

MODIFIKASI PERMUKAAN KAYU PINUS MENGGUNAKAN METODE FINISHING TRADISIONAL JEPANG – YAKISUGI PADA BEBERAPA LEVEL PENGARANGAN

Surface Modification of Pine Wood Using Traditional Japanese Finishing Method - Yakisugi at Several Charring Levels

Fauzan Fahrussiam ^{1✉}, Andi Tri Lestari ¹, Nurul Chaerani ¹, Dini Lestari ¹

¹Jurusan Kehutanan, Universitas Mataram
✉corresponding author: fauzan@unram.ac.id

ABSTRACT

The yakisugi is a japan method on wood finishing that enhances an esthetic, dimension stability and durability. Yakisugi methode traditionally carried out by tying three boards together to form an elongated triangle and then burning until black charcoal is evenly created on the wood surface. Thes method has not been extensively researched or industrialized in Indonesia. Therefore, this study aims to evaluate the quality of yakisugi finishing on pine wood with parameters such as the length of the burning process (20 seconds and 30 seconds on a 70 cm² area). The results showed that the pine wood burning process produced higher dimensional stability than pine without burning treatment, with ASE values reaching about 56% at a burning time of 30". Meanwhile, in the mechanical properties test, the yakisugi method provides lower values of MOE and MOR than the control sample—the change in wood properties to become more brittle after combustion is the main reason for this phenomenon. The combustion characteristics show that the combustion duration does not give a different color change in the test sample after the charcoal cleaning process. However, the thickness of the charcoal produced at 30" showed a higher value of 4.5 mm.

Key words: heat treatment modification; pine wood; wood charring; yakisugi

A. PENDAHULUAN

Penggunaan kayu solid yang merupakan material terbaru masih banyak diminati sebagai bahan pembuatan produk kayu dan berbagai produk desain arsitektur. Hal ini disebabkan oleh karakteristik kayu yang memiliki sifat mudah dikerjakan dan corak yang unik dalam setiap jenisnya. Namun demikian, kayu memiliki beberapa kelemahan terkait sifat higroskopis yang dimiliki. Kayu mampu menyerap air yang menyebabkan keseimbangan dimensi tidak stabil dan disukai oleh organisme perusak. Selain itu, pemaparan kayu pada luar ruangan akan mengalami fotodegradasi oleh sinar UV yang mengakibatkan ikatan lignin dalam kayu berkurang dan menyebabkan kayu menjadi mudah usang dan lapuk (Darmawan *et al.* 2018).

Teknologi yang selama ini populer dalam peningkatan stabilitas dimensi dan daya tahan terhadap mikroorganisme perusak adalah dengan proses perlakuan panas (*thermal modification*). Beberapa penelitian melaporkan bahwa perlakuan panas pada kayu akan meningkatkan stabilitas dimensi yang diakibatkan oleh permukaan kayu menjadi lebih *hydrophobic* (tidak suka air) (Widyorini *et al.* 2014, Gérardin *et al.* 2007). Sivrikaya *et al.* (2015) melaporkan bahwa kayu subtropik (pinus, ash, tali, spruce, dan iroko) setelah diberikan perlakuan

panas menghasilkan beberapa senyawa organik yang mampu mencegah pertumbuhan jamur (*brown and white rot fungi*). Pratiwi *et al.* (2019) melaporkan bahwa kayu jati dari jenis cepat tumbuh memiliki stabilitas dimensi, ketahanan terhadap rayap, dan daya rekat terhadap bahan finishing lebih tinggi setelah proses pemanasan dalam oven selama 20 jam pada suhu 220°C.

Pengaruh dari perlakuan panas ternyata juga memberikan efek yang merugikan dalam beberapa karakteristik kayu. Sifat mekanis kayu mengalami penurunan seiring bertambahnya suhu dan lama pemanasan (Martha *et al.* 2021, Korkut dan Hiziroglu 2009). Selama proses pemanasan kandungan hemiselulosa mengalami degradasi yang paling tinggi dan proses kristalisasi bagian amorf selulosa mengakibatkan kayu menjadi getas (*brittle*) sehingga sifat mekanis cenderung menurun (Esteves dan Pereira, 2008). Jirouš-Rajković dan Miklečić (2021) menyimpulkan bahwa proses modifikasi panas tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat *weathering* (pelapukan) kayu, dan diperlukan pemberian bahan pelapis *finishing* untuk meningkatkan resistensi dan peningkatan nilai estetika. Selain itu, Buksans *et al.* (2021) melaporkan bahwa proses modifikasi panas membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu mencapai 24 jam, kondisi ini akan menghasilkan biaya proses yang lebih tinggi.

Bentuk modifikasi panas pada permukaan kayu lainnya yang saat ini mulai populer lagi adalah metode finishing dari Jepang yang disebut metode yakisugi atau di barat lebih dikenal dengan sebutan *Shou Sugi Ban* (Kymäläinen *et al.* 2020). Metode ini ratusan tahun lalu telah dilakukan oleh masyarakat Jepang terutama pada pengaplikasian dinding-dinding kuil. Metode yakisugi secara tradisional dilakukan dengan mengikat tiga papan secara bersamaan membentuk segitiga memanjang kemudian dilakukan pembakaran dari permukaan bawah dan proses pembakaran dilakukan sampai tercipta arang hitam pada permukaan kayu secara merata. Berdasarkan efisiensi pengaplikasian, metode yakisugi lebih efisien dan sederhana dibandingkan metode heat treatment dan tidak memerlukan bahan tambahan kimia sehingga lebih ramah lingkungan. Metode ini menjadi semakin populer karena menghasilkan corak kayu yang natural, estetik dan memiliki daya tahan terhadap serangan jamur dan rayap (Kymäläinen *et al.* 2017, Ebner *et al.* 2021, Hasburgh *et al.* 2021) serta mampu meningkatkan daya tahan api pada konstruksi bangunan (Machova *et al.* 2021, Buskans *et al.* 2021).

Pengembangan metode finishing yakisugi telah banyak dikembangkan secara komersial di Eropa dan Amerika (Hasburg *et al.* 2021). Namun demikian, metode ini masih sedikit dikembangkan di Indonesia baik untuk keperluan penelitian maupun pengaplikasian secara komersial. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas finishing metode yakisugi pada jenis kayu pinus yang selama ini banyak dimanfaatkan untuk keperluan bahan mebel maupun bahan desain interior dan exterior. Karakteristik kayu yang menjadi parameter evaluasi diantaranya kualitas pembakaran, perubahan sifat fisis (stabilitas dimensi), dan sifat mekanis.

B. BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kayu pinus (*Pinus merkusii*) yang diperoleh dari penjual kayu di daerah tangerang selatan. Kayu pinus yang digunakan sudah dalam bentuk papan dengan ukuran 10 cm x 1,8 cm x 180 cm (lebar x tebal x panjang). Pengujian sifat fisis kayu pinus yang digunakan menunjukkan nilai kerapatan sebesar 0,36 g/cm³ dan kadar air sebesar 10,3%.

Metode

1. Proses pembakaran permukaan kayu

Contoh uji berukuran 7 cm x 10 cm x 1,8 cm (lebar x panjang x tebal) dilakukan pengamplasan menggunakan kertas amplas grit 400 sebelum proses pembakaran. Proses pembakaran menggunakan lama waktu pembakaran sebagai parameter uji yang terdiri dari 20 detik dan 30 detik untuk luas permukaan bakar sebesar 70

cm². Proses pembakaran menggunakan api bertekanan melalui ujung torch dengan jarak kepada sampel sekitar 30-50 mm selama 20 dan 30 detik (Gambar 1). Suhu yang dihasilkan dalam proses pembakaran tidak diukur, namun keterangan pada tipe torch yang digunakan menunjukkan suhu pembakaran bisa mencapai 1.300°C. Žigon dan Pavlič (2023) melaporkan bahwa suhu pada saat proses pembakaran menggunakan torch mencapai 530-680°C yang diukur menggunakan kamera *infrared*. Proses pembakaran dilakukan secara manual dan dilakukan secara merata pada permukaan kayu sesuai parameter waktu yang digunakan.



Gambar 1. Proses pembakaran contoh uji menggunakan torch gas bertekanan.

Contoh uji yang sudah dilakukan pembakaran kemudian dibersihkan menggunakan sikat kawat hingga tekstur kayu terlihat dan sisa arang hasil pembakaran terangkat sempurna. Contoh uji dikatakan bersih apabila tidak ada bekas hitam sisa pengarangan pada kain lap. Hasil pembakaran contoh uji dari sebelum proses pembakaran sampai menjadi kayu hasil yakisugi terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil proses yakisugi kayu pinus sebelum pembakaran (A), setelah pembakaran (B), dan setelah pembersihan menggunakan sikat kawat (C)

2. Penentuan stabilitas dimensi

Kestabilan dimensi diukur berdasarkan persentase susut volume dan efisiensi anti pengembangan / *anti swelling efficiency* (ASE). Metode pengukuran didasarkan pada metode yang dilakukan oleh Pratiwi *et al.* (2019) dengan sedikit modifikasi pada ukuran sampel dan pemberian tekanan selama perendaman. Contoh uji berukuran 3 cm x 2 cm x 1,7 cm (panjang x lebar x tebal) sejumlah 5 kali ulangan dikeringkan pada suhu 103°C selama 48 jam. Selanjutnya, contoh uji tersebut diukur dimensi panjang, lebar, dan tebalnya untuk menentukan volume kering tanurnya. Contoh uji kemudian dilakukan pembakaran sesuai parameter waktu yang ditentukan. Semua contoh uji (kontrol dan perlakuan) kemudian direndam selama satu jam dan ditempatkan di dalam desikator. Setelah itu, contoh uji dikeluarkan dari desikator dan dilanjutkan proses perendaman selama 24 jam kemudian dihitung volume setelah perendaman. Susut volume (Sv) dan nilai ASE dihitung berdasarkan persamaan (1) dan (2).

$$Sv = \frac{(V1-V0)}{V0} \times 100 \tag{1}$$

$$ASE = \frac{(Su-Sm)}{Su} \times 100 \tag{2}$$

Di mana, Sv merupakan susut volume, V1 adalah volume setelah perendaman contoh uji, V0 adalah volume kering tanur sebelum perendaman. Sementara Su merupakan susut volume contoh uji tanpa perlakuan yakisugi dan Sm adalah contoh uji yang telah mengalami pembakaran.

3. Pengujian sifat mekanis

Sifat mekanis yang diuji meliputi pengujian nilai *modulus of elasticity* (MOE) dan *modulus of rupture* (MOR). Pengujian dilakukan mengikuti standar ASTM D 143-05 (1996). Papan pinus berukuran 100 cm x 18 cm x 1,8 cm dipotong menjadi ukuran contoh uji 40 cm x 1,7 cm x 1,7 cm (PxLxT). Nilai MOE dan MOR ditentukan melalui uji kelenturan menggunakan mesin RTG dengan kecepatan pembebanan sebesar 1,3 mm/min dan panjang span 36 cm pada satu titik pembebanan.

4. Kualitas pembakaran

Kriteria pengarangan dilihat dari kehilangan berat setelah pengarangan dan tebal arang yang terbentuk setelah proses pembakaran. Contoh uji berukuran 10 cm x 7 cm x 1,5 cm dikeringkan selama 48 jam untuk menentukan berat kering tanur. Setelah itu, masing-masing contoh uji dilakukan pembakaran sesuai parameter waktu yang ditentukan (20 dan 30 detik). Kehilangan berat diukur setelah masing-masing contoh uji dilakukan pembakaran dan setelah contoh uji dilakukan pembersihan menggunakan kawat baja sisa arang hasil pembakaran. Masing-masing contoh uji juga dilakukan pengukuran tebal arang yang dihasilkan setelah proses pembakaran dan setelah proses pembersihan arang sisa pembakaran.

Persentase kehilangan berat diukur berdasarkan persamaan 3.

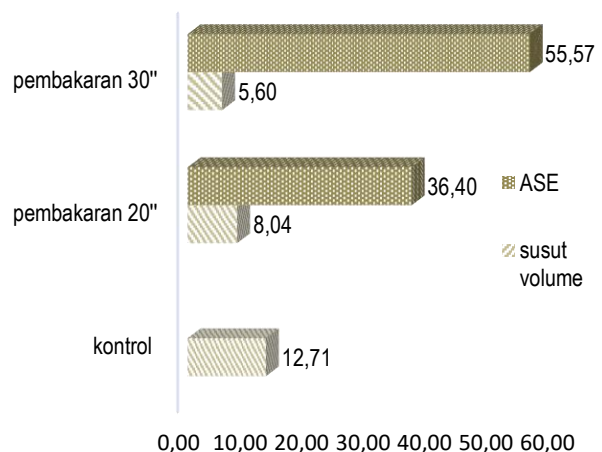
$$\% \text{kehilangan berat} = \frac{(M0-M1)}{M0} \times 100 \tag{3}$$

Di,mana, M0 merupakan berat sebelum pembakaran dan M1 merupakan berat setelah pembakaran.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Stabilitas dimensi

Stabilitas dimensi pada pengaplikasian metode yakisugi penting untuk diperhatikan karena penggunaannya banyak dijumpai di luar ruangan seperti *cladding*. Stabilitas dimensi berkaitan dengan karakteristik kayu yang memiliki sifat higroskopis yang pada penelitian ini ditunjukkan oleh parameter kembang susut volume dan nilai ASE. Stabilitas dimensi pada kayu pinus yang telah dilakukan pembakaran terlihat pada Gambar 3. Metode yakisugi mampu meningkatkan nilai stabilitas dimensi kayu pinus. Hal ini terlihat dari nilai pengembangan yang lebih rendah dibandingkan kayu kontrol. Lama pembakaran juga menunjukkan hubungan yang positif dengan nilai pengembangan yang dihasilkan. Nilai ASE menunjukkan perbedaan nilai pengembangan contoh uji sebelum dan setelah perlakuan. Nilai ASE Pembakaran selama 30" mampu meningkatkan stabilitas dimensi kayu pinus sebesar 56%, dan pembakaran selama 20" sebesar 36%. Perbedaan nilai ASE maupun susut volume pada kedua perlakuan disebabkan oleh lapisan arang yang dihasilkan. Semakin lama proses pembakaran maka lapisan arang yang dihasilkan akan semakin tinggi.



Gambar 3. Stabilitas dimensi (%) setelah proses pembakaran

Arang yang dihasilkan selama proses pembakaran memiliki sifat yang *hydrophobic* yang artinya memiliki daya serap air yang rendah. Kymäläinen *et al.* (2017) menjelaskan proses *hydrophobic* yang terjadi disebabkan oleh terdegradasinya komponen reaktif (yang mengikat air) dalam kayu seperti hemiselulosa dan bagian amorf

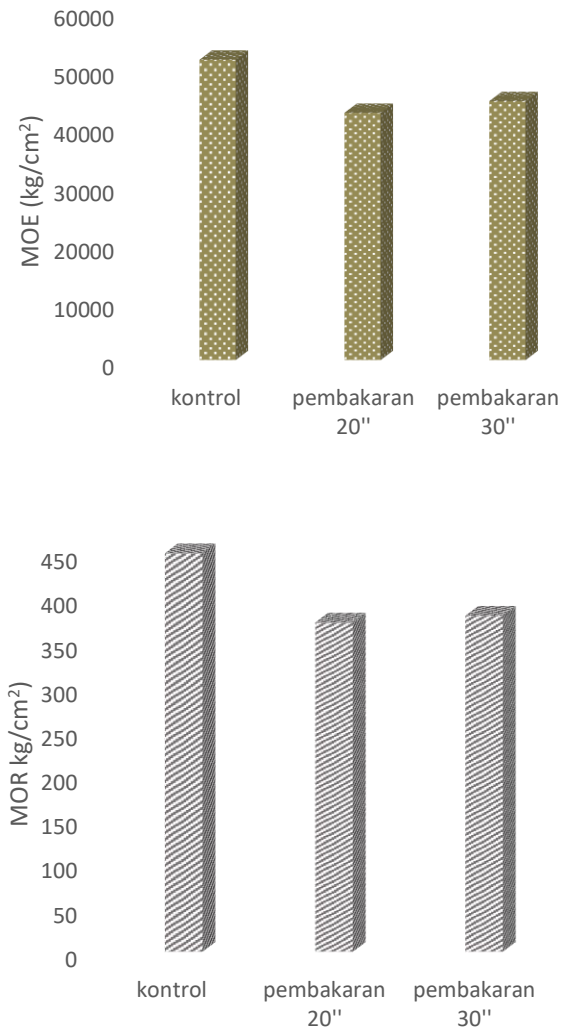
selulosa selama proses *pyrolysis* saat pembakaran. Selain itu, proses kimia yang terjadi selama pembakaran akan mengurangi gugus hidroksil yang mampu mengikat air (Esteves dan Pereira 2008).

Sifat mekanis

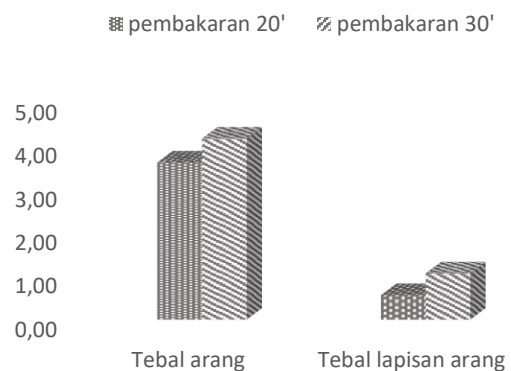
Pengujian nilai MOE dan MOR setelah proses pembakaran menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan contoh uji kontrol. Nilai MOE dan MOR berkurang sekitar 17,7% dan 17,3% secara berurutan. Sementara nilai MOE dan MOR yang dihasilkan dari pengaruh lama pembakaran menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Gambar 4 menunjukkan nilai MOE dan MOR pada pembakaran 30'' menunjukkan nilai yang lebih tinggi sebesar 4,5% dan 2,1%. Metode perlakuan panas termasuk metode yakisugi memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat mekanis kayu. Korkut dan Hiziroglu (2009) melaporkan kayu setelah mengalami pemanasan akan cenderung menjadi getas atau *brittle* serta nilai kekuatan tarik dan tekan berkurang sebesar 10-30%. Hal ini dijelaskan secara kimiawi bahwa saat proses pembakaran, lignin- polisakarida kompleks terdegradasi oleh asam organik yang dilepaskan oleh hemiselulosa. Maka dari itu, metode perlakuan panas pada material yang menerima pembebanan langsung tidak direkomendasikan.

Kualitas pembakaran

Metode yakisugi banyak dilakukan karena hasilnya mampu melindungi kayu terutama dari serangan mikroorganisme dan radiasi sinar UV ketika di luar ruangan. Kemampuan tersebut sangat tergantung dari tebal arang yang dihasilkan dari proses pembakaran (Zelinka *et al.* 2022). Lapisan karbon pada permukaan kayu akan mulai terbentuk saat suhu pembakaran sekitar 270°C kemudian permukaan akan semakin menghitam pada suhu di atas 400°C (Ebner *et al.* 2021). Tebal arang yang dihasilkan selama proses pembakaran terlihat pada Gambar 5. Pembakaran selama 30'' untuk luas permukaan 70 cm² menghasilkan tebal arang sekitar 4,17 mm dan pembakaran selama 20'' sebesar 3,62 mm. Kim *et al.* (2022) dalam penelitiannya menghasilkan tebal arang hasil pembakaran sebesar 4,5 mm sementara Žigon dan Pavlić (2023) melaporkan bahwa lapisan arang yang dihasilkan sebesar 1 mm. variasi tebal yang dihasilkan tergantung dengan metode pembakaran, lama pembakaran, kadar air kayu, dan jenis kayu yang digunakan (Zelinka *et al.* 2022). Gambar 5 juga menunjukkan tebal lapisan pembakaran setelah proses pembersihan arang pada permukaan kayu. Nilai ini diperoleh dari selisih tebal setelah pembersihan arang pada permukaan kayu dengan tebal awal contoh uji sebelum pembakaran. Tebal yang diperoleh sekitar 1,0 mm dan 0,57 mm pada pembakaran 30'' dan 20''.



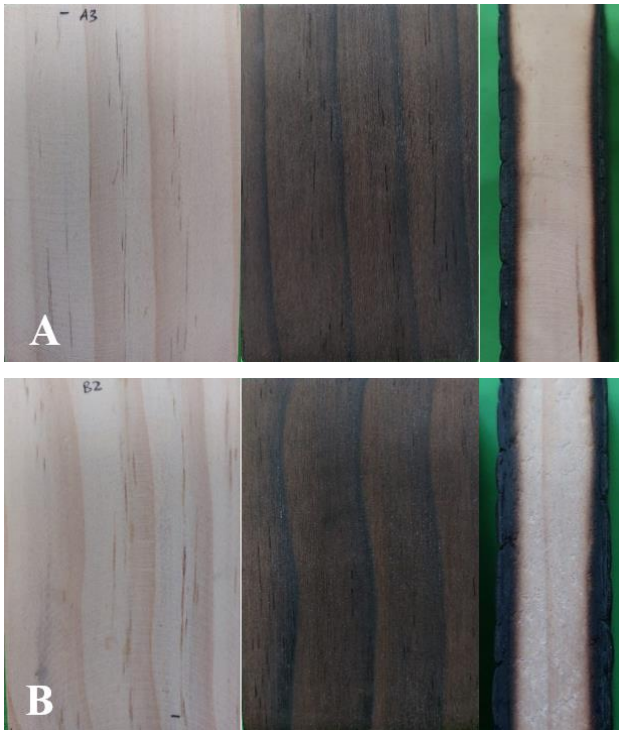
Gambar 4. Nilai MOE dan MOR kayu pinus yang diberikan perlakuan yakisugi



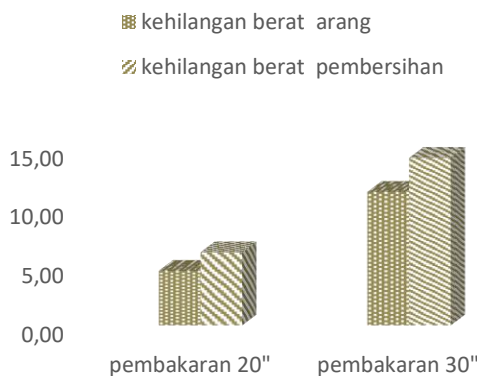
Gambar 5. Tebal arang yang tercipta setelah pembakaran (mm)

Finishing kayu menggunakan metode yakisugi memiliki tujuan pengaplikasian yang berbeda-beda. Umumnya pada pemakaian luar ruangan, lapisan arang yang terbentuk langsung diberikan lapisan minyak untuk mengurangi gesekan saat proses *handling* maupun pemakaian. Namun untuk penggunaan dalam ruangan, arang hasil pembakaran dibersihkan menggunakan sikat

kawat untuk mendapatkan corak kayu yang lebih natural dan warna kayu terkesan lebih gelap (Žigon dan Pavlič 2023). Hasil finishing kayu pinus setelah proses pembersihan terlihat pada Gambar 6. Perlakuan lama pembakaran pada hasil akhir kayu pinus setelah pembersihan arang menunjukkan warna yang tidak jauh berbeda dan tergolong ke deskripsi warna *clove brown*. Namun demikian, *finishing* yakisugi mampu menjadikan kayu pinus terlihat lebih estetik dengan tampilan bagian kayu akhir yang lebih gelap yang mengakibatkan corak kayu pinus lebih terlihat jelas.



Gambar 6. Finishing kayu pinus pada sisi lebar dan tebal contoh uji, A. pembakaran selama 30", B pembakaran selama 20"



Gambar 7. Persentase kehilangan berat kayu pinus setelah pembakaran (%)

Gambar 7 menunjukkan persentase kehilangan berat contoh uji setelah proses pembakaran. Persentase kehilangan berat merupakan faktor yang penting dalam proses pembakaran. Setelah proses pembakaran,

kehilangan berat pada lama pembakaran 30" menunjukkan penurunan berat sebesar 11,28% sementara pembakaran selama 20" mengalami kehilangan berat sebesar 4,60%. Setelah proses pembersihan arang setelah pembakaran, berat contoh uji berkurang sebesar 6,17% dan 14,15% untuk lama pembakaran 20" dan 30". Kehilangan berat setelah proses pembersihan arang menunjukkan persentase berat arang yang dihasilkan pada permukaan contoh uji setelah pembakaran. Kehilangan berat pada proses pembakaran merupakan akibat dari proses kimia yang terjadi pada saat pembakaran.

Pada awal pembakaran, kehilangan berat disebabkan oleh kehilangan kadar air kemudian dilanjutkan terdekomposisinya komponen polimer yang dimulai pada suhu 200°C dan komponen hemiselulosa juga mulai terdegradasi sampai suhu 290°C. Proses dekomposisi kemudian dilanjutkan terhadap selulosa dan lignin di atas suhu 290°C dan mencapai maksimum pada suhu 390°C. hubungan antara kehilangan berat terhadap sifat mekanis, Mburu *et al.* (2008) melaporkan bahwa kehilangan berat di atas 16% setelah proses pemanasan akan mengurangi secara signifikan nilai MOE dan MOR.

E. KESIMPULAN

Proses finishing kayu pinus menggunakan metode yakisugi pada beberapa level lama pembakaran menunjukkan nilai stabilitas dimensi yang lebih baik dengan nilai ASE mencapai 56% (30"). Namun demikian, seperti pada perlakuan panas lainnya, sifat mekanis kayu pinus termodifikasi mengalami penurunan dibandingkan contoh uji dengan pengurangan nilai MOE dan MOR sekitar 17%. Kualitas kayu pinus hasil pembakaran menggunakan torch gas menunjukkan permukaan kayu pinus yang lebih indah dengan corak kayu yang lebih terlihat jelas. Persentase kehilangan berat masih tergolong rendah dengan tebal arang yang dihasilkan pada permukaan kayu pinus yang mencapai 3-4 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan terutama kepada rekan tim penelitian yang telah membantu dalam proses pengambilan dan pengolahan data. Selain itu terima kasih penulis sampaikan kepada Universitas Mataram yang telah memberikan dana penelitian melalui skema Penelitian Dosen Pemula dengan pendanaan dari PNB

REFERENSI

American Standard for Testing and Materials. 1996. ASTM D 143-05. Standard methods of testing small clear specimens of timber. In: Annual book of ASTM standard. New York (NY): American Standard Institution; p. 1-31.

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>
- 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 sengon 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., & Čermák, 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>
- 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.4.1.370-404>
- Gérardin, P., Petrič, M., Petrissans, 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.polymdegradstab.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>
- Korkut, S., & Hiziroglu, S. (2009). Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). *Materials and Design*, 30(5), 1853–1858. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.009>
- Kymäläinen, M., Hautamäki, S., Lillqvist, K., Segerholm, K., & Rautkari, L. (2017). 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., & Rautkari, L. (2020a). Effect of weathering on surface functional groups of charred norway spruce cladding panels. *Forests*, 11(12), 1–9. <https://doi.org/10.3390/f11121373>
- Machová, D., Oberle, A., Zárbynická, L., Dohnal, J., Šeda, V., Dömény, J., Vacenovská, V., Kloiber, M., Pěnčík, J., Tippner, J., & Čermák, P. (2021). Surface characteristics of one-sided charred beech wood. *Polymers*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/polym13101551>
- 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>
- Mburu, F.; Dumarcay, S.; Bocquet, J.F.; Petrissans, M.; Gérardin, P. 2008. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. *Polym Degrad Stab* 93 (2): 401-405
- Kim, Min Ji., Kim, Sejong., Kim, Chul-ki., and Shim, Kug Bo. 2022. Determination of Charring Thickness of Wood by Residual Strength Analysis. *BioResources* 17(1), 1485-1493
- 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 Tecnología*, 21(2), 209–222. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000208>
- 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 Tecnología*, 17(3), 559–570. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000050>
- Widyorini, Ragil. Khotimah, Khusnul. Prayitno, Tiberitus Agus. 2014. Pengaruh Suhu dan Metode Perlakuan Panas Terhadap Sifat Fisika dan Kualitas Finishing Kayu Mahoni. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. Vol. 8 No. 2. 65-74
- Zelinka, S.L.; Altgen, M.; Emmerich, L.; Guigo, N.; Keplinger, T.; Kymäläinen, M.; Thybring, E.E.; Thygesen, L.G. Review of Wood Modification and Wood Functionalization Technologies. *Forests* 2022, 13, 1004. <https://doi.org/10.3390/f13071004>
- Žigon, J.; Pavlič, M. Assessment of the Combined Charring and Coating Treatments as a Wood Surface Protection Technique. *Forests* 2023, 14, 440. <https://doi.org/10.3390/f14030440>