ^b		42,2 ^b	ASTM D-198
	7848 ^c	24161 ^c	86,73 ^c	BS 373:1957
	8069	8345	58,64	EN 408
Kayu Kalimantan	15300 ^b		62,80 ^b	ASTM D-198
Meranti, (<i>Shorea sp</i>)	14900 ^b		55,10 ^b	ASTM D-198
	5121 ^c	11027 ^c	50,27 ^c	BS 373:1957
Kapur	14200 ^b		56,10 ^b	ASTM D-198
Kamper (<i>Cinnamomum camphora</i>)	14784 ^d		44,69 ^d	ISO 1329-1975
	13497		70,42	SNI 03-3539-1995

Jenis kayu	Sifat mekanika			Standar pengujian lentur kayu
	MoE _s (MPa)	MoE _d (MPa)	MoR (MPa)	
Sengon (<i>Paraserianthes falcata</i>)	8700 ^b 3117 ^c	11350 ^c	32,70 ^b 35,75 ^c	ASTM D-198 BS 373:1957
Karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	10600 ^b		43,90 ^b	ASTM D-198
Kayu Afrika, Manii (<i>Maesopsis eminii</i>)	12000 ^b 6880 ^c	15779 ^c	45,80 ^b 73,89 ^c	ASTM D-198 BS 373:1957
Pinus (<i>Pinus merkusii</i>)	12900 ^b 10385 ^c	29008 ^c	34,20 ^b 82,14 ^c	ASTM D-198 BS 373:1957
Damar, Agathis (<i>Agathis</i>)	12000 ^b 8395 ^c	8395 ^c	44,60 ^b 69,91 ^c	ASTM D-198 BS 373:1957
Samama (<i>Antocephalus macrophyllus Roxb</i>)	4760 ^e		50,86 ^e	BS 373:1957
Lulu (<i>Celtis latifolia Planc</i>)	10297 ^f		161,0 ^f	Benda uji (20×20×360) mm ³
Jabon merah (<i>Antocephalus macrophyllus (Roxb) Havil</i>)	7274 ^g		66,53 ^g	JIS Z 2113
Ulin (<i>Eusideroxylon Zwageri</i>)	5574 ^h		85,92 ^h	ASTM D143
Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	7842 ⁱ 7595		53,99 ⁱ 36,53	BS 373:1957 EN 408
Kecapi (<i>Sandoricum koetjape Merr</i>)	6210 ⁱ		52,33 ⁱ	BS 373:1957
Mahoni (<i>Swietenia mahogany</i>)	5869	5257	35,78	EN 408
Munggur, Trembesi, Suar (<i>Samanea saman</i>)	4367	4635	30,41	EN 408
Sukun (<i>Artocarpus altilis</i>)	4352	3526	20,66	EN 408
Sonokeling (<i>Dalbergia latifolia</i>)	7040	8592	49,92	EN 408
Jati (<i>Tectona grandis</i>)	9982		60,73	EN 408
Surian (<i>Toona sureni</i>)	6774		40,33	EN 408
Wadang (<i>Pterospermum javanicum</i>)	5951		31,73	EN 408
Keruing (<i>Dipterocarpus retusus</i>)	12931		84,74	SNI 03-3539-1995
Bangkirai (<i>Shorea laevis Ridl</i>)	16097		114,07	SNI 03-3539-1995
Balau (<i>Shorea spp.</i>)	14396		91,35	SNI 03-3539-1995

Keterangan:

^a(Hadjib *et al.* 2007)

^b(Firmanti *et al.* 2005)

^c(Karlinsari *et al.* 2006)

^d(Oka 2009)

^e(Cahyono *et al.* 2012)

^f(Wahyudi *et al.* 2017)

^g(Lempang 2014)

^h(Pranata & Palapessy 2014)

ⁱ(Syamani *et al.* 2012)

Tabel 2 Dimensi benda uji lentur pada beberapa standar pengujian

Standar pengujian	Dimensi benda uji			Metode pengujian
	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	
SNI 03-3539-1995	50	50	760	Uji lentur 3 titik
ASTM D143-94	25	25	410	Uji lentur 3 titik
	50	50	760	
ASTM D-198	120	60	3000	Uji lentur 4 titik
BS 373:1957	20	20	300	Uji lentur 3 titik
EN 408:2004	120	60	1200	Uji lentur 4 titik

Setelah semua data terkumpul, analisis statistik dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai MoE_s dan MoR kayu tropis yang ada di Indonesia. Data pencilan (*outliers*) dari masing-masing hasil pengujian tidak diikutsertakan dalam analisis regresi agar data yang dihasilkan tidak bersifat bias. Analisis regresi dilakukan terlebih dahulu pada satu kelompok data hasil uji lentur. Selanjutnya, analisis terhadap data pencilan dengan menggunakan metode *standardized residual* dilakukan untuk menghilangkan data pencilan. Adapun data pencilan merupakan data yang memiliki nilai mutlak residual $|r_i|$ lebih dari dua, atau secara matematis digambarkan pada Persamaan (4).

$$r_i = \frac{e_i}{s\sqrt{(1-h_{ii})}} \quad (4)$$

Keseluruhan data uji lentur yang tidak mengandung data pencilan dikompilasi dan dianalisis. Analisis regresi pada data-data ini dilakukan guna mendapatkan persamaan empiris untuk memprediksi nilai MoR kayu berdasarkan nilai MoE_s dan nilai koefisien determinasi (R^2). Apabila nilai (R^2) semakin mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa model/persamaan yang didapatkan semakin akurat. Setelah garis regresi yang menghubungkan antara nilai MoE dan MoR didapatkan, dicari persamaan garis regresi dengan batas bawah 5% (*exclusion limit* 5%). Apabila β_1 merupakan kemiringan garis regresi yang didapatkan, maka persamaan garis regresi

dengan batas bawah 5% (*exclusion limit* 5%) dapat dicari menggunakan Persamaan (5) – (8).

$$y = \bar{\beta}_0 + \beta_1 x \quad (5)$$

$$\bar{\beta}_0 = \beta_0 \pm t \cdot s_e \quad (6)$$

$$s_e = s_{YX} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (7)$$

$$s_{YX} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - \bar{\beta}_0 \sum Y - \bar{\beta}_1 \sum XY}{n - k - 1}} \quad (8)$$

dengan adalah nilai t kritis distribusi t , nilai s_e adalah nilai *standard error of estimate*, dan nilai k merupakan orde polinomial dari sejumlah data n yang digunakan.

Hasil dan Pembahasan

Kesesuaian prediksi nilai persentil ke 5 modulus elatisitas (MoE) berdasarkan EN 338 terhadap kayu tropis di Indonesia

Dalam EN 408, Nilai $E_{0,05}$ didefinisikan sebagai nilai persentil ke 5 dari MoE hasil pengujian lentur. Nilai ini tidak selalu digunakan dalam perhitungan desain struktur kayu. Namun demikian, nilai $E_{0,05}$ ini diperlukan dalam perhitungan struktur lentur. Dalam SNI 7973:2013 terdapat nilai E_{min} yang pada proses untuk mendapatkannya menggunakan data nilai $E_{0,05}$ meskipun tidak disebutkan secara spesifik. Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan nilai $E_{0,05}$ dari sembilan jenis

kayu tropis yang diuji menggunakan standar EN 408. Prosedur yang digunakan untuk mendapatkan nilai $E_{0,05}$ ini adalah dengan menggunakan kaidah statistik secara umum. Nilai $E_{0,05}$ yang didapatkan berkisar antara 0,596 sampai 0,894 $E_{0,mean}$, dimana untuk keseluruhan sampel kayu yang diuji rata-ratanya memberikan persamaan $E_{0,05} = 0,754 E_{0,mean}$. Dalam EN 338, nilai $E_{0,05}$ untuk kayu yang termasuk dalam kategori *hardwood* dapat didekati dengan persamaan $E_{0,05} = 0,84 E_{0,mean}$. Dengan demikian, persamaan yang ada pada EN 338 masih dalam rentang yang dihasilkan dari penelitian ini.

Hubungan antara Nilai Modulus Elastisitas Statis (MoEs) Kayu dengan Kuat Lentur Kayu (MoR)

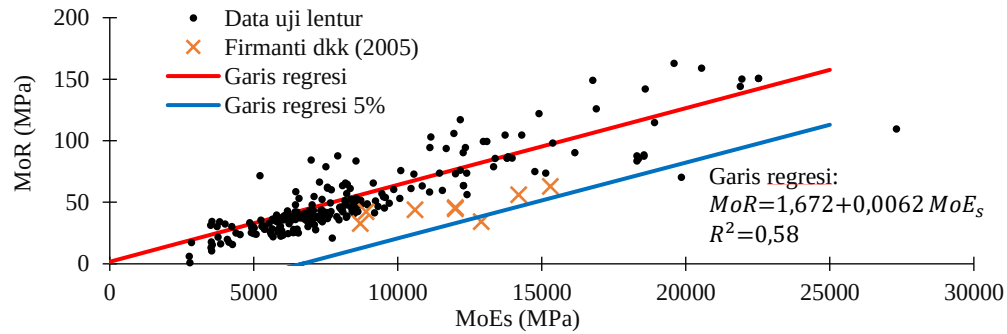
Sebanyak 259 pasangan data MoEs dan MoR didapatkan dalam proses penelitian ini untuk selanjutnya dicari hubungan antara kedua variabel ini melalui analisis regresi. Pasangan data MoEs dan MoR ini dikelompokkan berdasarkan dimensi (panjang) benda uji lentur, sehingga didapatkan beberapa variasi hasil analisis regresi yang hasilnya dapat dilihat pada

Gambar 2 dan Tabel 4. Data yang dihasilkan oleh Firmanti *et al.* (2005) juga ditampilkan pada Gambar 3, meskipun dalam analisis regresi untuk menghasilkan Gambar 3(c) data tersebut tidak diikutsertakan.

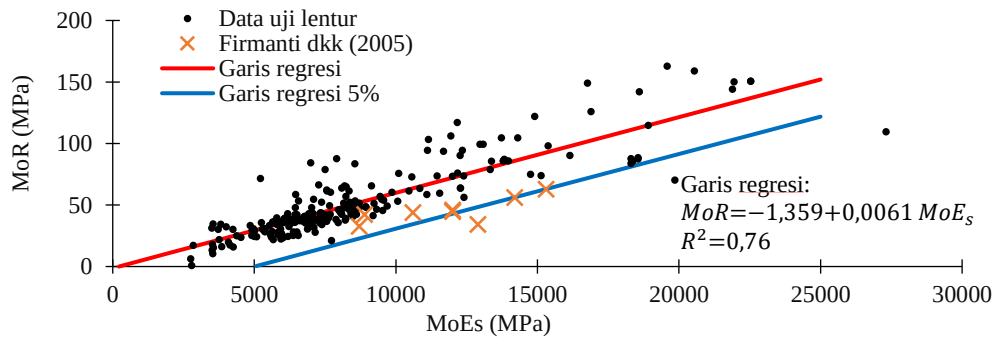
Gambar 2(a) hingga 3(d) menunjukkan bahwa nilai MoE berkorelasi positif terhadap nilai MoR kayu, dengan nilai R^2 berkisar antara 0,55 hingga 0,76, meskipun data yang digunakan memiliki ukuran benda uji dan metode uji yang berbeda-beda. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan dari analisis regresi sejalan dengan hasil penelitian dari para peneliti terdahulu, yang berkisar antara 0,45 sampai 0,76 (Baar *et al.* 2015; Baillères *et al.* 2012; Baillères *et al.* 2009). Diantara 4 garis regresi yang didapatkan, analisis regresi yang hanya mengikutsertakan benda uji dengan ukuran 0,76 m keatas memberikan koefisien determinasi yang paling tinggi. Dengan demikian, hasil analisis regresi dari kategori inilah yang dinilai cocok untuk digunakan dalam memprediksi nilai MoR kayu tropis yang ada di Indonesia berdasarkan nilai MoEsnya.

Tabel 3 Nilai Persentil ke-5 modulus elastisitas kayu yang diuji menggunakan standar EN408

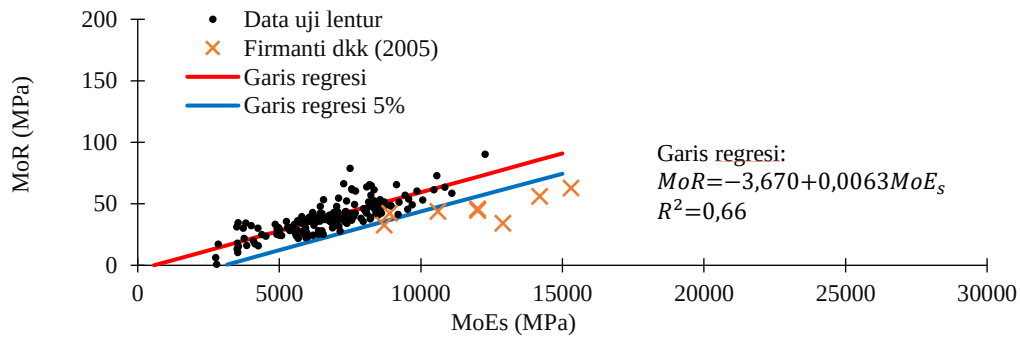
Kayu	Jumlah benda uji	$E_{0,mean}$ (MPa)	$E_{0,05}$ (MPa)	Persamaan
Akasia	10	8069	7215	$E_{0,05} = 0,894 E_{0,mean}$
Mahoni	10	5869	4113	$E_{0,05} = 0,701 E_{0,mean}$
Munggur	10	4367	3517	$E_{0,05} = 0,805 E_{0,mean}$
Sonokeling	9	7822	6676	$E_{0,05} = 0,854 E_{0,mean}$
Sukun	9	4369	2762	$E_{0,05} = 0,632 E_{0,mean}$
Jati	10	9982	7682	$E_{0,05} = 0,770 E_{0,mean}$
Durian	34	7591	5542	$E_{0,05} = 0,730 E_{0,mean}$
Surian	36	6797	5337	$E_{0,05} = 0,785 E_{0,mean}$
Wadang	40	5951	3549	$E_{0,05} = 0,596 E_{0,mean}$
Rata rata		$E_{0,05} = 0,752 E_{0,mean}$		



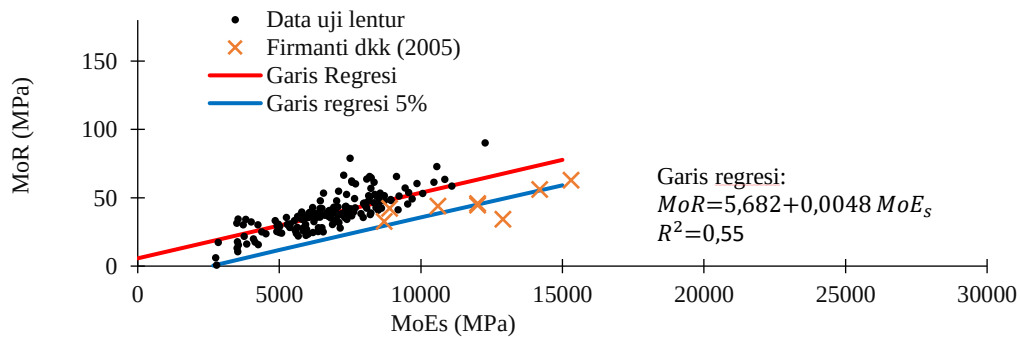
(a)



(b)



(c)

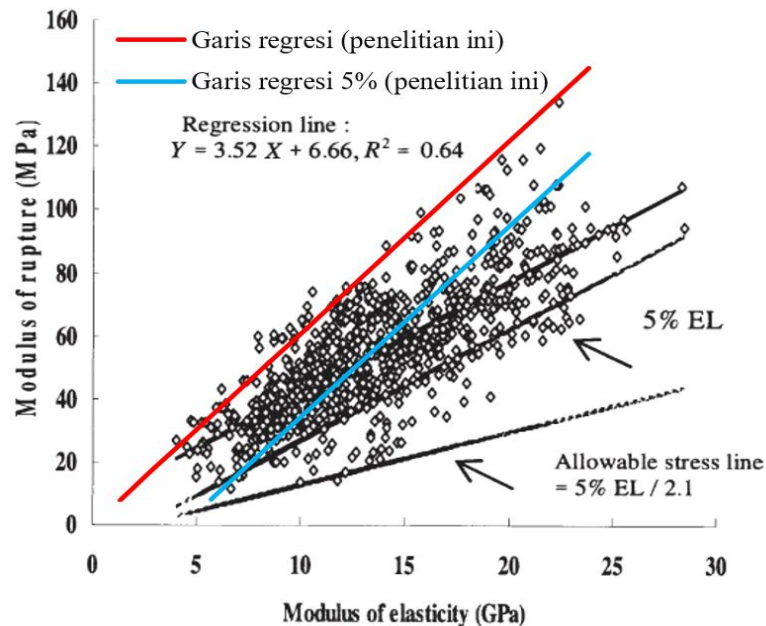


(d)

Gambar 2 Grafik hubungan antara MoE_s dan MoR pada: a) Semua data uji lentur, b) Data uji lentur dengan panjang minimal 0,76 m, c) Data uji lentur dengan panjang 1-2 m, dan d) Data uji lentur dengan panjang lebih dari 1 m.

Tabel 4 Hasil analisis regresi

Kategori	Jumlah data, n	Koefisien determinasi, R^2	Persamaan regresi
Semua data	259	0,58	$MoR=1,672+0,0062 MoE_s$
$0,76 \leq L$	233	0,76	$MoR=-1,359+0,0061 MoE_s$
$1 < L < 2m$	169	0,66	$MoR=-3,670+0,0063 MoE_s$
$1m < L$	177	0,55	$MoR=5,682+0,0048 MoE_s$



Gambar 3 Plot garis regresi dari penelitian ini terhadap garis regresi yang didapatkan oleh Firmanti *et al.* (2005).

Pemilihan persamaan regresi ini tidak hanya berdasarkan nilai R^2 nya saja, namun juga dengan pertimbangan bahwa pada kategori ini pengaruh adanya cacat kayu (mata kayu dan kemiringan serat) pada benda uji telah terakomodir dalam pengujian lentur yang dilakukan. pengaruh adanya cacat kayu tidak akan ditemui pada sampel berukuran kecil.

Sebelumnya, Firmanti *et al.* (2005) juga telah melakukan analisis statistik untuk mendapatkan persamaan regresi yang menunjukkan hubungan antara MoE_s dan MoR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Garis yang didapatkan dari kajian ini lebih tegak dibandingkan garis regresi hasil kajian Firmanti *et al.* (2005).

Pada nilai MoE yang sama, garis regresi dari Firmanti *et al.* (2005) akan memberikan nilai MoR yang lebih rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan dimensi benda uji yang berbeda, dimana pada penelitian Firmanti *et al.* (2005) digunakan benda uji lentur yang lebih panjang (3 m).

Hubungan antara nilai modulus elastisitas statik (MoE_s) dengan modulus elastisitas dinamik (MoE_d) kayu

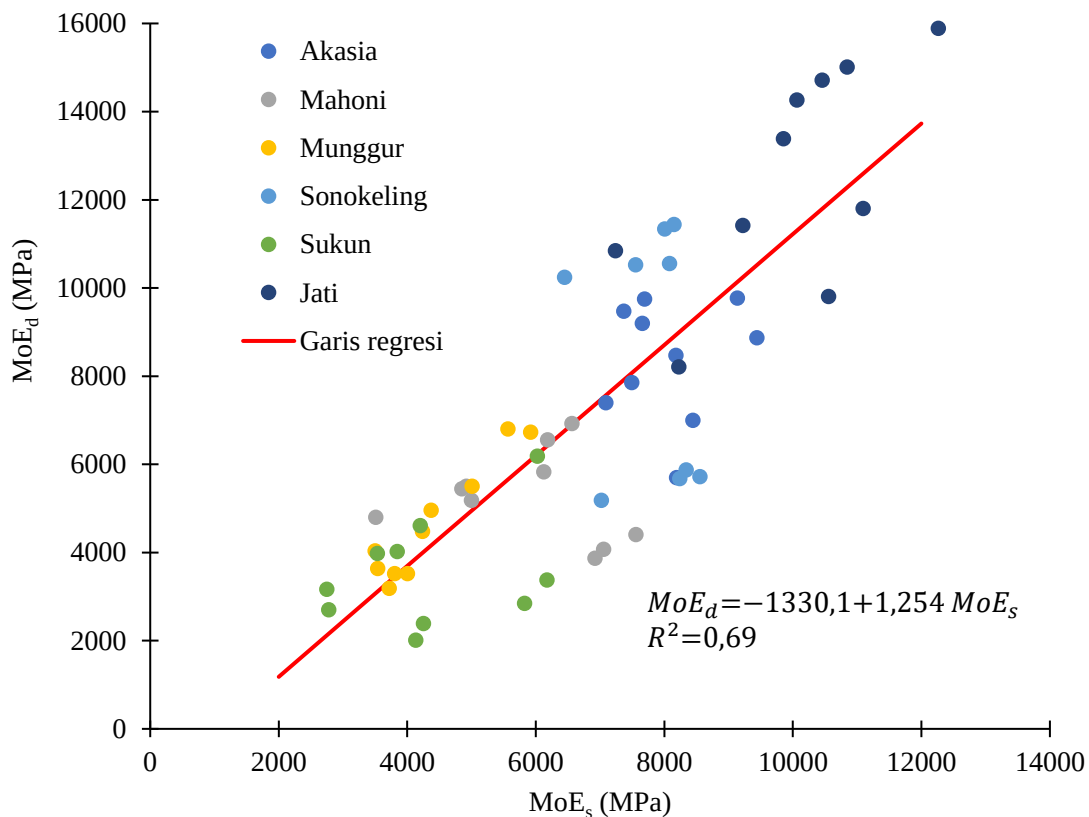
Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara modulus elastisitas statik (MoE_s) dengan modulus elastisitas dinamik (MoE_d) dari enam jenis kayu tropis yang

ada di Indonesia, meliputi kayu Akasia, Mahoni, Munggur, Sonokeling, Sukun, dan Jati. Perbandingan antara nilai MoE_d terhadap MoE_s berkisar antara 0,49 hingga 1,59. Dari analisis regresi yang dilakukan, didapatkan persamaan regresi $MoE_d = -1330,1 + 1,254 MoE_s$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,69.

Prediksi nilai kekuatan lentur (MoR) berdasarkan nilai modulus elastisitas statis (MoE_s) kayu

Tabel 5 menunjukkan nilai faktor keamanan dari MoR terhadap nilai kuat lentur desain acuan yang ada pada Tabel

4.2.1 SNI 7973:2013. Nilai faktor keamanan didapatkan dengan membagi nilai MoR (berdasarkan garis regresi 5% /*exclusion limit* 5%) dengan nilai kuat lentur desain acuan yang sudah dikalikan dengan faktor koreksi format. Dari Tabel 5, terlihat bahwa nilai rasio antara MOR yang didapatkan dari kajian ini dengan nilai kuat lentur yang diberikan dalam SNI 7973:2013 memiliki nilai yang tidak seragam, berkisar antara 1,11 hingga 1,96. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat lentur desain acuan yang ada pada SNI 7973:2013 memberikan faktor keamanan yang cukup.



Gambar 4 Hubungan antara modulus elastisitas statis (MoE_s) dan modulus elastisitas dinamik (MoE_d).

Tabel 5 Perbandingan nilai MoR dari kajian ini terhadap nilai kuat lentur desain acuan pada SNI 7973:2013

MOE	SNI 7973:2013		Penelitian ini	
	f_b	$f_b \square KF$	MoR	Rasio MoR (4)/(3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
26000	26,00	66,04	127,66	1,93
25000	24,40	61,98	121,56	1,96
24000	23,20	58,93	115,46	1,96
23000	22,00	55,88	109,36	1,96
22000	21,30	54,10	103,26	1,91
21000	19,70	50,04	97,16	1,94
20000	18,50	46,99	91,06	1,94
19000	17,30	43,94	84,96	1,93
18000	16,50	41,91	78,86	1,88
17000	15,00	38,10	72,76	1,91
16000	13,80	35,05	66,66	1,90
15000	12,60	32,00	60,56	1,89
14000	11,80	29,97	54,46	1,82
13000	10,60	26,92	48,36	1,80
12000	9,10	23,11	42,26	1,83
11000	7,90	20,07	36,16	1,80
10000	7,10	18,03	30,06	1,67
9000	5,50	13,97	23,96	1,72
8000	4,30	10,92	17,86	1,64
7000	3,10	7,87	11,76	1,49
6000	2,00	5,08	5,66	1,11

Konsistensi nilai modulus elastisitas statik (MoE_s) dengan modulus elastisitas dinamik (MoE_d) kayu

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas dinamik kayu cenderung lebih besar dibanding dengan nilai modulus elastisitas statiknya, namun besarnya perbedaan yang dihasilkan tergantung pada metode yang digunakan dalam pengukuran MoE_d. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Karlinasari *et al.* (2006, 2012) pada beberapa kayu tropis yang ada di

Indonesia, menunjukkan bahwa penggunaan metode ultrasonik menghasilkan MoE_d sebesar dua hingga tiga kali lipat dari nilai MOE_s. Pada penelitian ini, didapatkan nilai MoE_d sebesar 0,49 hingga 1,59 kali lipat dari MoE_s.

Dari hasil analisis dalam penelitian ini, hubungan antara MoE_d dan MoE_s digambarkan melalui persamaan $MoE_d = -1330,1 + 1,254 MoE_s$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,69. Terdapat beberapa faktor yang dapat

mempengaruhi besarnya nilai R^2 , salah satunya adalah sensitifitas alat ukur dan kondisi ruang pengujian. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Utami *et al.* (2020) menunjukkan bahwa nilai R^2 yang dihasilkan bisa mencapai 0,827. Selanjutnya, studi yang dilakukan oleh Simic *et al.* (2019) juga menunjukkan bahwa dimensi penampang yang digunakan dalam pengukuran MoE_d juga mempengaruhi besarnya R^2 yang dihasilkan. Analisis regresi linear terhadap MoE_s dan MoE_d pada balok dengan penampang ($35 \times 75 \text{ mm}^2$) dan ($44 \times 100 \text{ mm}^2$) masing-masing memiliki nilai R^2 sebesar 0,356 dan 0,635.

Pengaruh perbedaan volume benda uji terhadap hasil pengujian kekuatan lentur (MoR) dan modulus elastisitas statik (MoE_s) kayu

Perbedaan hasil pengujian lentur kayu yang sejenis dengan menggunakan standar uji yang berbeda terlihat dengan jelas pada Tabel 1. Benda uji yang diuji menggunakan sampel kecil (BS 373:1957) memberikan nilai MoE_s dan MoR yang lebih besar dibanding dengan sampel yang diuji menggunakan standar yang lain. Perbedaan yang signifikan terlihat pada nilai MoR yang didapatkan. Sebagai contoh pada Kayu Durian, nilai MoR sampel yang diuji menggunakan standar BS 373:1957 bernilai 47,80% lebih besar dibandingkan nilai MoR sampel yang diuji dengan menggunakan standar EN 408. Sementara itu, nilai MoE_s sampel yang diuji menggunakan standar BS 373:1957 hanya bernilai 3,25% lebih besar dibanding dengan yang diuji menggunakan standar EN 408. Ukuran benda uji pada sampel yang diuji berdasarkan BS 373:1957 relatif lebih kecil dibandingkan standar uji yang lain, sehingga besar kemungkinan untuk mendapatkan sampel yang bebas dari

adanya cacat kayu. Hal ini dapat menyebabkan hasil pengujian yang didapatkan dari metode BS 373:1957 lebih besar dibandingkan standar uji yang lain.

Perbedaan ukuran benda uji yang digunakan dapat memberikan hasil sifat mekanika lentur yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh Jamil *et al.* (2013) menunjukkan bahwa hasil pengujian lentur dengan spesimen kecil (penampang $50 \times 50 \text{ mm}^2$) memiliki nilai MoR yang cenderung lebih besar dibandingkan spesimen berukuran besar (penampang $50 \times 100 \text{ mm}^2$). Namun demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terlihat selisih/perbedaan yang konsisten antara MoR yang didapatkan melalui pengujian dengan spesimen kecil dengan spesimen besar. Sebaliknya, nilai MoE_s pada spesimen berukuran besar lebih tinggi dibanding dengan spesimen kecil. Untuk spesimen berupa kayu tropis yang ada di Malaysia, garis regresi yang menghubungkan antara nilai MoE_s spesimen kecil dan spesimen besar memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6365 (Jamil *et al.* 2013).

Kajian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh oleh para peneliti terdahulu, sehingga adanya perbedaan hasil pengujian kayu juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor lain. Kadar air pada kayu memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat mekanis kayu (Wahyudi *et al.* 2017), sementara asal/sumber (provenans) dari kayu tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat mekanis kayu (Hadjib *et al.* 2007). Perbedaan metode pengujian juga dapat memberikan perbedaan hasil MoE_s dan MoR . Penelitian yang dilakukan oleh Hein. (2018) menunjukkan bahwa nilai MoE_s dan MoR pada sampel kayu yang sama dari uji lentur 3 titik lebih besar

dibandingkan hasil yang didapatkan dari uji lentur 4 titik. Nilai MoR hasil uji lentur 3 titik mencapai 5,2% lebih besar dibanding dengan nilai MoR hasil uji lentur 4 titik.

Kesimpulan

Dalam SNI 7973:2013, nilai modulus elastisitas statik kayu (MoE_s) digunakan sebagai dasar pengelompokan mutu kayu. Nilai MoE_s ini dapat digunakan untuk memprediksi sifat mekanika dari kayu untuk penggunaan praktis. Dari hasil analisis yang dilakukan, didapatkan persamaan pendekatan untuk menghitung nilai $E_{0,05}$ yaitu sebesar $0,754 E_{0,mean}$. Selanjutnya, nilai kuat lentur (MoR) dapat didekati dengan persamaan $MoR = -1,359 + 0,0061 MoE_s$. Apabila membandingkan nilai MoR dari persamaan ini dan nilai desain acuan yang ada pada tabel 4.2.1 SNI 7973:2013, maka SNI 7973:2013 cenderung memberikan faktor keamanan yang cukup. Dari hasil analisis regresi, hubungan antara modulus elastisitas dinamik (MoE_d) dan MoE_s dapat didekati melalui persamaan $MoE_d = -1330,1 + 1,254 MoE_s$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,69. Beberapa faktor yang mempengaruhi konsistensi nilai MoE_d terhadap nilai MoE_s antara lain sensitifitas alat ukur, kondisi ruang pengujian, dan dimensi benda uji. Pengujian lentur statik yang dilakukan dengan berbagai standaryang berbeda juga dapat menghasilkan nilai MoE_s dan MoR yang berbeda, karena ukuran benda uji, adanya cacat kayu, besarnya kadar air, serta metode uji (uji lentur 3 titik atau 4 titik) juga mempengaruhi hasil yang didapatkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang mendukung penelitian ini melalui program Integrated Water Resources Management (IWRM).

Daftar Pustaka

- Baar J, Tippner J, Rademacher P. 2015. Prediction of mechanical properties - modulus of rupture and modulus of elasticity - of five tropical species by nondestructive methods. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* .17(2): 239–52.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1995. *SNI 03-3539-1995 Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu Di Laboratorium*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bailleres, H, Hopewell G, Boughton G. 2009. *MOE and MOR Assessment Technologies for Improving Graded Recovery of Exotic Pines in Australia*. Victoria: Forest & Wood Products Australia.
- Baillères H, Hopewell G, Boughton G, Brancheriau L. 2012. Strength and stiffness assessment technologies for improving grading effectiveness of radiata pine wood. *BioResources* 7(1): 1264–82.
- Blass, Hans J. 2010. “Facts You Should Know About.” In *World Conference on Timber Engineering*, Trentino, Italy.
- Bond B. 2002. *Wood Identification for Hardwood and Softwood Species Native to Tennessee*. Knoxville: University of Tennessee.
- Cahyono T D, Ohorella S, Febrianto F. 2012. Sifat fisis dan mekanis kayu

- samama (*Antocephalus macrophylus* Roxb.) dari Kepulauan Maluku. *JITKT*. 10(1): 28–39.
- Divós F, Tanaka T. 2005. Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood. *Acta Silv. Lign. Hung.* Vol 1(2005): 105–10.
- Firmanti A, Bachtiar E T, Surjokusumo S, Komatsu K, Kawai S. 2005. Mechanical stress grading of tropical timbers without regard to species. *J. Wood. Sci.* 51(4): 339–47.
- Hadjib N, Hadi Y S, Setyaningsih S. 2007. Sifat fisis dan mekanis sepuluh provenans kayu mangium (*Acacia mangium Willd*) dari Parung Panjang, Jawa Barat. *JITKT*. 5(1): 7–11.
- Jamil A W M, Zamin J M, Omar M K M. 2013. Relationship between mechanical properties of structural size and small clear specimens of timber. *JITKT*. 25(1): 12–21.
- Pranata Y A, Palapessy J G. 2014. Kekuatan lentur, MOE, dan MOR kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *Jurnal Teknik Sipil*. 13(1): 25–31.
- Karlinasari L, Iksan M F, Hermawan D, Maddu A, Firmanti A. 2017. Nondestructive bending strength testing of wood wool cement board from some fast growing species using stress wave velocity method. *JITKT*. 9(2): 172–81.
- Karlinasari L, Baihaqi H, Akhiruddin M, Mardikanto T R. 2012. The acoustical properties of Indonesian hardwood species. *Makara J. Sci.* 16(2): 110–14.
- Karlinasari L, Surjokusumo S, Hadi S H, and Nugroho N. 2005. Non-destructive testing on six tropical woods using ultrasonic method. *Proceeding of the 6th International Wood Science Symposium*; 2005 August 29-31; Bali, Indonesia. Jakarta: JSPS-LIPI Core University Program. hlm 109- 116.
- Lempang M. 2014. Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu jabon merah. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 3(2): 163–76.
- Oka, GM. 2009. Analisis rasio antara lebar dan tinggi balok terhadap perilaku lentur kayu kamper. *Smartek*. 7(1): 24–31.
- Piao C, Shupe T F, Hse C Y, Tang R C. 2004. Nondestructive evaluation of Young's moduli of full-size wood laminated composite poles. *Proceeding of 7th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*, 2004 October 31 - November 2; Nanjing, China. hlm 291–298.
- Hein P R G. 2018. Comparison between three-point and four-point flexural tests to determine wood strength of eucalyptus specimens. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(3):333-342.
- Simic K, Gendvilas V, O'Reilly C, Harte A M. 2019. Predicting structural timber grade-determining properties using acoustic and density measurements on young sitka spruce trees and logs. *Holzforschung*. 73(2): 139–49.
- Steiger R, Arnold M, Jockwer R. 2010. Property relationships used in en 338 strength grades of norway spruce structural timber. *Proceeding of 11th World Conference on Timber Engineering*, 2010 June 20-24, Trento, Italy. hlm 1589–1594.
- Syamani F A, Fatriasari W, Budiman I, Hadi Y S. 2012. Sifat fisis-mekanis dan elektrik dari kayu durian (*Durio zibethinus Murr.*) dan kayu kecap (*Sandoricum koetjape Merr.*) terimpregnasi polistirena. *Proceeding of Masyarakat Peneliti Kayu*

- Indonesia (MAPEKI) XIV*, 2012 November 2; Yogyakarta, Indonesia. hlm 38–45.
- [TC 124] Technical Committee CEN/TC 124. 2003. *EN 338 Structural Timber - Strength Classes*. Brussels: Comit  Europeen de Normalisation.
- [TC 124] Technical Committee CEN/TC 124. 2004. *EN 408 Timber Structures: Structural Timber and Glued Laminated Timber - Determination of Some Physical and Mechanical Properties*. Brussels: Comit  Europeen de Normalisation.
- Sentagi S U, Mappuji A, Achmad B, Awaludin A, Ayutyastuti, Luckyarno Y F, Yanti R J. 2020. Design of an acoustic-based nondestructive test (NDT) instrument to predict the modulus of elasticity of wood. *Engineering Journal*. 24(6): 109–16.
- Wahyudi, Wospakrik F A, Rettob B B. 2017. Pengujian sifat mekanis kayu lulu (*Celtis latifolia Planc*) pada dua kondisi kadar air asal Manokwari Papua Barat. *JITKT*. 15(1): 68–74.

Sifat-Sifat Arang Aktif Kulit Batang Sagu Hasil Karbonisasi Hidrotermal

(The Properties of Hydrothermal Sago Bark Activated Charcoal)

Herman Siruru^{1*}, Wasrin Syafii², Nyoman J Wistara², Gustan Pari³

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, UNPATTI, Ambon

²Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan,
Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Badan Litbang Kehutanan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Jl. Gunung Batu No.5 Bogor 16610

*Penulis korespondensi: sirherman78@gmail.com

Abstract

Sago bark is one of the solid wastes from the processing of sago flour (*Metroxylon sp*), which can be used as raw material for activated charcoal. This study aimed to determine the properties of activated charcoal from sago bark made by hydrothermal carbonization and steam activation methods. Precursors preparation preceded activated charcoal carbonization. Precursors were prepared by hydrothermal method at 250 °C and continued with activation at 800 °C. Proximate analysis was based on the SNI standard, and the active charcoal structure was observed by X-ray diffraction (XRD). The results showed that the yield, moisture content, volatile, ash content, fixed carbon, iodine absorption, the degree of crystalline of activated charcoal of sago bark were, respectively, 45.90-55.70%, 5.82-7.06%, 5.66-9.40%, 12.24-14.54%, 78.36-79.80%, 455.59-759.86 mg.g⁻¹, 31.66-38.81%. The best-activated charcoal was procured from sago bark with 80 minutes of steaming. The iodine number of the resulting activated charcoal fulfilled the SNI 06-3730-1995 standard, which is ≥ 750 mg.g⁻¹.

Keyword: activation, hydrothermal, Maluku, Papua, steam

Abstrak

Kulit batang sagu merupakan salah satu limbah padat pengolahan tepung sagu (*Metroxylon sp*) yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku arang aktif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat arang aktif kulit batang sagu yang dibuat melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi *steam*. Pembuatan arang aktif didahului dengan pembuatan prekursor (bahan awal pembuatan arang aktif) melalui metode hidrotermal pada suhu 250 °C dan dilanjutkan dengan aktivasi pada suhu 800 °C selama 0, 60, 80, dan 100 menit. Pengujian proximat dan daya jerap iodin menggunakan standar SNI dan pengamatan struktur arang aktif menggunakan *X-ray diffraction* (XRD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen 45,90-55,70%, kadar air 5,82-7,06%, zat terbang 5,66-9,40%, kadar abu 12,24-14,54%, karbon terikat 78,36-79,80%, daya jerap iodin 455,59-759,86 mg.g⁻¹, dan derajat kristalinitas 31,66-38,81%. Arang aktif terbaik adalah arang aktif kulit sagu perlakuan *steaming* 80 menit yang memiliki daya jerap iodin sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu ≥ 750 mg.g⁻¹.

Kata kunci: aktivasi, hidrotermal, Maluku, Papua, *steam*

Pendahuluan

Pohon sagu (*Metroxylon spp*) merupakan salah satu tanaman asli Indonesia yang penyebarannya tidak merata. Beberapa daerah yang memiliki penyebaran tinggi berturut-turut adalah Papua, Papua Barat, Maluku, Kalimantan, Sulawesi, Sumatera, Jawa, dan Kepulauan Mentawai (Ehara *et al.* 2018). Daerah-daerah ini menggunakan pohon sagu sebagai sumber pangan yaitu tepung sagu terutama di daerah Papua, Maluku, dan kepulauan Mentawai. Salah satu limbah hasil pengolahan tepung sagu adalah kulit batang sagu. Kulit batang sagu umumnya digunakan sebagai bahan bangunan untuk lantai, dinding, pagar, dan bahan bakar (Flach 1997) sedangkan pemanfaatan lain seperti sebagai bahan baku arang aktif masih sebatas penelitian.

Kulit batang sagu merupakan bahan berlignoselulosa dengan kandungan selulosa sebanyak 44,0%, hemiselulosa 22,8%, dan lignin 29,4% (Siruru *et al.* 2019). Komposisi kimia kulit batang sagu menyerupai komposisi kimia kayu yaitu selulosa 40-44%, hemiselulosa 15-35%, dan lignin 18-35% (Shmulsky dan Jones 2011). Hal ini menyebabkan kulit batang sagu berpotensi sebagai bahan baku arang aktif. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Erabee *et al.* (2017) menghasilkan arang aktif kulit batang sagu yang memiliki luas permukaan $1634 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Penelitian ini menggunakan metode aktivasi kimia dengan ZnCl_2 . Penggunaan aktivator kimia memungkinkan adanya residu aktivator dalam arang aktif dan dapat berdampak buruk, terutama penggunaan arang aktif untuk pemurnian air minum. Penelitian lainnya yang dilakukan Siruru *et al.* (2018) menggunakan aktivasi fisika menghasilkan arang aktif kulit batang sagu dengan daya jerap iodin sebesar

$972,60 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Dalam penelitian ini pembuatan prekursor dilakukan melalui karbonisasi pirolisis dengan suhu yang lebih tinggi dari suhu karbonisasi hidrotermal. Karbonisasi suhu tinggi menyebabkan adanya peningkatan energi yang dapat berdampak pada biaya produksi arang aktif menjadi tinggi.

Karakteristik fisikokimia prekursor arang tergantung pada sifat-sifat bahan baku dan kondisi operasi seperti ukuran partikel, suhu, dan laju pemanasan (Cantrell *et al.* 2012). Sifat prekursor arang yang baik untuk arang aktif adalah memiliki daya serap tinggi dan mudah dimodifikasi. Hal ini dicirikan dengan ratio O/C dan H/C yang tinggi. Menurut Bagreev *et al.* (2001) mikroporositas dikembangkan seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi namun menurut Al-Wabel *et al.* (2013) semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin rendah ratio O/C dan H/C. Ratio O/C dan H/C yang rendah mencirikan peningkatan aromatik (Novak *et al.* 2013) yang menyebabkan arang semakin stabil dan sulit untuk dimodifikasi. Arang limbah sawit yang dibuat melalui metode hidrotermal pada suhu 250°C memiliki sifat daya jerap iodin sebesar $378,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, luas permukaan $61,5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, dan kandungan karbon 67% (Budiman *et al.* 2019). Di sisi lain, hasil penelitian Darmawan (2014) menunjukkan bahwa arang yang dihasilkan melalui proses hidrotermal memiliki indeks kematangan karbon 0,20-0,33% dan aromatisasi 0,16-0,26%.

Penggunaan metoda hidrotermal untuk menghasilkan prekursor arang memiliki banyak keuntungan diantaranya adalah suhu karbonisasi hidrotermal lebih rendah dari suhu pirolisis (Kang *et al.* 2012). Menurut Mumme *et al.* (2011) hidrotermal adalah karbonisasi dalam media air pada suhu $180\text{--}250^\circ\text{C}$ dan

tekanan antara 2 dan 10 MPa. Sedangkan menurut Titirici *et al.* (2007) semakin tinggi suhu hidrotermal semakin banyak struktur mikropori arang hidrotermal. Selain itu proses karbonisasi hidrotermal dapat meminimalkan produksi gas rumah kaca, ramah lingkungan, tidak berbahaya untuk kesehatan, dan berbiaya rendah (Hu *et al.* 2010, Xiao *et al.* 2012). Hal ini menjadikan arang hidrotermal sebagai bahan awal (prekursor) yang sangat baik untuk pembuatan arang aktif (Jain *et al.* 2016). Dengan demikian dalam penelitian ini digunakan kulit batang sagu sebagai bahan baku arang aktif dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat arang aktifnya melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi *steaming*.

Bahan dan Metode

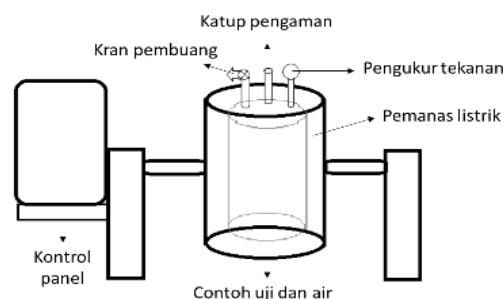
Persiapan bahan baku

Kulit batang sagu yang diperoleh dari Desa Amahai, Kabupaten Maluku Tengah Propinsi Maluku, dikering udarakan terlebih dahulu sebelum dibuat menjadi partikel menggunakan *ring flaker* dan dihaluskan menggunakan *diskmill*. Serbuk kulit batang sagu kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk ukuran 40-60 mesh.

Pembuatan arang hidrotermal

Serbuk kulit batang sagu dikarbonisasi menggunakan media air dalam tabung tertutup (Gambar 1) dengan perbandingan bahan dan air 1:5 (Darmawan 2014). Pemanasan dilakukan hingga suhu 250 °C (Parshetti *et al.* 2013) dengan laju pemanasan 1,2-1,4 °C per menit (waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 250 °C $\pm$ 3 jam) dan ditahan selama 5 jam pada suhu 250 °C. Selanjutnya arang hidrotermal dibiarkan dingin dalam tabung selama 24 jam, kemudian arang hidrotermal disaring dan

dibilas dengan aquades hingga pH air bilasan mendekati pH 7 dan dikering udarakan.

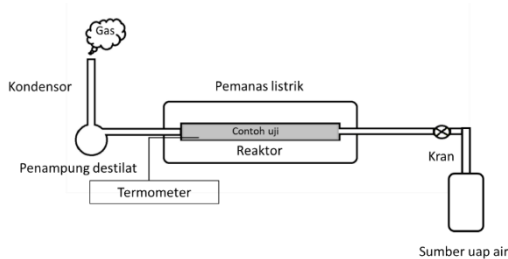


Sumber: Budiman 2019

Gambar 1 Perangkat karbonisasi hidrotermal.

Aktivasi arang kulit batang sagu

Arang hidrotermal diaktivasi dengan metode fisika menggunakan suhu 800 °C dan *steaming* dengan tekanan 100 milibar (Gambar 2). Arang hidrotermal dimasukkan dalam reaktor dan suhu reaktor di-setting pada suhu 800 °C. Ketika suhu reaktor telah mencapai suhu 700 °C, tangki air yang terletak disamping reaktor dipanaskan. Pemanasan air dilakukan sekitar 1 jam untuk menghasilkan *steam* dengan tekanan 100 milibar. Setelah suhu reaktor 800 °C, *steam* dialirkan ke dalam reaktor dengan variasi *steaming* 60, 80, dan 100 menit. Perlakuan 0 menit adalah perlakuan tanpa *steaming*, yaitu ketika suhu reaktor mencapai 800 °C, pemanasan dihentikan. Setelah proses aktivasi selesai arang aktif dibiarkan dalam reaktor selama $\pm$ 20 jam. Arang aktif yang dihasilkan dihitung rendemennya dan dianalisis sifat-sifatnya meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, kadar karbon terikat dan daya jerap terhadap iodin berdasarkan SNI: 06-3730-1995.



Sumber: Budiman 2019

Gambar 2 Perangkat aktivitas dengan *steaming*.

Penetapan rendemen dan analisis sifat proksimat arang aktif kulit sagu

Penetapan rendemen.

Rendemen ditetapkan dengan membandingkan berat arang aktif yang diperoleh dengan berat prekursor arang sebelum aktivasi.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat prekursor arang}} \times 100 \%$$

Penetapan kadar air.

Contoh arang aktif sebanyak 1 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(\text{Berat awal}-\text{Berat akhir})}{\text{Berat awal}} \times 100 \%$$

Penetapan zat terbang.

Contoh arang aktif kering oven sebanyak 2 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya lalu dipanaskan dalam tanur pada suhu 950 °C selama 10 menit, kemudian didinginkan dalam desikator dan selanjutnya ditimbang.

$$\text{Zat terbang (\%)} = \frac{\text{Berat awal}-\text{berat setelah pemanasan dalam tanur}}{\text{Berat awal}} \times 100 \%$$

Penetapan kadar abu.

Contoh arang aktif kering oven sebanyak 2 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya

dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 700 °C selama 6 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan selanjutnya ditimbang.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{Berat sisa contoh}}{\text{Berat awal}} \times 100\%$$

Penetapan karbon terikat.

Karbon terikat dihitung dari pengurangan seluruh berat contoh uji (100%) dengan zat mudah menguap dan kadar abu.

$$\text{Karbon terikat (\%)} = 100\% - (\text{Kadar abu} + \text{Zat terbang})$$

Pengukuran daya jerap iodin

Daya jerap iodin menunjukkan jumlah iodin yang dapat dijerap oleh 1 g arang aktif (mg iodin per g arang aktif). Sebanyak 0,2 g arang aktif dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL tertutup, kemudian ditambahkan 25 mL larutan iodin 0,1 N dan dikocok selama 15 menit dalam suhu kamar, selanjutnya larutan langsung disaring. Larutan hasil saringan tersebut dipipet 10 mL dan dititer dengan larutan natrium tio-sulfat 0,104 N sampai didapatkan larutan berwarna kuning, kemudian ditambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator. Larutan dititer kembali sampai warna biru dari larutan hilang. Daya jerap iodin dihitung berdasarkan rumus berikut (SNI 1995):

$$\text{Daya jerap arang terhadap iod} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{\left(10 - \frac{V \times N}{0,1} \right)}{D} \times 12,69 \times \text{fp}$$

Dengan:

V : larutan natrium tio-sulfat yg diperlukan (mL)

N : normalitas larutan tio-sulfat (0,104)

12,69 : jumlah iod sesuai dgn 1 mL larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

D : berat contoh uji (g)

10 : volume larutan iodin yang telah dikocok dengan arang dan telah disaring

fp : faktor pengenceran

Pengujian struktur kristal

Struktur kristal arang aktif dianalisis menggunakan perangkat *X-Ray Diffractometer* (XRD) Shimadzu 7000 dengan sumber radiasi tembaga (Cu) menggunakan contoh uji berupa serbuk lolos saringan 100 mesh. Analisis dilakukan pada energi 40 kV, arus 30 mA, kecepatan pindai 2 ° per menit, pencatatan data setiap 0,02 ° per detik dan sudut pindai antara 10-80°. Parameter yang ditentukan adalah jarak antar lapisan aromatik karbon (d_{002}), tinggi lapisan aromatik (Lc), lebar lapisan aromatik (La), dan jumlah lapisan grafena (N). Derajat kristalinitas (X) dihitung menggunakan persamaan (Iguchi 1997, Kercher & Nagle 2003):

$$\text{Derajat kristalinitas (X\%)} = \frac{\text{bagian kristal}}{\text{bagian kristal} + \text{bagian amorf}} \times 100$$

$$\text{Jarak antar lapisan aromatik (d)} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

Tinggi lapisan aromatik (Lc):

$$Lc_{(002)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Lebar lapisan aromatik (La) :

$$La_{(100)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Jumlah lapisan aromatik (N):

$$N = Lc / d$$

dengan:

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm (panjang gelombang radiasi sinar Cu)}$$

θ = Sudut difraksi

β = Intensitas ½ tinggi dan lebar (radian θ)

K= Tetapan untuk Lc (0,89) dan La (1.9)

Pengamatan permukaan arang aktif dengan SEM

Visualisasi morfologi permukaan arang aktif dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). dengan perbesaran gambar 2000x. Contoh uji kering oven dilekatkan dengan karbon tip pada tempat sampel. Selanjutnya contoh uji dilapisi dengan logam Au dan dianalisis menggunakan peralatan *Scanning Electron Microscopy* JSM-6510LA dalam kondisi vakum dan diberi nitrogen cair untuk mencegah terjadinya peningkatan suhu contoh uji.

Hasil dan Pembahasan

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa *steaming* berpengaruh signifikan terhadap rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat dan daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu. Hasil uji BNT rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat dan Dj. Iodin disajikan pada Tabel 1 sedangkan korelasi antar peubah pengamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, dan Dj. Iodin arang aktif kulit batang sagu

Waktu aktivasi	Peubah pengamatan					
	Rendemen, %	Kadar air, %	Zat terbang, %	Kadar abu, %	Karbon terikat, %	Dj. Iodin, mg.g ⁻¹
KS0	55,70 ± 1,95a	5,82 ± 0,04d	5,66 ± 0,12c	14,54 ± 0,22a	79,80 ± 0,12a	455,59 ± 2,56d
KS60	50,83 ± 1,00b	7,06 ± 0,15a	8,68 ± 0,15b	12,42 ± 0,45b	78,89 ± 0,58b	691,19 ± 4,29c
KS80	47,80 ± 0,53c	6,78 ± 0,11b	9,40 ± 0,30a	12,24 ± 0,37b	78,36 ± 0,52b	759,86 ± 8,49a
KS100	45,90 ± 0,26c	6,21 ± 0,08c	8,66 ± 0,51b	12,80 ± 0,23b	78,54 ± 0,47b	746,71 ± 0,94b
Uji F	**	**	**	**	*	**
Pola respon	L**	Q**	Q**	L**	L**	Q**

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada BNT α 5%. *: berbeda nyata pada α sebesar 5%, **: berbeda nyata pada α sebesar 1%.

L = linier; Q = kuadratik

0, 60, 80, 100 = Steaming (menit)

Tabel 2 Korelasi antar peubah pengamatan (rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, Dj. Iodin)

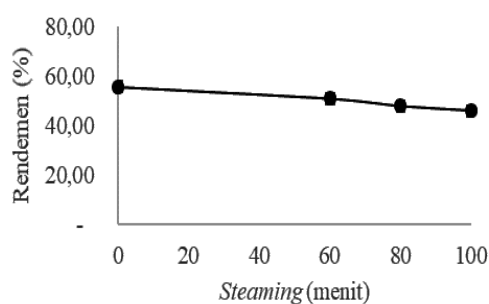
	Rendemen, %	Kadar air, %	Zat Terbang, %	Kadar Abu, %	Karbon Terikat, %	Dj Iodin, mg.g ⁻¹
Rendemen, %	1,0000					
Kadar air, %	-0,3898	1,0000				
Zat Terbang, %	-0,8283**	0,7488**	1,0000			
Kadar Abu, %	0,7606**	-0,8101**	-0,9330**	1,0000		
Karbon Terikat, %	0,7287**	-0,4843**	-0,8588**	0,6169*	1,0000	
Dj. Iodin, mg.g ⁻¹	-0,9162**	0,6627**	0,9691**	-0,9173**	-0,8136**	1,0000

Keterangan: ** = berkorelasi signifikan

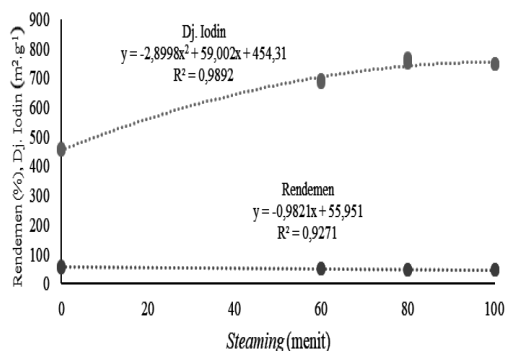
Rendemen

Hasil perhitungan rendemen arang aktif kulit batang sagu menunjukkan bahwa rendemen menurun seiring dengan kenaikan waktu/lama *steaming* (Gambar 3). Pengamatan pengaruh *steaming* terhadap rendemen berbentuk linier dan signifikan. Pola respon rendemen arang aktif terhadap *steaming* mengikuti persamaan regresi $y = -0,9821x + 55,951$ dengan nilai $R^2=0,92$ (Gambar 4). Model ini mampu menjelaskan bahwa rendemen dipengaruhi *steaming* sebesar 92% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Kenaikan *steaming* menyebabkan semakin banyak oksigen (berasal dari uap) yang bereaksi karbon arang aktif menghasilkan gas CO dan CO₂. Semakin banyak gas CO dan CO₂ yang dihasilkan maka akan terjadi penurunan rendemen arang aktif. Menurut Manocha *et al.* (2010) jumlah uap yang diberikan selama aktivasi dapat mempengaruhi jumlah karbon arang aktif yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil uji korelasi yang menunjukkan bahwa rendemen dan karbon terikat berkorelasi positif (Tabel 2).

Bila dibandingkan dengan arang aktif kulit batang sagu pirolisis (Siruru *et al.* 2018) rendemen arang aktif kulit batang sagu hidrotermal lebih rendah. Rendahnya rendemen arang aktif kulit batang sagu prekursor arang hidrotermal disebabkan karena arang hidrotermal memiliki kandungan oksigen dan zat terbang yang tinggi sedangkan kandungan karbonnya rendah (Siruru *et al.* 2020). Menurut Novak *et al.* (2013) kandungan karbon yang tinggi dan oksigen yang rendah mengindikasikan bahwa arang pirolisis lebih aromatik dan stabil terhadap perlakuan panas dibandingkan dengan arang hidrotermal.



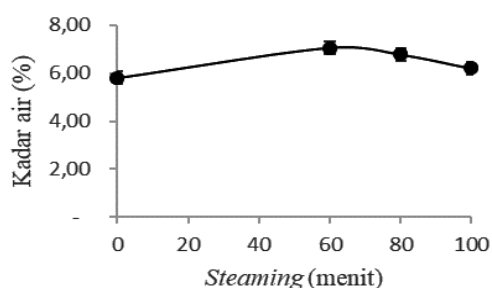
Gambar 3 Rendemen arang aktif kulit batang sagu.



Gambar 4 Pola respon Dj. Iodin dan rendemen terhadap steaming arang aktif kulit batang sagu.

Kadar air

Kadar air arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 15\%$. Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar air arang aktif meningkat pada perlakuan *steaming* 60 menit dan kemudian menurun seiring peningkatan *steaming*. Hal ini sesuai dengan pola respon yang menunjukkan bahwa pengaruh *steaming* terhadap kadar air arang aktif kulit sagu berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1). Artinya pada *steaming* tertentu terdapat titik maksimum kadar air arang aktif.

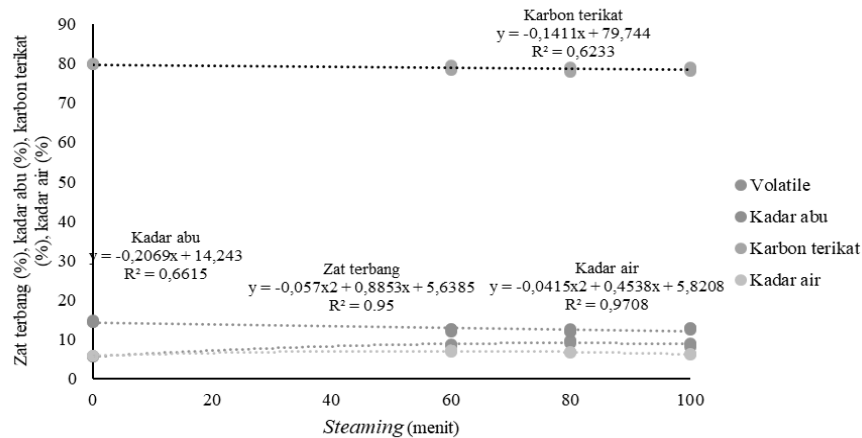


Gambar 5 Kadar air arang aktif kulit batang sagu.

Pola respon kadar air arang aktif kulit sagu mengikuti persamaan regresi $y = -0,0415x^2 + 0,4538x + 5,8208$, dengan

nilai $R^2=0,97$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa kadar air dipengaruhi *steaming* sebesar 97% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Pola kuadratik kadar air arang aktif didukung oleh hasil uji BNT menunjukkan bahwa kadar air perlakuan *steaming* 60 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ terhadap perlakuan lainnya.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air arang aktif. *Steaming* diduga dapat mempengaruhi jumlah gugus hidroksil. Gugus hidroksil terletak pada permukaan arang aktif (Jain *et al.* 2016) bersifat polar bertindak sebagai pusat adsorpsi air dan memfasilitasi pembentukan kelompok air pada permukaan arang aktif (Cybulak *et al.* 2016). Pada suhu 800 °C gugus hidroksil arang aktif mengalami degradasi sehingga arang aktif tanpa *steaming* memiliki kadar air yang rendah karena kemampuan higroskopis menurun. Berbeda dengan kadar air arang aktif yang diaktivasi dengan *steaming*. Kadar air arang aktif dengan aktivasi *steaming* lebih tinggi dari kadar air arang aktif tanpa *steaming*. Hal ini disebabkan karena kemampuan higroskopis arang aktif aktivasi *steaming* meningkat karena adanya pembentukan gugus hidroksil akibat *steaming*. *Steaming* diduga dapat membentuk gugus hidroksil, namun *steaming* lebih lama menyebabkan terjadinya degradasi gugus hidroksil sehingga kadar air arang aktif menurun seiring peningkatan waktu/lama *steaming*. Hal ini disebabkan karena unsur karbon arang aktif yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya gugus hidroksil mengalami penurunan karena unsur karbon tersebut bereaksi dengan uap air menghasilkan gas.



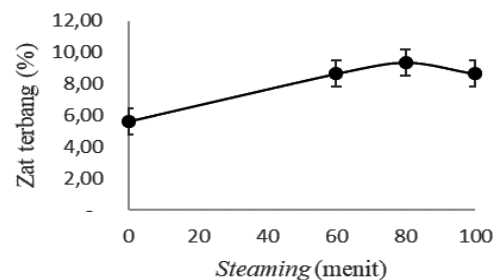
Gambar 6 Pola respon kadar abu, zat terbang, kadar abu dan karbon terikat terhadap *steaming* arang aktif kulit batang sagu.

Zat terbang

Zat terbang arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 25\%$. Gambar 7 menunjukkan bahwa zat terbang arang aktif meningkat seiring *steaming* hingga *steaming* 80 selanjutnya mengalami penurunan. Pengamatan pengaruh *steaming* terhadap zat terbang berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1). Artinya pada *steaming* tertentu terdapat titik maksimum zat terbang arang aktif. Pola respon zat terbang arang aktif terhadap *steaming* mengikuti persamaan regresi $y = -0,057x^2 + 0,8853x + 5,6385$, dengan nilai $R^2=0,95$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa zat terbang dipengaruhi *steaming* sebesar 95% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Pola kuadratik zat terbang arang aktif didukung oleh hasil uji BNT yang menunjukkan bahwa zat terbang perlakuan *steaming* 80 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ dengan perlakuan lainnya.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap zat terbang arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* dapat mempengaruhi terbentuknya karbon

tidak stabil, sehingga pada pengujian zat terbang karbon tersebut mengalami gasifikasi menjadi CH_4 , CO_2 , CO , dan H_2 . Gas-gas yang mengandung unsur karbon mempengaruhi jumlah karbon yang tetap berada dalam arang aktif. Hal ini sesuai dengan hasil korelasi antar peubah yang menunjukkan bahwa zat terbang arang aktif berkorelasi negatif dengan karbon terikat (Tabel 2). Karbon tidak stabil dapat dikaitkan dengan hasil XRD (Tabel 3) yang menunjukkan nilai derajat kristalinitas yang berbanding terbalik dengan zat terbang arang aktif. Menurut Burchell (1999) arang dengan kristalinitas tinggi lebih stabil terhadap perubahan suhu. Sehingga tingginya derajat kristalinitas arang aktif dapat menyebabkan zat terbang arang aktif lebih rendah.



Gambar 7 Zat terbang arang aktif kulit batang sagu.

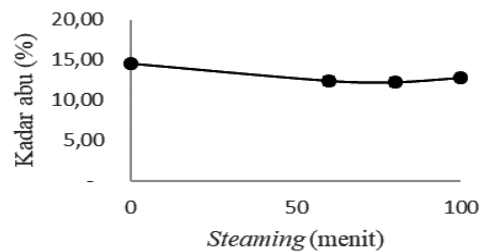
Kadar abu

Kadar abu arang aktif kulit batang sagu yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 10\%$ sehingga kadar abu tidak memenuhi standar penggunaan arang aktif sebagai adsorben, namun untuk penggunaan lain seperti pupuk, kadar abu arang aktif yang lebih besar justru lebih baik karena kandungan abu sebagian besar terdiri dari nutrisi untuk pertumbuhan tanaman.

Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar abu arang aktif kulit menurun seiring *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami peningkatan. Walaupun perlakuan *steaming* 80 menit merupakan kadar abu terendah namun perlakuan *steaming* 80 menit bukan merupakan titik minimal kadar abu. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil analisis pola respon yang menunjukkan bahwa pola respon kadar abu arang aktif terhadap *steaming* berbentuk linear mengikuti persamaan regresi $y = -0,2069x + 14,243$ dengan nilai $R^2=0,66$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa rendemen dipengaruhi *steaming* sebesar 66% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Bentuk linier kadar abu dikuatkan dengan hasil BNT yang menunjukkan bahwa kadar abu perlakuan *steaming* 80 menit, *steaming* 60 dan *steaming* 100 menit tidak berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* diduga mampu menghilangkan mineral prekursor arang, hal ini dapat dijelaskan dengan adanya korelasi positif antara kadar abu dengan rendemen dan karbon terikat. Selain itu, pola respon rendemen dan karbon terikat yang berbentuk linier

dengan tren menurun (Gambar 5 dan Gambar 6) juga dapat menguatkan dugaan ini.



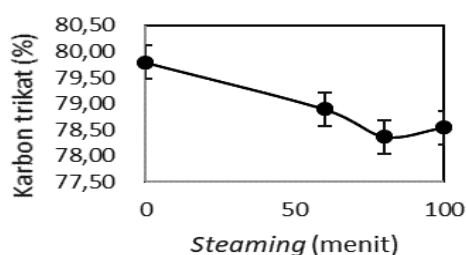
Gambar 8 Kadar abu arang aktif kulit batang sagu.

Karbon terikat

Karbon terikat arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\geq 65\%$. Gambar 9 menunjukkan bahwa karbon terikat arang aktif kulit sagu menurun seiring *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami peningkatan. Berdasarkan pola respon karbon terikat arang aktif terhadap *steaming* berbentuk linear mengikuti persamaan regresi $y = -0,1411x + 79,744$ dengan nilai $R^2=0,62$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa karbon terikat dipengaruhi *steaming* sebesar 62% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Sehingga secara statistik kadar karbon terikat arang aktif tidak memiliki titik minimal dengan perlakuan *steaming*. Kondisi ini juga didukung oleh hasil uji BNT menunjukkan bahwa karbon terikat perlakuan *steaming* 80 menit, *steaming* 60 menit dan *steaming* 100 menit tidak berbeda nyata pada $\alpha=5\%$ (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh nyata terhadap karbon terikat arang aktif kulit batang sagu. Hal ini disebabkan adanya reaksi antara karbon arang dengan uap air menghasilkan gas yang mengandung karbon. Menurut Román *et al.* (2008) reaksi gasifikasi karbon dan uap air

menghasilkan karbon monoksida melalui persamaan $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$. Selain itu, semakin lama *steaming* semakin banyak karbon pada permukaan arang bereaksi dengan oksigen (Vitidsant *et al.* 1999) sehingga semakin sedikit karbon terikat arang aktif. Berkurangnya karbon terikat akan berdampak pada penurunan rendemen, hal ini didukung oleh hasil analisis korelasi yang menyatakan bahwa kadar karbon terikat berkorelasi positif dengan rendemen (Tabel 2).



Gambar 9 Karbon terikat arang aktif kulit batang sagu.

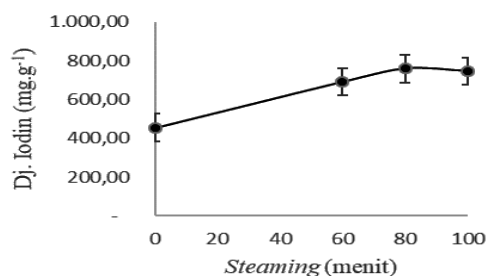
Daya jerap iodin arang aktif

Daya jerap arang aktif kulit batang sagu yang sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 hanya pada perlakuan *steaming* 80 menit yaitu $\geq 750 \text{ mg.g}^{-1}$. Gambar 10 menunjukkan bahwa daya jerap iodin arang aktif kulit sagu meningkat seiring dengan peningkatan *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan pola respon Dj. Iodin terhadap *steaming* yang berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1) mengikuti persamaan regresi $y = -2,8998x^2 + 59,002x + 454,31$ dengan nilai $R^2=0,98$ (Gambar 4). Model ini mampu menjelaskan bahwa daya jerap iodin dipengaruhi *steaming* sebesar 98% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Sehingga secara statistik perlakuan *steaming* tertentu terdapat titik maksimum Dj. Iodin arang aktif. Kondisi ini sejalan dengan hasil uji BNT

menunjukkan bahwa daya jerap iodin perlakuan *steaming* 80 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ dengan perlakuan lainnya (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* berperan untuk membersihkan pori-pori arang aktif dari deposit yang kaya unsur karbon (Vitidsant *et al.* 1999), sehingga daya jerap iodin arang meningkat. Terjadinya penurunan daya jerap iodin pada *steaming* 100 menit diduga karena terjadinya pengrusakan dinding pori akibat dari banyaknya uap air yang bereaksi dengan karbon yang membentuk dinding pori. Uap air dapat bereaksi dengan karbon arang aktif baik karbon dalam bentuk deposit maupun karbon pembentuk dinding pori. Karbon deposit lebih labil dibandingkan dengan karbon pembentuk dinding pori sehingga uap air akan bereaksi lebih dulu dengan karbon pembentuk deposit.

Daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu berkorelasi positif dengan kadar air dan zat terbang, dan berkorelasi negatif dengan rendemen, kadar abu dan karbon terikat. Peningkatan daya jerap iodin arang aktif berbanding terbalik dengan kadar karbon terikat. Hal ini mengindikasikan bahwa daya jerap iodin tidak bergantung pada jumlah karbon terikat arang aktif.



Gambar 10 Daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu.

Struktur kristalit arang aktif batang sagu

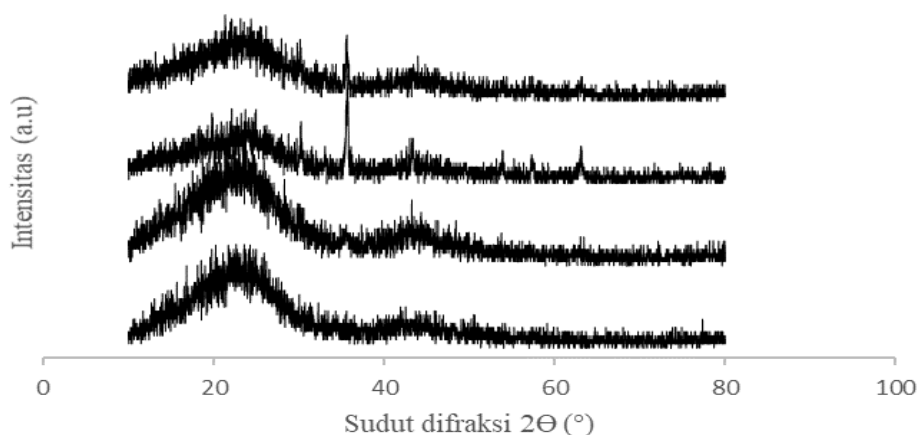
Hasil analisis struktur kristal (X-RD) arang aktif kulit batang sagu perlakuan *steaming* pada Gambar 18 menunjukkan bahwa semua arang aktif yang diperoleh memiliki pola struktur kristalit turbostatik yaitu dengan terbentuknya puncak pada sudut difraksi sekitar 21-24° (θ_{002}) dan puncak pada sudut difraksi sekitar 42-43° (θ_{100}). Kurva disudut 10-30° membentuk pola amorf, sementara itu puncak grafit pada sudut disekitar 43° (Darmawan 2014), selanjutnya menurut Sonibare *et al.* (2010) perpaduan dari kedua karakter ini mengindikasikan bahwa karbon aktif bersifat *turbostatik*.

Derajat kristalinitas terendah arang aktif kulit batang sagu pada *steaming* 80 menit dan derajat kristalinitas tertinggi pada *steaming* 100 menit. Struktur kristal arang aktif yang telah terbentuk dapat dirombak oleh *steam* sehingga terjadi penurunan derajat kristalinitas, namun pada *steaming* yang lebih lama *steam* berperan dalam pembentukan struktur kristal baru. *Steaming* juga mengakibatkan terjadinya penataan karbon pada bidang mendatar dan vertikal yang ditandai dengan terdapatnya nilai La dan nilai Lc yang berbeda pada setiap perlakuan *steaming*. Sementara itu nilai jumlah lapisan aromatik (N) tergantung dari besarnya nilai Lc dan nilai d.

Tabel 3 Analisis XRD arang aktif kulit batang sagu

Arang aktif	X, %	θ_{002} , °	d, nm	θ_{100} , °	d, nm	Lc, nm	N	La, nm
KS 0	36,50	21,92	0,41	42,13	0,21	1,57	4,31	3,88
KS 60	33,92	23,82	0,37	43,14	0,21	1,63	3,11	4,37
KS 80	31,66	24,15	0,37	43,32	0,21	1,61	10,29	4,36
KS 100	38,81	22,16	0,40	43,35	0,21	1,86	11,50	4,63

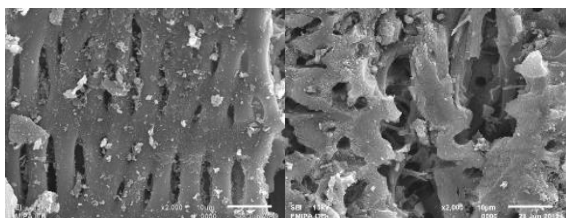
Catatan: KS= kulit batang sagu; 0, 60, 80, 100 = Steaming (menit)



Gambar 11 Difraktogram sinar-X arang aktif kulit batang sagu.

Morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu

Hasil analisis morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu (Gambar 11) menunjukkan bahwa morfologi permukaan arang aktif tanpa *steaming* dan *steaming* 80 menit berbeda. Permukaan arang aktif tanpa *steaming* memiliki permukaan dengan pori dengan bentuk dan ukuran yang hampir seragam. Pori arang aktif berbentuk memanjang dengan kedua ujung meruncing dan dinding pori yang tebal. Sedangkan permukaan arang aktif *steaming* 80 menit memiliki permukaan dengan pori dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa *steaming* dapat membantu pembentukan pori arang aktif. Menurut Molina-Sabio *et al.* (1996) aktivasi *steam* dapat mengembangkan mikropori menjadi mesopori dan makropori dengan penghilangan karbon pada pintu masuk mikropori.



(a) (b)

Gambar 12 Morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu tanpa *steam* (a) dan *steaming* 80 menit (b).

Kesimpulan

Arang aktif kulit batang sagu memiliki rendemen 45,90-55,70%, kadar air 5,82-7,06%, zat terbang 5,66-9,40%, kadar abu 12,24-14,54%, karbon terikat 78,36-79,80%, daya jerap iodin 455,59-759,86 mg.g⁻¹, dan derajat kristalinitas 31,66-38,81%. Arang aktif terbaik adalah arang aktif kulit sagu perlakuan *steaming* adalah perlakuan 80 menit, dengan rendemen 47,80%, kadar air 6,78%, zat

terbang 9,40%, kadar abu 12,24%, karbon terikat 78,38%, Dj. Iodin 759,86 mg.g⁻¹, derajat kristalinitas 31,66, dan memiliki struktur permukaan yang berpori dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi. Sifat proksimat, kadar air, dan Dj. Iodin sesuai dengan SNI 06-3730-1995 kecuali kadar abu.

Daftar Pustaka

- Al-Wabel MI, Al-Omran A, El-Naggar AH, Nadeem M, Usman ARA. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresour. Technol.* 13:374–379.
- Bagreev A, Bandosz TJ, Locke DC. 2001. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *Carbon* 39:1971–1979.
- Budiman I, Hermawan D, Febrianto F, Pari G, Subyakto. 2019. Char properties and pollutant adsorption capability of oil palm shell using hydrothermal process. *Biomass. Convers. Biorefin.* 9:681–688.
- Burchell TD. 1999. *Carbon Materials for Advanced Technologies*. First edition. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Biores Technol.* 107:419–428.
- Cybulak M, Sokołowska Z, Boguta P. 2016. Hygroscopic moisture content of podzolic soil with biochar. *Acta Agroph.* 23:533–543.
- Darmawan S. 2014. Karbon Nanoporous dari Biomassa Hutan melalui Proses Karbonisasi Bertingkat: Pirolisis,

- Hidrotermal dan Aktivasi. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ehara H, Toyoda Y, Johnson DV. 2018. *Sago Palm*. Multiple Contributions To Food Security and Sustainable Livelihoods. Singapore: Springer Nature.
- Erabee IK, Ahsan A, Daud NNN, Idrus S, Shams S, Din MFM, Rezanisa S. 2017. Manufacture of low-cost activated carbon using sago palm bark and date pits by physiochemical activation. *BioResources* 12:1916-1923.
- Flach M. 1997. *Sago Palm*. (*Metroxylon sagu* Rottb). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 13. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Hu B, Wang K, Wu LH, Yu SH, Antonietti M, Titirici MM. 2010. Engineering carbon materials from the hydrothermal carbonization process of biomass. *Adv. Mater.* 22:813–828.
- Iguchi M. 1997. Practice of Polymer X-ray Diffraction. Bandung, Bandung Institute Technology, Indonesia.
- Jain A, Balasubramanian R, Srinivasan MP. 2016. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: a review. *Chemical Engineering Journal* 283 (2016):789–805.
- Kang S, Li X, Fan J, Chang J. 2012. Characterization of hydrocar produced by hydrothermal carbonization of lignin, cellulose, d-xylose, and wood meal. *Industr Engineer Chem Res.* 51:9023-9031.
- Kercher AK, Nagle DC. 2003. Microstructural evolution during charcoal carbonization by X-ray diffraction analysis. *Carbon.* 41(1):15-27.
- Manocha S, Chavda AJ, Punvar PD, Patel K. 2010. Activated carbon from waste biomass of phyllisum husk: effect of steam activation on survice characteristics. *Journal of Pure and Applied Sciences.* 18:88-91.
- Molina-Sabio M, Gonzalez MT, F Rodriguez-Reinoso, Sepiilveda-Escribano A. 1996. Effect of steam and carbon dioxide activation in the micropore size distribution of activated carbon. *Carbon.* 34:505-509,
- Mumme J, Eckervogt L, Pielert J, Diakit  M, Rupp F, Kern J. 2011. Hydrothermal carbonization of anaerobically digested maize silage. *Biores Technol* 102:9255–9260.
- Novak JM, Cantrell KB, Watts DW. 2013. Compositional and thermal evaluation of lignocellulosic and poultry litter chars via high and low temperature pyrolysis: high and low temperature pyrolyzed biochars. *Bioenergy Res.* 6:114–130.
- Parshetti GK, Hoekman SK, Balasubramanian R. 2013. Chemical, structural and combustion characteristics of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of palm empty fruit bunches. *Biores Technol.* 135:683-689.
- Román S, González JF, González-García CM, Zamora F. 2008. Control of pore development during CO₂ and steaming activation of olive stones. *Fuel Process Technol.* 89:715–720.

- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G. 2018. Pengaruh durasi *steam* terhadap kualitas arang aktif limbah sagu. *JITKT*. 16:116-131
- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G. 2019. Characteristics of *Metroxylon rumphii* (pith and bark waste) from Seram Island, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas*. 20:3517-3526.
- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G, Budiman I. 2020. Properties of sago waste charcoal using hydrothermal and pyrolysis carbonization. *Biomass Conver. Biorefin.* 1-12. https://www.researchgate.net/publication/344264639_Properties_of_sago_waste_charcoal_using_hydrothermal_and_pyrolysis_carbonization
- Shmulsky R, Jones PD. 2011. *Forest Products and Wood Science*. An Introduction. Sixth Edition. New Jersey: a John Wiley & Sons, Inc.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. Arang Aktif Teknis. 06-3730-1995. Jakarta: *Badan standarisasi Indonesia*.
- Sonibare OO, Haeger T, Foley SF. 2010. Structural characterization of Nigerian coals by X-ray diffraction, Raman and FTIR spectroscopy. *Energy*. 35:5347-5353.
- Titirici MM, Thomas A, Yu SH, Müller JO, Antonietti M. 2007. A direct synthesis of mesoporous carbons with bicontinuous pore morphology from crude plant material by hydrothermal carbonization. *Chem Mater* 19:4205–4212.
- Vitidsant T, Suravattanasakul T, Damronglerd S. 1999. Production of activated carbon from palm-oil shell by pyrolysis and steaming activation in a fixed bed reactor. *Science Asia* 25 (1999): 211-222. <https://www.semanticscholar.org/paper/Production-of-Activated-Carbon-from-Palm-oil-Shell-Vitidsant-Damronglerd/4f377bed7b1fe1208feef a2472480c7a9ba825e0> [20 Juni 2020].
- Xiao LP, Shi Z-J, Xu F, Sun RC. 2012. Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. Short communication. *Biores Technol.* 118:619–623.

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].

