



PENINGKATAN KUALITAS FINISHING KAYU PINUS DAN SUNGKAI MENGUNAKAN TEKNIK YAKISUGI

Enhancing The Quality of Pine and Sungkai Wood Finishing Through Yakisugi Technique

**Fauzan Farussiam*¹⁾, Andi Tri Lestari¹⁾, Nurul Chaerani¹⁾, Dini Lestari, Febriana
Tri Wulandari, Rizki Adha Juniardi²⁾**

¹⁾ Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

²⁾ Woodlam Indonesia, Jakarta Timur, Indonesia

*e-mail: fauzan@unram.ac.id

Abstract

The improvement of wood finishing quality extends beyond the application of paint; it also encompasses techniques such as heat modification. One prominent method currently employed for enhancing wood finishing quality is the yakisugi or shou sugi ban technique. This technique has regained popularity due to its ability to produce unique surface patterns and enhance the dimensional stability of wood. However, this technique has not been widely applied to commercial wood types in Indonesia. Therefore, this research aims to evaluate the burning quality and dimensional stability of pine and sungkai wood after the burning process. The research results indicate that the surface characteristics of burned pine and sungkai wood yield distinct and unique patterns. Color change tests reveal no significant difference between pine and sungkai woods, both exhibiting a clove brown hue. Surface characteristics post-burning show a decrease in paint adhesion with the prolonged burning process, inversely proportional to the contact angle values produced. Dimensional stability is measured by percentage volume expansion and anti-swelling efficiency. The yakisugi technique demonstrates the capability to enhance the dimensional stability values of sungkai and pine woods by a notable margin of 30-50%. Subsequent research is crucial for observing the chemical changes occurring on the wood surface after burning.

Keywords: dimensional stability, pine wood, sungkai wood, wood finishing, yakisugi

Abstrak

Peningkatan kualitas finishing kayu tidak hanya dalam bentuk proses pemberian cat, tapi juga bisa dalam bentuk teknik modifikasi panas. Salah satu jenis modifikasi panas yang saat ini banyak dilakukan terutama dalam hal peningkatan kualitas finishing kayu adalah metode yakisugi atau shou sugi ban. Teknik ini kembali populer karena mampu menghasilkan corak permukaan kayu yang unik dan mampu meningkatkan nilai stabilitas dimensi kayu. Namun demikian, teknik ini masih belum banyak diaplikasikan untuk jenis-jenis kayu komersil Indonesia. Maka dari itu penelitian ini bermaksud mengevaluasi kualitas pembakaran dan nilai stabilitas dimensi setelah proses pembakaran pada kayu pinus dan sungkai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik permukaan kayu pinus dan sungkai setelah pembakaran menghasilkan corak yang berbeda dan unik. Uji perubahan warna menunjukkan hasil yang tidak berbeda antara jenis kayu pinus dan sungkai yaitu clove brown. Karakteristik permukaan kayu setelah pembakaran menunjukkan nilai daya lekat cat yang semakin rendah seiring bertambah lamanya proses pembakaran dan berbanding terbalik dengan nilai sudut kontak yang dihasilkan. Nilai stabilitas dimensi ditunjukkan dengan parameter persentase pengembangan volume dan anti swelling efficiency. Teknik yakisugi mampu meningkatkan nilai kestabilan dimensi kayu sungkai dan pinus sebesar 30-50%. Penelitian selanjutnya penting dilakukan pengamatan pada perubahan yang terjadi secara kimia pada permukaan kayu setelah pembakaran.

Kata kunci: finishing kayu, pinus, sungkai, stabilitas dimensi, yakisugi



PENDAHULUAN

Penggunaan kayu solid terus mengalami peningkatan sebagai bahan baku pembuatan berbagai produk baik untuk tujuan konstruksi maupun desain arsitektur. Sebagai produk biomaterial, kayu memiliki sifat higroskopis yang berkaitan dengan stabilitas dimensi. Maka dari itu, teknologi modifikasi kayu telah lama dikembangkan dalam rangka meningkatkan keawetan, sifat fisis-mekanis, dan fungsi estetik permukaan kayu (Sandberg *et al.* 2017). Teknologi modifikasi kayu terbagi menjadi beberapa kategori diantaranya: modifikasi kimia, modifikasi panas, electromagnetic, plasma dan perlakuan laser, perlakuan biologi, biometric dan mineralisasi, supercritic dan perlakuan larutan ionic, serta polimerisasi (Sandberg *et al.* 2013). Jenis-jenis metode tersebut mulai terseleksi berdasarkan efek yang dihasilkan terhadap lingkungan. Meningkatnya perhatian dunia terhadap lingkungan mengakibatkan teknik modifikasi yang berbasis kimia perlahan mulai dikurangi.

Teknologi modifikasi panas merupakan salah satu bentuk modifikasi kayu ramah lingkungan yang sudah lama dikembangkan. Perlakuan panas pada jenis kayu komersial Indonesia mampu meningkatkan stabilitas dimensi (Widyorini *et al.* 2014), dan pada jenis kayu subtropic mampu mencegah tumbuhnya jamur perusak berupa *brown* dan *white rot fungi* (Sivrikaya *et al.* 2015). Peningkatan stabilitas dimensi pada kayu setelah perlakuan panas disebabkan oleh terdegradasinya komponen kimia yang mengakibatkan

kayu bersifat hydrophobic (Gerardin *et al.* 2007). Namun demikian dalam penelitian Jirous-Rajkovic dan Miklecic (2021) menyimpulkan bahwa tidak terdapat perubahan yang nyata pada sifat pelapukan setelah proses modifikasi panas dan pengaplikasian finishing masih dibutuhkan untuk meningkatkan resistensi dan nilai estetik. Selain itu, modifikasi panas konvensional membutuhkan biaya yang lebih tinggi yang disebabkan oleh proses pemanasan mencapai 24 jam (Buksans *et al.* 2021).

Salah satu jenis modifikasi panas yang saat ini banyak dilakukan terutama dalam hal peningkatan kualitas finishing kayu adalah metode *yakisugi* atau *shousugi ban*. Teknik ini merupakan metode finishing tradisional yang banyak dilakukan oleh masyarakat Jepang. Selain sebagai teknik finishing, *yakisugi* merupakan salah satu teknik pengawetan kuno yang saat ini banyak diminati kembali terutama oleh bidang desain arsitektur dalam konstruksi fasad (Kerdiati *et al.* 2021). Berdasarkan teknis pengaplikasian, metode *yakisugi* lebih sederhana dan efisien dibandingkan modifikasi panas lainnya. Hal terpenting dalam metode ini adalah tidak adanya bahan kimia yang ditambahkan sehingga lebih ramah lingkungan. Selain itu, *yakisugi* mampu menghasilkan corak kayu yang natural dengan permukaan hasil pembakaran yang estetik. Metode ini menjadi teknik pengawetan karena mampu meningkatkan daya tahan terhadap serangan jamur dan rayap (Kymalainen *et al.* 2017, Ebner *et al.* 2021, Hasburgh *et al.* 2021, Wang *et al.* 2018,



Fahrussiam et al. 2023), dan juga pada struktur bangunan mampu meningkatkan daya tahan api. (Machova *et al.* 2021, Buskans *et al.* 2021).

Proses karbonisasi permukaan kayu selama pembakaran menghasilkan penurunan jumlah gugus hydroxyl (-OH), peningkatan kristalinitas selulosa dan ikatan silang lignin. Kondisi ini berkontribusi terhadap penurunan kadar keseimbangan kayu mencapai 20% (Cermak et al. 2019). Selain itu, hydrophobisitas juga disebabkan oleh terdegradasinya komponen reaktif berupa hemiselulosa dan daerah amorf selulosa (Kymäläinen et al. 2017). Namun demikian, retak yang dihasilkan pada permukaan arang selama pembakaran menjadikan permukaan kayu menjadi lebih forus dan tidak mencegah masuknya air ke dalam kayu (Kymäläinen et al 2018).

Meskipun laporan penelitian terkait peningkatan stabilitas dimensi dan nilai keawetan setelah proses pembakaran cukup banyak, namun penelitian terkait teknik yakisugi terhadap jenis-jenis kayu komersial Indonesia belum banyak dilakukan. Hasil pembakaran pada permukaan kayu sangat tergantung jenis kayu (Ritche et al. 2019), struktur anatomi serat kayu (Yang et al 2012) tingkat suhu dan lama proses pembakaran (Machova et al. 2021, Frangi dan Montana. 2019, Farussiam et al. 2023). Maka dari itu, dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap nilai stabilitas dimensi dan karakteristik permukaan kayu pinus dan sungkai setelah proses bakar. Kayu pinus dan sungkai merupakan jenis kayu yang

masih banyak digunakan di Indonesia sebagai material konstruksi maupun dekoratif. Kedua jenis kayu ini memiliki corak yang indah. Selain itu, kayu pinus dan sungkai mewakili jenis kayu daun jarum dan lebar yang memiliki struktur anatomi yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Bahan

Kayu pinus (*Pinus merkusii*) dan sungkai (*Peronema canescens*) diperoleh dari penjual kayu di daerah Tangerang Selatan dalam bentuk papan ukuran ukuran 10 cm x 1,8 cm x 180 cm (lebar x tebal x panjang). Sifat fisis kayu menunjukkan nilai kerapatan sebesar 0,36 g/cm³ dan 0.51 g/cm³ serta kadar air sebesar 10,3% dan 11,51%.

Metode

Teknik pembakaran yakisugi

Papan kayu pinus dan sungkai dipotong menjadi contoh uji berukuran 7 cm x 10 cm x 1,8 cm (lebar x panjang x tebal). Masing-masing sampel kemudian dilakukan penghalusan permukaan menggunakan amplas grit P400. Proses pembakaran permukaan kayu menggunakan torch gas butena ukuran kecil dengan tingkat tekanan rendah. Lama proses pembakaran menjadi tingkat perlakuan yaitu pada level 20 dan 30 detik per 70 cm² per luas permukaan bakar. Pembakaran permukaan kayu dilakukan secara manual sampai kondisi permukaan kayu menghitam merata sesuai parameter waktu yang digunakan (Gambar 1).

Pengukuran nilai stabilitas dimensi

Nilai stabilitas dimensi diukur berdasarkan parameter pengembangan volume dan nilai *anti swelling efficiency* (ASE). Contoh uji dipotong dengan ukuran 3 cm x 2 cm x 1,7 cm (panjang x lebar x tebal) masing-masing 5 buah,

ukuran sampel merupakan modifikasi dari metode yang dilakukan oleh Pratiwi et al. (2019). Nilai stabilitas dimensi dihitung berdasarkan persamaan 1 dan 2. Contoh uji dikeringkan pada suhu 103°C selama 24 jam.



Gambar 1. Pembakaran permukaan kayu sampai hitam merata (*Burning the surface of wood until uniformly black*)

Selanjutnya, contoh uji tersebut diukur dimensi panjang, lebar, dan tebalnya untuk menentukan volume kering tanurnya (V_0). Proses pembakaran contoh uji dilakukan sesuai parameter waktu bakar (20 dan 30 detik). Contoh uji yang sudah dibakar kemudian dilakukan perendaman selama 24 jam. Volume setelah perendaman dinyatakan dalam V_1 dan pengembangan volume dalam S_v (*yakisugi*), sereta S_m merupakan pengembangan volume kayu kontrol.

$$S_v = \frac{(V_1 - V_0)}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

$$ASE = \frac{(S_v - S_m)}{S_v} \times 100 \quad (2)$$

Karakteristik permukaan kayu setelah pembakaran

Pengujian perubahan warna

Pengujian perubahan warna menggunakan alat HanterLab A60-

1014-085. Pengujian dilakukan pada kayu sebelum dan sesudah pembakaran. Parameter L^* , a^* , dan b^* untuk setiap contoh uji diukur pada enam titik yang berdekatan pada permukaan kayu. Perubahan dalam parameter L^* , a^* , b^* , dan ΔE^* (perubahan warna) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Keterangan:

ΔE = Perubahan total warna

ΔL^* = Perbedaan kecerahan sampel sebelum atau setelah pembakaran

Δa^* = Perbedaan merah atau hijau sampel sebelum atau setelah pembakaran

Δb^* = Perbedaan kuning atau biru sampel sebelum atau setelah pembakaran

Pengukuran sudut kontak

Sudut kontak diukur menggunakan air sebagai pelarut dan mengacu pada metode *sessile drop* (Martha et al. 2021). Contoh uji kayu pinus dan sungkai berukuran 10 x 7 x 1.5 mm³ (P x L x T) ditetaskan larutan air pada permukaan kayu sebanyak 6 µl. Sudut kontak dari masing-masing kayu yang dilakukan pembakaran dan kontrol diukur dan direkam secara otomatis dengan interval pemotongan 3 detik selama 60 detik.

Pengujian daya lekat cat

Pengecatan pada permukaan contoh uji dilakukan secara manual menggunakan kuas. Cat yang digunakan merupakan tipe exterior ultran lasur

warna natural. Proses pengecatan dilakukan dua kali pengaplikasian dengan jeda waktu sekitar 8 jam. Pengujian daya lekat cat menggunakan metode *tape test*. Masing – masing permukaan contoh uji berukuran 10 x 7 x 1.5 yang sudah dilapisi bahan cat dibuat goresan berbentuk kotak persegi menggunakan cutter berukuran 2x2 ml sejumlah 100 kotak. *Tape* hitam kemudian ditempelkan pada permukaan goresan yang telah dibuat. Ujung tape kemudian ditarik secara cepat dengan sudut tarikan sekitar 45°. Penentuan daya lekat cat kemudian dikategorikan berdasarkan standar ASTM D 3359-02 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi daya lekat lapisan cat pada permukaan kayu berdasarkan ASTM D 3359-02 (2007) (*The classification of paint adhesion on wood surfaces was conducted based on ASTM D 3359-02 (2007)*)

Classification	% of Area Removed	Surface of Cross-cut Area From Which Flaking has Occured for 6 Parrallel Cuts & Adhesion range by %	Classification	% of Area Removed	Surface of Cross-cut Area From Which Flaking has Occured for 6 Parrallel Cuts & Adhesion range by %
5B	0% None		2B	15 - 35%	
4B	Less than 5%		1B	35 - 65%	
3B	5 - 15%		0B	Greater than 65%	

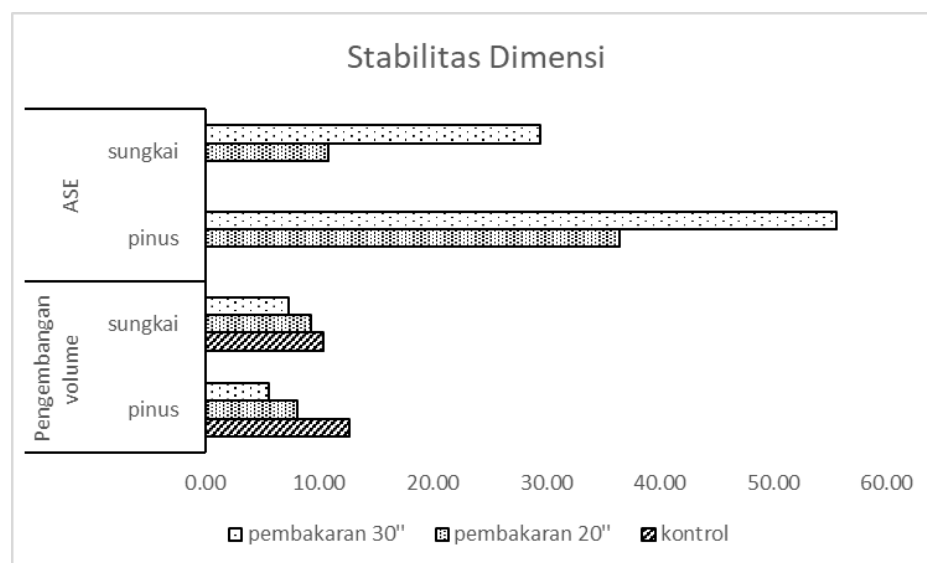
HASIL DAN PEMBAHASAN

Stabilitas Dimensi

Nilai stabilitas dimensi dalam penggunaan kayu sebagai biomaterial sangat penting diperhatikan. Hal ini berkaitan dengan karakteristik kayu yang bersifat higroskopis. Stabilitas dimensi dalam penelitian ini ditunjukkan dari nilai pengembangan volume dan nilai ASE. Nilai stabilitas dimensi kayu pinus dan sungkai setelah proses finishing yakisugi terlihat pada Gambar 2. Kayu pinus dan sungkai menunjukkan nilai stabilitas dimensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu tanpa pembakaran. Pengembangan volume menunjukkan nilai yang semakin rendah dengan meningkatnya lama pembakaran. Sementara itu, stabilitas dimensi semakin baik ditunjukkan dengan semakin tingginya nilai ASE. Nilai ASE yang tinggi menunjukkan berapa persen peningkatan stabilitas dimensi hasil

pembakaran dibandingkan kayu kontrol. Pada Gambar 2 disampaikan bahwa, kayu pinus dengan pembakaran 30 detik mampu menghasilkan stabilitas dimensi yang lebih baik sebesar 50% atau 1.5 kali lipat lebih baik dari kayu kontrol. Pada penelitian ini menunjukkan lama pembakaran 30 detik menghasilkan nilai stabilitas dimensi yang paling baik.

Cermak et al. (2019), melaporkan bahwa karbonisasi permukaan kayu selama proses pembakaran mampu menurunkan kadar keseimbangan kayu mencapai 20%. Hal ini disebabkan oleh penurunan jumlah gugus hydroxyl (-OH) yang mampu mengikat air (Esteves dan Pereira 2008). Selain itu, permukaan kayu yang menjadi hydrophobic juga disebabkan oleh terdegradasinya komponen reaktif berupa hemiselulosa dan daerah amorf selulosa peningkatan kristalinitas selulosa (Kymäläinen et al. 2017).



Gambar 2. Nilai stabilitas dimensi setelah proses pembakaran (*dimensional stability after burning process*)

Karakteristik permukaan kayu setelah pembakaran

Perubahan warna

Perubahan warna kayu menjadi coklat kehitaman merupakan ciri khas teknik finishing yakisugi. Warna hitam merupakan lapisan karbon yang terbentuk saat suhu pembakaran mulai sekitar 270°C kemudian permukaan akan semakin menghitam pada suhu di atas 400°C (Ebner *et al.* 2021). Zigon dan Pavlic (2023) melaporkan bahwa suhu pada saat proses pembakaran menggunakan torch mencapai 530-680°C. Kondisi inilah yang mengakibatkan kayu pinus dan sungkai mengalami proses pengurangan permukaan relative cepat. Perubahan warna yang terjadi selama proses

pembakaran kayu pinus dan sungkai terlihat pada Gambar 3.

Setelah proses pembakaran, corak atau tekstur permukaan kayu pinus dan sungkai terlihat berbeda (Gambar 3, Bag 2). Keunikan corak yang dihasilkan inilah yang menjadi nilai tambah dalam proses finishing menggunakan teknik yakisugi. Namun demikian, setelah proses pembakaran seperti pada Gambar 3 Bag 2, permukaan kayu masih meninggalkan noda hitam pada permukaan yang bersentuhan. Maka dari itu, beberapa penelitian menambahkan *linseed oil* atau *varnish* warna transparan untuk menghilangkan noda hitam ketika bersentuhan (Ibanez *et al.* 2023).



Gambar 3. Proses perubahan tekstur dan warna permukaan kayu sungkai (A) dan pinus (B), sebelum pembakaran (1), setelah pembakaran (2), dan setelah proses pembersihan sisa arang (3) (*The process of texture and color transformation on sungkai (A) and pine (B) wood surfaces, before burning (1), after burning (2), and following the residue charcoal cleaning process (3)*)

Perubahan warna yang dihasilkan setelah proses pembakaran terlihat pada Tabel 2. Kedua jenis kayu menunjukkan warna yang sama setelah proses pembakaran yaitu kategori *clove brown*. Hal ini menunjukkan bahwa, lama pembakaran yaitu 20 dan 30 detik tidak menghasilkan perbedaan perubahan warna pada pinus dan sungkai. Hal ini terlihat dari nilai Hue* yang tidak signifikan yaitu pada rentang nilai 53-57

Nilai daya lekat cat

Pengujian nilai daya lekat cat mengacu pada nilai klasifikasi pada Tabel 1. Semakin tinggi nilai klasifikasi menunjukkan nilai daya lekat cat

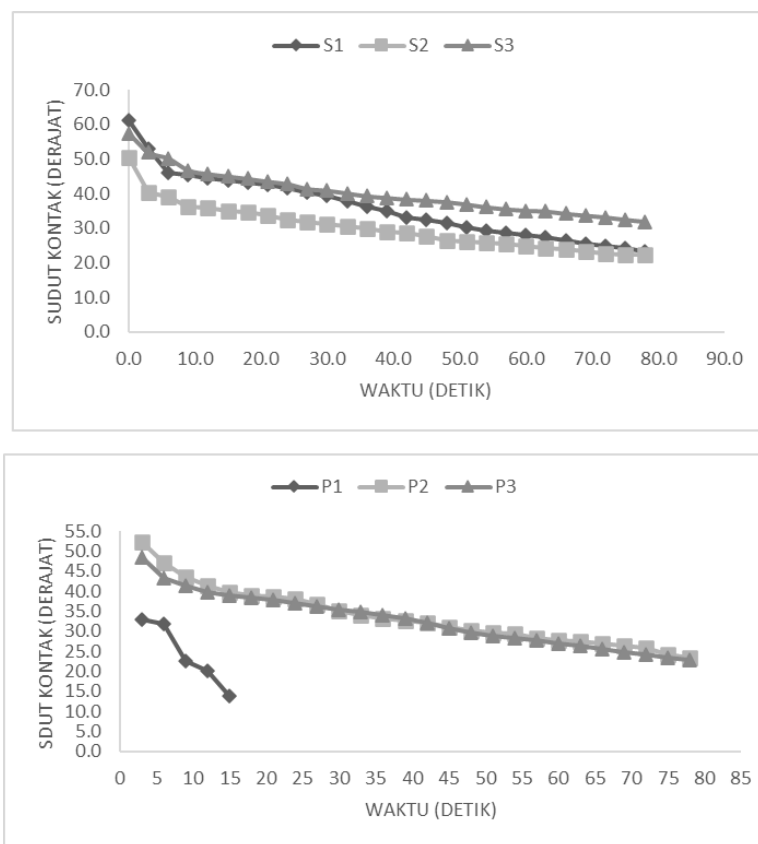
semakin baik. Nilai daya lekat kayu pinus dan sungkai sebelum proses pembakaran menunjukkan nilai yang sangat baik, mendekati 5B. Namun demikian setelah proses pembakaran nilai daya lekat mengalami penurunan cukup tinggi. Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin lama proses pembakaran maka daya lekat cat yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini diindikasikan oleh lemahnya ikatan yang terbentuk antara cat yang diaplikasikan dengan kondisi permukaan setelah pembakaran. Lapisan karbon yang dibentuk selama pembakaran akan menghalangi proses penetrasi bahan cat ke dalam substrat kayu.

Tabel 2. Perubahan warna setelah proses pembakaran
(Color alteration post-burning process)

Perlakuan	L	a	b	Hue*	Deskripsi warna CIEL *ab
Pinus tanpa pembakaran	77.49	5.08	22.36	77,2	
Pembakaran pinus 20"	26.61	4.46	7.05	57.67	
Pembakaran pinus 30"	25.96	4.24	6.52	56.96	
Sungkai tanpa pembakaran	66.94	5.14	21.21	76.38	
Pembakaran sungkai 20"	24.85	3.67	5.46	56.06	
Pembakaran sungkai 30"	23.20	2.87	3.84	53.08	

Tabel 3. Nilai daya lekat cat kayu pinus dan sungkai sebelum dan setelah proses pembakaran (*Adhesion strength values of pine and sungkai wood before and after the burning process*)

Jenis Kayu	Klasifikasi Daya Lekat Cat		
	Kontrol	Pembakaran 20 detik	Pembakaran 30 detik
Pinus	4.8B	3.2B	2.8B
Sungkai	4.6B	2.6B	1.6B



Gambar 4. Sudut kontak kayu sungkai (atas) dan pinus (bawah) sebelum dan sesudah pembakaran (*Contact angles of sungkai wood (top) and pine wood (bottom) before and after the burning process*)

Nilai sudut kontak

Nilai sudut kontak kesetimbangan merupakan salah satu faktor penting untuk menentukan nilai keterbasahan cairan atau bahan pelapis pada permukaan kayu. Sudut kontak yang

dihasilkan pada kayu pinus dan sungkai setelah proses pembakaran terlihat pada Gambar 4. Kayu tanpa pembakaran baik pinus maupun sungkai menunjukkan sudut kontak yang lebih rendah dibandingkan kayu setelah pembakaran.



Beberapa penelitian melaporkan bahwa hidrofobisitas permukaan kayu setelah perlakuan panas mengakibatkan sudut kontak mengalami peningkatan (Martha et al 2021, Pratiwi et al 2019). Sudut kontak yang semakin tinggi juga menunjukkan sifat permeabilitas yang semakin rendah (Darmawan et al 2018). Hal ini akan mengakibatkan penetrasi cairan ke dalam substratkayu semakin berkurang. Kondisi ini juga akan mempengaruhi proses pengecatan maupun perekatan.

KESIMPULAN

Pengaplikasian teknik finishing yakisugi pada kayu pinus dan sungkai menghasilkan corak permukaan bakar yang unik. Nilai stabilitas dimensi kayu hasil pembakaran menunjukkan peningkatan yang mencapai 30-50% lebih baik dibandingkan kayu tanpa pembakaran. Karakteristik permukaan setelah pembakaran menunjukkan bahwa lama pembakaran tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan warna pada kedua jenis kayu. Daya lekat cat pada permukaan kayu yang dibakar menunjukkan hasil yang berkorelasi negatif dengan lama pembakaran. Sudut kontak permukaan kayu yang dibakar, baik pada pinus maupun sungkai menunjukkan nilai yang cenderung lebih tinggi dibandingkan kayu kontrol. Perubahan karakteristik permukaan kayu setelah pembakaran sangat dipengaruhi oleh terdegradasinya komponen kimia yang reaktif saat terjaninya proses karbonisasi. Maka dari itu, penelitian selanjutnya penting untuk melihat perubahan kimia yang terjadi setelah proses pembakaran yaitu dengan mengekstrak komponen holoselulosa dan menganalisis perubahan gugus kimia yang terjadi melalui analisis FTIR.

UCAPAN TERIMA KASIH/ ACKNOWLEDGEMENT

Terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram yang telah membiayai penelitian ini melalui sumber dana PNPB tahun 2023

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM] American Standard Testing and Material. 2007. ASTM D 3359-02. Standard test methods for adhesion by tape test. In Annual Book of ASTM Standard. West Conshohocken (US): American Standard Institution.
- Buksans, E., Laiveniece, L., & Lubinskis, V. (2021). Solid wood surface modification by charring and its impact on reaction to fire performance. *Engineering for Rural Development*, 20, 899–905. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF203>
- ˇCermák, P.; Dejmál, A.; Paschová, Z.; Kymäläinen, M.; Dömény, J.; Brabec, M.; Hess, D.; Rautkari, L. One-sided surface charring of beech wood. *J. Mater. Sci.* 2019, 54, 9497–9506. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-019-03589-3>
- Darmawan, W., Nandika, D., Noviyanti, E., Alipraja, I., Lumongga, D., Gardner, D., & Gérardin, P. (2018). Wettability and bonding quality of exterior coatings on jabon and sengan wood surfaces. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15(1), 95–104. <https://doi.org/10.1007/s11998-017-9954-1>
- Ebner, D. H., Barbu, M. C., Klaushofer, J., & ˇCermák, P. (2021). Surface modification of spruce and fir



- sawn-timber by charring in the traditional japanese method—yakisugi. *Polymers*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/polym13101662>
- Ebner, D. H., Tortora, M., Bedolla, D. E., Saccomano, G., Vaccari, L., Barbu, M. C., Grzybek, J., & Schnabel, T. (2023). Comparative investigation of chemical and structural properties of charred fir wood samples by Raman and FTIR spectroscopy as well as X-ray-micro-CT technology. *Holzforschung*, 77(9), 734–742. <https://doi.org/10.1515/hf-2023-0024>
- Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2008). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370–404. <https://doi.org/10.15376/biores.4.1.370-40>
- Fahrussiam, F., Lestari, A. T., Chaerani, N., & Lestari, D. (2023). Modifikasi Permukaan Kayu Pinus Menggunakan Metode Finishing Tradisional Jepang – Yakisugi Pada Beberapa Level Pengarangan. *PERENNIAL*, 19(1), 19-24. <https://doi.org/10.24259/perennial.v19i1.26319>
- Gérardin, P., Petrič, M., Petrisans, M., Lambert, J., & Ehrhardt, J. J. (2007). Evolution of wood surface free energy after heat treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 92(4), 653–657. <https://doi.org/10.1016/j.polymdgradstab.2007.01.016>
- Hasburgh, L. E., Zelinka, S. L., Bishell, A. B., & Kirker, G. T. (2021). Durability and fire performance of charred wood siding (Shou sugi ban). *Forests*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/f12091262>
- Jirouš-Rajković, V., & Miklečić, J. (2021). Enhancing Weathering Resistance of Wood—A Review. *Polymers*, 13(12), 1980. <https://doi.org/10.3390/polym13121980>
- Sandberg, D., Jones, D., Goli, G., & Todaro, L. (n.d.). 2017. *Wood modification in Europe : a state-of-the-art about processes, products and applications*.
- Kymäläinen, M., Hautamäki, S., Lillqvist, K., Segerholm, K., & Rautkari, L. (2017a). Surface modification of solid wood by charring. *Journal of Materials Science*, 52(10), 6111–6119. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-0850-y>
- Kymäläinen, M., Hautamäki, S., Lillqvist, K., Segerholm, K., & Rautkari, L. (2017b). Surface modification of solid wood by charring. *Journal of Materials Science*, 52(10), 6111–6119. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-0850-y>
- Kymäläinen, M., Turunen, H., Čermák, P., Hautamäki, S., & Rautkari, L. (2018). Sorption-related characteristics of surface charred spruce wood. *Materials*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/ma11112083>
- Luh, N., & Kerdiati, K. R. (2021). Understanding Wood Finishing Using the Japanese Wood Burning Technique (Shou Sugi Ban) in Architecture. In *Journal of Aesthetics, Design, and Art Management* (Vol. 1, Issue 1). <https://ejournal.catuspata.com/index.php/jadam>
- Martha, R., Basri, E., Setiono, L., Batubara, I., Rahayu, I. S., Gérardin, P., & Darmawan, W. (2021). The effect of heat treatment



- on the characteristics of the short rotation teak. *International Wood Products Journal*, 12(3), 218–227. <https://doi.org/10.1080/20426445.2021.1953723>
- Martha, R., Dirna, F. C., Hasanusi, A., Rahayu, I. S., & Darmawan, W. (2020). Surface free energy of 10 tropical woods species and their acrylic paint wettability. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(2), 167–177. <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1663009>
- Pratiwi, L. A., Darmawan, W., Priadi, T., George, B., Merlin, A., Gérardin, C., Dumarçay, S., & Gérardin, P. (2019). Characterization of thermally modified short and long rotation teaks and the effects on coatings performance. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 21(2), 209–222. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000208>
- Richte, F.; Atreya, A.; Kotsovinos, P.; Rein, G. The effect of chemical composition on the charring of wood across scales. *Proc Combust. Inst.* 2019, 37, 4053–4061 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1540748918302633>
- Sandberg, D., Haller, P., & Navi, P. (2013). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. In *Wood Material Science and Engineering* (Vol. 8, Issue 1, pp. 64–88). <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.751935>
- Šeda, V., Machová, D., Dohnal, J., Dömény, J., Zárbybnická, L., Oberle, A., Vacenovská, V., & Čermák, P. (2021). Effect of one-sided surface charring of beech wood on density profile and surface wettability. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094086>
- Sivrikaya, H., Can, A., de Troya, T., & Conde, M. (2015). Comparative biological resistance of differently thermal modified wood species against decay fungi, *Reticulitermes grassei* and *Hylotrupes bajulus*. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 17(3), 559–570. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000050>
- Soytürk, E. E., Kartal, S. N., Arango, R. A., Ohno, K. M., Solhan, E., Çağlayan, İ., & Ibanez, C. M. (2023). Surface carbonization of wood: comparison of the biological performance of *Pinus taeda* and *Eucalyptus bosistoana* woods modified by contact charring method. *Wood Material Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2198993>
- Wang, Y.; Zhang, Z.; Fan, H.; Wang, J. Wood carbonization as a protective treatment on resistance to wood destroying fungi. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2018, 129, 42–49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096483051730762X>
- Widyorini, R. Kotimah, K. Prayitno, T.A. 2015. Pengaruh Suhu Dan Metode Perlakuan Panas Terhadap Sifat Fisika Dan Kualitas Finishing Kayu Mahoni. *Jurnal Ilmu Kehutanan* No 2. (8) 65-74 <https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt/article/view/10160/7684>
- Yang, L.; Wang, Y.; Zhou, X.; Dai, J.; Deng, Z. Experimental and numerical study of the effect of



sample orientation on the pyrolysis and ignition of wood slabs exposed to radiation. *J. Fire Sci.* 2012, 30, 211–223.

Žigon, J., & Pavlič, M. (2023). Assessment of the Combined Charring and Coating Treatments as a Wood Surface Protection Technique. *Forests*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/f14030440>