

Pengaruh Variasi Waktu Impregnasi Menggunakan Oli Bekas Terhadap Kestabilan Dimensi Kayu Sengon (*Albizia Chinensis*)

Amanda Insanimuna¹, Raeheesa Amara², Sahrul³, Fathia Azka Nugraha⁴, Naila Noor Qomariyah⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Pasca Panen, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung (ITB),

Alamat : Jalan Jl. Let. Jend. Purn. Dr. (HC) Mashudi No.1, Sayang, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia

Email : 11921025@mahasiswa.itb.ac.id¹, 11921009@mahasiswa.itb.ac.id², 11921022@mahasiswa.itb.ac.id³, 11921043@mahasiswa.itb.ac.id⁴, 11921050@mahasiswa.itb.ac.id⁵

Abstract . Sengon wood is an industrial wood commodity. Sengon wood has the characteristics of low specific gravity, density and dimensional stability and has high hygroscopic properties. This is because harvesting is done on wood that is still young. This research was carried out to improve the quality of sengon wood, namely by modifying the wood in the form of used oil impregnation. Impregnation aims to increase wood durability, physical and mechanical properties of wood by placing sengon wood and used oil solution in a vacuum press tube. In the retention and water gain tests, the best test results were for SD samples with values of 15.97 kg/m³ and 7.44%. The penetration test showed that used oil penetrated thoroughly in all sample tests. Absorption values in SK 236.58%, SA 160.12%, SB 137.3%, SC 160.13%, SD 149.75%, SE 129.07%, and 142.21%. The Anti-Swelling Efficiency value of immersion in SA is 3.66%, SB 0.66%, SC -0.08%, SD -0.78%, SE -2.32%, and SF -0.61%. And in the Swelling test, all sample tests had smaller swelling than SK.

Keywords: Sengon wood, impregnation, used oil, dimensional stability

Abstrak . Kayu sengon merupakan komoditas kayu industri. Kayu sengon memiliki karakteristik yaitu berat jenis, kerapatan, dan kestabilan dimensi yang rendah serta memiliki sifat higroskopis yang tinggi. Hal ini disebabkan karena pemanenan dilakukan pada kayu yang umurnya masih muda. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan mutu kayu sengon yaitu dengan modifikasi kayu berupa impregnasi oli bekas. Impregnasi bertujuan untuk meningkatkan ketahanan kayu, sifat fisis, mekanis kayu dengan menempatkan kayu sengon dan larutan oli bekas dalam tabung vakum tekan. Pada uji retensi dan *Water gain* hasil uji terbaik pada sampel SD dengan nilai 15,97 kg/m³ dan 7,44%. Uji penetrasi menunjukkan bahwa oli bekas masuk menyeluruh pada semua uji sampel. Nilai *absorption* pada SK 236,58%, SA 160,12%, SB 137,3%, SC 160,13%, SD 149,75%, SE 129,07%, dan 142,21%. Nilai *Anti-Swelling Efficiency* perendaman pada SA adalah 3,66%, SB 0,66%, SC -0,08%, SD -0,78%, SE -2,32%, dan SF -0,61%. Dan pada uji *Swelling* semua uji sampel memiliki pembengkakan lebih kecil dari SK.

Kata Kunci: Kayu Sengon, Impregnasi, Oli Bekas, Kestabilan Dimensi

PENDAHULUAN

Kayu sengon merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki sifat cepat tumbuh sehingga dapat dipanen dalam waktu yang tidak terlalu lama. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi kayu sengon tahun 2020 mencapai 97.848 m³ dan mengalami kenaikan di tahun 2021 menjadi 152.014 m³ (Badan Pusat Statistik, 2022). Kayu sengon sebagai komoditi ekonomi dalam hutan rakyat dianggap cukup prospektif dan menjanjikan dari aspek finansial, namun komoditas ini masih terkendala oleh permasalahan tingkat ketahanan terhadap penyusutan (Sushardi *et al.*, 2022).

Kayu sengon memiliki berat jenis sebesar 0,24-0,49 dan kerapatan sebesar 0,3-0,5 g/cm³. Kekerasan kayu sengon bernilai 112-122 kg/cm² dan termasuk kedalam kelas awet dan kuat

IV-V (Handayani, 2016). Nilai yang rendah diakibatkan, kayu ditebang pada usia muda dan mengandung proporsi *juvenile wood* yang cukup tinggi. Kayu juvenil memiliki proporsi kayu awal yang tinggi sehingga kerapatan dan kekuatan kayu rendah dan memiliki higroskopisitas yang tinggi. Selain itu kayu juvenil memiliki sudut mikrofibril yang tinggi pada lapisan S2 dinding sel. Bentuk ini mempengaruhi penyusutan memanjang yang tinggi dan penyusutan melintang yang berkurang sehingga menyebabkan kestabilan dimensi rendah (Saputra & Sulisty, 2021). Kayu memiliki sifat higroskopis atau dapat menyerap (absorpsi) dan melepaskan (desorpsi) air untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungannya. Kemampuan absorpsi dan desorpsi kayu ini berakibat pada besarnya kadar air yang selalu berubah tergantung pada suhu dan kelembaban lingkungan sekitarnya (Iswanto, 2018). Kayu juga mempunyai sifat anisotropik, yaitu perilaku dan tanggapan beban yang berbeda jika diuji menurut arah berbeda akibat susunan sel–sel serabut yang membentuk tiga arah yaitu longitudinal, tangensial, dan radial (Hasanuddin, 2022). Karena kekurangan yang ada pada jenis kayu ini, peningkatan mutu kayu perlu dilakukan agar kualitas dari kayu cepat tumbuh terutama sengon mampu memiliki kualitas yang baik (Rahayu *et al.*, 2014).

Proses modifikasi kayu dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat fisik, mekanik, atau estetika kayu (Sanberg, 2017). Salah satu modifikasi kayu adalah impregnasi yang merupakan pengisian bahan impregnan pada kayu agar sifat fisis kayu dapat meningkat (Hidayat & Febriyanto, 2018). Proses impregnasi metode kompresi vakum umumnya dimulai dengan melakukan vakum pada sampel kayu yang ditambahkan larutan impregnan, kemudian ditekan pada tekanan yang telah ditentukan (Prihatini *et al.*, 2023). Berdasarkan penelitian oleh Belchinskaya *et al.* (2021) didapatkan bahwa perlakuan impregnasi metode rendaman panas dingin menggunakan pengawet oli bekas pada kayu birch perak (*Betula pendula*) dengan kelas awet V selama 60 menit dapat mengurangi penyerapan air hingga 3,7 kali lipat daripada yang tidak diberi pengawet oli bekas. Penambahan oli bekas pada impregnasi dapat memperpanjang dan meningkatkan keawetan kayu. Oli cukup sering digunakan dalam pengawetan kayu karena sifatnya yang mudah menempel dan memiliki sifat seperti minyak, yaitu *hydrophobic* atau tidak bisa menyatu dan ditembus oleh air, sehingga mampu menjaga kayu dari resapan air dan kelembaban (Belchinskaya *et al.*, 2021).

Oleh karena itu penelitian “Pengaruh Variasi Waktu Impregnasi Menggunakan Oli bekas Bekas Terhadap Kestabilan Dimensi Kayu Sengon (*Albizia chinensis*)” dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu vakum tekan menggunakan oli bekas terhadap kualitas kayu sengon. Vakum tekan akan memudahkan larutan oli bekas masuk ke dalam rongga sel

kayu sehingga meningkatkan kestabilan kayu sengon. Penelitian bermanfaat untuk bidang pengolahan dan bidang pengawetan produk hasil hutan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: amplas, baskom kecil, *caliper*, cat kayu, desikator, ember, gergaji, kain lap, kawat saring, kuas, oven, pemberat (batu), penggaris, spidol permanen, *stopwatch*, timbangan digital, thinner, dan vakum tekan. Penelitian ini akan membutuhkan bahan sebagai berikut: air destilasi/ amidis (secukupnya), bensin, kayu sengon (*Albizia chinensis*) dengan ukuran (2×2×2 cm) sebanyak 70 buah dan oli bekas sebanyak 3 liter.

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan selama 4 minggu, dimulai dari tanggal 19 Oktober hingga 16 November 2023. Satu minggu pertama digunakan untuk persiapan alat dan bahan, pengujian kadar air, serta uji pendahuluan. Uji pendahuluan dilakukan selama 2 hari pada tanggal Oktober hingga Oktober 2023. Proses impregnasi dilakukan pada tanggal Oktober 2023. Pengukuran *weight gain*, *water absorption*, stabilitas dimensi, dan *anti-swelling efficiency* (ASE) terakhir dilakukan pada 16 November 2023. Sedangkan pengukuran penetrasi dan retensi dilakukan pada tanggal November 2023. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kayu, Laboratorium instruksional 1 dan 2, dan Asrama ITB Jatinangor.

Pengadaan Bahan

Kayu sengon berukuran 2 meter sebanyak 2 buah didapatkan melalui toko bangunan Putrana di daerah Desa Sayang, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang. Kayu sengon dipotong dengan ukuran (2×2×2) cm sebanyak 70 buah dengan keterangan 10 sampel kontrol (SK), 10 sampel impregnasi selama 10 menit (SA), 10 sampel impregnasi selama 20 menit (SB), 10 sampel impregnasi selama 30 menit (SC), 10 sampel impregnasi selama 40 menit (SD), 10 sampel impregnasi selama 50 menit (SE), dan 10 sampel impregnasi selama 60 menit (SF). Kemudian sampel dikeringkan hingga kadar airnya mencapai 12%. Larutan pengawet yang digunakan adalah oli bekas 3 liter yang didapatkan dari bengkel motor di daerah Desa Sayang, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang.

Pengukuran Kadar Air

Sampel kayu sengon SA, SB, SC, SD, SE, dan SF ditimbang sebelum dilakukan proses pengeringan dengan oven. Seluruh sampel tersebut selanjutnya dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya bobot sampel kayu ditimbang kembali setelah

dikeringkan dan dilakukan perhitungan terhadap kadar air menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_a - W_k}{W_k} \times 100\%$$

Wa : Bobot awal sampel kayu (gr)

Wk : Bobot kering akhir sampel kayu (gr)

Impregnasi Kayu Sengon

Sampel kayu sengon SA, SB, SC, SD, SE, dan SF yang telah dikeringkan pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ dan memiliki kadar air 12%, dilapisi oleh cat kayu pada arah longitudinal kemudian dikeringkan hingga bertanya konstan dan seragam. Kemudian diimpregnasi menggunakan larutan oli bekas selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Sampel lalu ditiriskan dan dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah impregnasi, bambu diukur bobotnya sebagai berat awal (W_0) dan diukur volumenya sebagai volume awal (V_0).

Pengujian *Weight Gain* & Retensi Larutan Impregnan

Sampel kayu sengon dilakukan penimbangan bobot sebelum proses impregnasi sebagai bobot awal sampel. Setelah proses impregnasi, sampel kayu ditimbang kembali bobotnya sebagai bobot akhir sampel. Kayu sengon ditimbang berat awal sebelum impregnasi. Kemudian kayu sengon ditimbang kembali setelah impregnasi selama 21 hari dengan selang waktu pengujian 2 hari. *Weight gain* dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$WPG = \frac{W_w - W_0}{W_w} \times 100\%$$

W0: Bobot awal sebelum impregnasi (g)

Ww: Bobot akhir setelah impregnasi (g)

Retensi larutan (g/m^3) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Retensi} = \frac{W_w - W_0}{V} \times C$$

Ww: Bobot awal kayu sebelum impregnasi (g)

W0: Bobot awal setelah impregnasi (g)

V: Volume kayu sengon (m^3)

C: Konsentrasi larutan pengawet

Pengujian Penetrasi Larutan Impregnan

Sampel kayu sengon yang telah diimpregnasi kemudian dipotong menjadi dua. Perubahan warna pada permukaan potongan kayu dapat dilihat pada pori-pori kayu menggunakan stereo mikroskop.

Pengujian *Water Absorption*

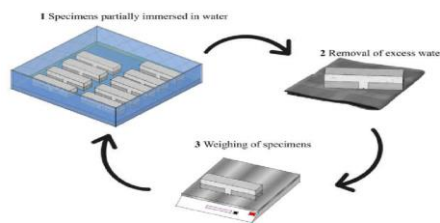
Setelah diimpregnasi, sampel direndam dalam baskom berisi air sebanyak 1,5 L selama 21 hari dengan selang waktu pengujian 2 hari. Sampel uji kayu sengon SK, SA, SB, SC, SD, SE, dan SF ditimbang untuk mendapatkan bobot setelah perendaman (m_i). Kemudian dihitung *water absorption* dengan persamaan berikut.

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100\%$$

m_i : Bobot setelah perendaman (g)

m_0 : Bobot sebelum perendaman (g)

Berikut ini merupakan prosedur pengujian *water absorption*.



Gambar 1. Prosedur pengujian *water absorption*
(Sumber : Tziviloglou, 2018)

Pengujian Stabilitas Dimensi dan *Anti-Swelling Efficiency (ASE)*

Setelah diimpregnasi sampel diukur panjang, lebar, dan tingginya menggunakan *caliper*. Kemudian sampel direndam ke dalam baskom berisi air sebanyak 1,5 L selama 19 hari dengan selang waktu pengujian selama 2 hari. Lalu sampel diukur kembali panjang, lebar, dan tingginya dengan *caliper* setelah dilakukan perendaman untuk mendapatkan volume sampel kayu sengon setelah direndaman (V_w).

Stabilitas dimensi diukur berdasarkan volume dan luas kayu dengan persamaan berikut:

$$S = \frac{V_w - V_d}{V_d} \times 100\%$$

V_w : volume sampel setelah diimpregnasi dan direndam dalam air

V_d : volume sampel sebelum direndam dalam air.

Anti-Swelling Efficiency dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$ASE = \frac{V_w - V_k}{V_w} \times 100\%$$

V_w : volume pembengkakan sampel uji impregnasi setelah direndam

V_k : volume pembengkakan sampel kontrol setelah direndam.

Rancangan Penelitian

Model rancangan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas satu faktor yaitu:

Faktor 1: waktu impregnasi kayu sengon dengan oli bekas, terdiri atas:

Tabel 1. Kode dan deskripsi perlakuan

Kode Perlakuan	Deskripsi
SK	Kontrol (tanpa perlakuan)
SA	Impregnasi selama 10 menit
SB	Impregnasi selama 20 menit
SC	Impregnasi selama 30 menit
SD	Impregnasi selama 40 menit
SE	Impregnasi selama 50 menit
SF	Impregnasi selama 60 menit

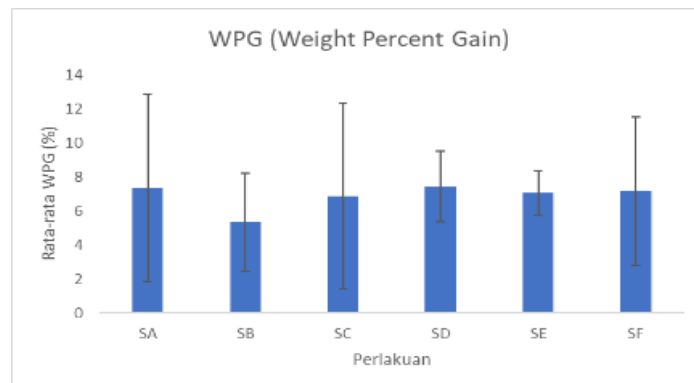
Terdapat 5 ulangan untuk setiap perlakuan waktu impregnasi, sehingga jumlah satuan percobaan sebanyak 70 buah. Analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan uji One Way ANOVA dengan pengujian lanjutan untuk mencari perlakuan dengan hasil yang signifikan dengan Uji Tukey dengan taraf kepercayaan 95%. Analisis statistik dilakukan menggunakan software Minitab v.18.1, dengan hipotesis sebagai berikut:

- H0: Impregnasi tidak berpengaruh nyata terhadap kestabilan dimensi kayu sengon
- H1: Setidaknya terdapat satu varian waktu impregnasi yang berpengaruh nyata terhadap kestabilan dimensi kayu sengon

HASIL DAN PEMBAHASAN

Weight Percent Gain & Retensi Bahan Pengawet

Oli bekas merupakan minyak yang bersifat hidrofobik atau tidak larut dalam air. Kayu sengon yang diberikan perlakuan impregnasi dengan oli bekas akan meningkatkan nilai retensi dan WPG (Arifin *et al.*, 2022). Oli bekas yang masuk ke dalam rongga sel, memberikan kesempatan udara yang berada pada rongga sel keluar sehingga oli bekas akan menempati rongga sel tersebut dan melapisi permukaan pori rongga sel. Hal ini akan membatasi penyerapan air ke dalam rongga sel kayu (Augustina *et al.*, 2023).



Gambar 2. Grafik nilai rata-rata *weight percent gain* dari berbagai lama impregnasi dengan keterangan SA (impregnasi 10 menit), SB (impregnasi 20 menit), SC (impregnasi 30 menit), SD (Impregnasi 40 menit), SE (impregnasi 50 menit), dan SF (impregnasi 60 menit).

Tabel 2. Rata-rata nilai *Weight Percent Gain* (WPG) dari perlakuan SK, SA, SB, SC, SD, SE, dan SF

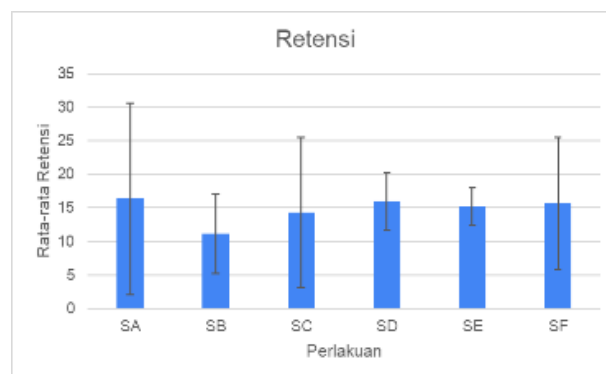
Perlakuan	Rata-rata WPG
SK	0,00 ± 0,00 ^b
SA	7,36 ± 5,48 ^a
SB	5,35 ± 2,87 ^{ab}
SC	6,85 ± 5,45 ^a
SD	7,44 ± 2,09 ^a
SE	7,05 ± 1,29 ^a
SF	7,15 ± 4,3 ^a

Keterangan:

- Nilai yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata standar deviasi dari 5 kali pengulangan yang dilakukan
- Huruf yang berbeda pada baris yang sama menggambarkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada uji ANOVA dan uji lanjut Tukey.

Weight Percent Gain (WPG) merupakan parameter stabilitas dimensi yang ditandai dengan penambahan berat pada sampel yang dinyatakan dalam persen. Semakin besar WPG, maka semakin banyak larutan oli yang masuk ke dalam kayu (Fadia, 2023).

Berdasarkan **Gambar 2**, yang menunjukkan rata-rata *weight percent gain* pada perlakuan SA sebesar 7,36%, SB 5,35%, SC 6,85%, SD 7,44%, SE 7,05%, SF 7,15%. Berdasarkan hasil analisis keragaman ($p < 0,05$) dan uji lanjut Tukey pada **Tabel 2**, didapatkan SB berada pada rentang grup yang sama dengan kontrol dan sampel SA, SC, SD, dan SE berada pada satu grup. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat satu perlakuan yang berpengaruh nyata pada besarnya nilai WPG dan terdapat perbedaan bobot sampel yang diberi perlakuan dengan sampel kontrol yang menandakan bahwa larutan oli bekas telah masuk ke dalam rongga sel kayu sengon. Namun, lama waktu impregnasi tidak SA, SC, SD, SE dan SF tidak berpengaruh terhadap nilai *weight percent gain*.



Gambar 3. Grafik nilai rata-rata retensi dari berbagai lama impregnasi dengan keterangan SA (impregnasi 10 menit), SB (impregnasi 20 menit), SC (impregnasi 30 menit), SD (Impregnasi 40 menit), SE (impregnasi 50 menit), dan SF (impregnasi 60 menit).

Tabel 2. Rata-rata nilai retensi dari perlakuan SK, SA, SB, SC, SD, SE, dan SF

Perlakuan	Rata-rata Retensi
SK	0,00 ± 0,00 ^b
SA	16,36 ± 14,26 ^a
SB	11,19 ± 5,92 ^{ab}
SC	14,34 ± 11,11 ^{ab}
SD	15,97 ± 4,29 ^a
SE	15,18 ± 2,78 ^a
SF	15,70 ± 9,82 ^a

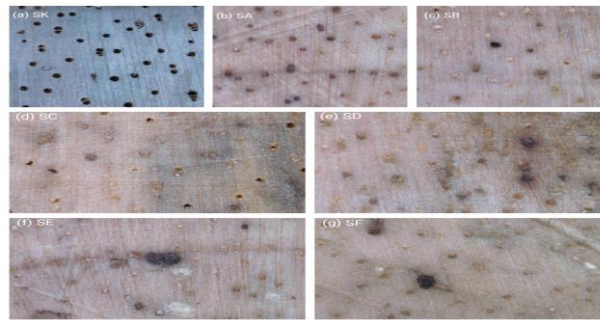
Keterangan:

- Nilai yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata standar deviasi dari 5 kali pengulangan yang dilakukan
- Huruf yang berbeda pada baris yang sama menggambarkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada uji ANOVA dan uji lanjut Tukey.

Retensi merupakan besarnya kemampuan kayu untuk menyerap larutan selama periode waktu tertentu dan dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi bahan pengawet yang digunakan (Pangestuti *et al.*, 2016). Berdasarkan **Gambar 3**, didapatkan nilai SA 16,36 kg/m³, SB 11,19 kg/m³, SC 14,34 kg/m³, SD 15,97 kg/m³, SE 15,18 kg/m³, dan SF 15,70 kg/m³. Berdasarkan hasil analisis keragaman ($p < 0,05$) dan uji lanjut Tukey pada **Tabel 3**, didapatkan SB dan SC berada pada rentang grup yang sama dengan kontrol dan sampel SA, SD, dan SE. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perlakuan yang berbeda sehingga berpengaruh nyata pada besarnya nilai retensi kayu. Dapat terlihat pula, nilai retensi sampel kayu sengon yang diberi perlakuan berbeda nyata dengan sample kontrol yang menandakan bahwa oli bekas telah memasuki rongga sel kayu. Namun, lama waktu impregnasi SA, SD dan SE tidak berpengaruh terhadap nilai retensi.

Berdasarkan **Gambar 2 dan 3**, semakin lama durasi impregnasi tidak mempengaruhi banyaknya larutan yang masuk ke dalam rongga sel. Hal ini dapat diakibatkan kurang lamanya waktu vakum sebelum diberi tekanan. Vakum mempengaruhi proses impregnasi kayu dengan cara menciptakan tekanan dalam pori-pori kayu yang memungkinkan untuk mengeluarkan udara dan air bebas pada rongga sel kayu sehingga larutan impregnasi dapat meresap dengan lebih baik ke dalam rongga sel kayu. Selain itu, oli bekas memiliki nilai viskositas yang lebih besar dari air sehingga sulit untuk menembus rongga kayu jika diberikan vakum dan tekanan yang kecil (Prihartini *et al.*, 2023).

Penetrasi Bahan Pengawet



Gambar 4. Hasil stereomikroskop pengujian penetrasi impregnasi kayu sengon dengan keterangan SA (impregnasi 10 menit), SB (impregnasi 20 menit), SC (impregnasi 30 menit), SD (Impregnasi 40 menit), SE (impregnasi 50 menit), dan SF (impregnasi 60 menit).

Penetrasi adalah kedalaman masuknya bahan pengawet pada kayu yang dinyatakan dalam satuan mm atau cm. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) pengawetan kayu untuk gedung dan perumahan, kebanyakan penetrasi yang disyaratkan adalah 5 mm. Penetrasi kayu dipengaruhi oleh anatomi kayu dan jumlah zat ekstraktif pada rongga pori-pori kayu yang dapat menghambat masuknya bahan pengawet ke dalam kayu (Krisdianto, 2015).

Berdasarkan hasil identifikasi penetrasi impregnasi kayu sengon pada **Gambar 4**, larutan pengawet oli bekas masuk secara menyeluruh pada bagian dalam sampel SA, SB, SC, SD, SE, dan SF ketika diamati dengan *stereomikroskop*. Hal ini menunjukkan bahwa waktu impregnasi selama 10 menit sudah cukup untuk memasukkan penetrasi oli bekas secara baik pada kayu sengon. Pada penelitian yang dilakukan Arifin *et al* (2022) perendaman dingin oli bekas kayu sengon terbaik pada perendaman selama 5 hari sebesar 0,4575 cm dibandingkan perendaman 3 hari dan 1 hari yang sebesar 0,3775 cm dan 0,30325 cm. Impregnasi berpengaruh nyata terhadap waktu penetrasi bahan pengawet oli bekas pada kayu sengon.

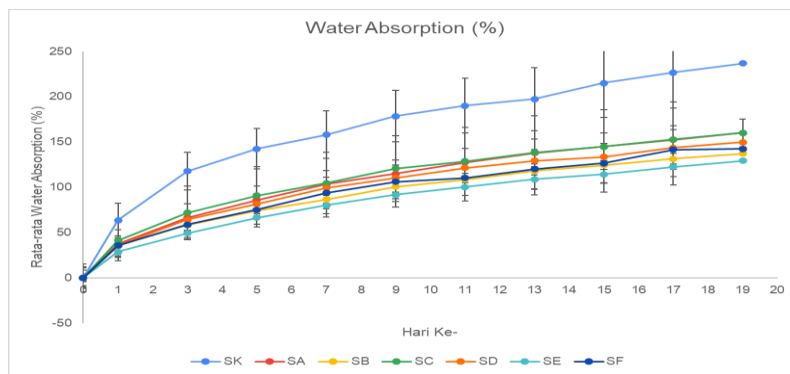


Gambar 5. Kenampakan makroskopis pengujian penetrasi impregnasi kayu sengon dengan keterangan SA (impregnasi 10 menit), SB (impregnasi 20 menit), SC (impregnasi 30 menit), SD (Impregnasi 40 menit), SE (impregnasi 50 menit), dan SF (impregnasi 60 menit).

Pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa pada pori-pori sampel kayu sengon berwarna hitam karena adanya larutan oli bekas. Berdasarkan hasil identifikasi terlihat bahwa sampel SF

memiliki pori-pori hitam yang lebih banyak dibandingkan sampel SA, SB, SC, SD, dan SE. Larutan pengawet oli bekas masuk melalui pori-pori kayu sengon karena adanya tekanan pada pengujian impregnasi vakum tekan. Menurut Ahmed *et al* (2017) impregnasi akan mempengaruhi jumlah masuknya larutan pengawet pada kayu. Semakin lama waktu impregnasi maka semakin besar nilai penetrasi larutan pengawet. Larutan pengawet oli bekas akan menggantikan air pada kayu sengon yang menguap akibat proses pengeringan. Oli bekas akan meningkatkan ketahanan kayu dari pelapukan dan pembengkakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi impregnasi oli bekas terhadap penetrasi kayu adalah lama perendaman, konsentrasi oli bekas, dan jenis kayu yang digunakan (Arifin *et al.*, 2022).

Water Absorption (WA)



Gambar 5. Grafik nilai rata-rata *Water absorption* dari berbagai waktu impregnasi dengan keterangan SK (kontrol), SA (10 menit), SB (20 menit), SC (30 menit), SD (40 menit), SE (50 menit), dan SF (60 menit).

Tabel 4. Rata-rata *water absorption* dari perlakuan SK, SA, SB, SC, SD, SE, dan SF

Hari	Water Absorption (%)						
	Kontrol	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	60 Menit
1	63,50 ± 10,81 ^a	37,68 ± 5,09 ^b	35,55 ± 4,26 ^b	41,16 ± 11,78 ^b	35,33 ± 5,74 ^b	28,78 ± 3,08 ^b	35,62 ± 8,41 ^b
3	117,65 ± 18,85 ^a	66,38 ± 9,03 ^b	58,02 ± 5,53 ^b	71,72 ± 22,10 ^b	64,07 ± 11,18 ^b	49,25 ± 5,11 ^b	58,76 ± 10,38 ^b
5	142,33 ± 20,72 ^a	85,96 ± 12,89 ^b	74,23 ± 5,92 ^b	90,86 ± 29,27 ^b	81,65 ± 14,88 ^b	66,17 ± 7,34 ^b	75,00 ± 14,04 ^b
7	157,88 ± 22,39 ^a	103,30 ± 16,44 ^b	86,51 ± 5,32 ^b	104,53 ± 31,82 ^b	99,16 ± 16,60 ^b	79,89 ± 10,06 ^b	93,70 ± 15,74 ^b
9	178,46 ± 26,30 ^a	114,78 ± 19,51 ^b	100,59 ± 4,26 ^b	120,51 ± 33,88 ^b	110,20 ± 17,85 ^b	91,73 ± 13,05 ^b	105,92 ± 17,21 ^b
11	189,94 ± 28,48 ^a	127,30 ± 16,44 ^b	108,47 ± 6,09 ^b	128,71 ± 36,11 ^b	121,18 ± 20,32 ^b	100,09 ± 13,55 ^b	110,41 ± 18,50 ^b
13	197,19 ± 30,25 ^a	137,71 ± 23,14 ^b	118,06 ± 3,50 ^b	138,36 ± 37,56 ^b	129,32 ± 20,73 ^b	108,60 ± 15,45 ^b	119,93 ± 19,29 ^b
15	215,07 ± 34,87 ^a	144,77 ± 25,89 ^b	124,37 ± 4,79 ^b	144,92 ± 40,65 ^b	133,50 ± 21,76 ^b	114,32 ± 17,29 ^b	126,42 ± 21,68 ^b
17	226,74 ± 38,06 ^a	152,43 ± 26,43 ^b	131,43 ± 5,06 ^b	152,74 ± 40,82 ^b	143,59 ± 22,87 ^b	122,45 ± 19,53 ^b	141,56 ± 21,68 ^b
19	236,58 ± 39,42 ^a	160,12 ± 28,26 ^b	137,30 ± 5,71 ^b	160,13 ± 41,25 ^b	149,75 ± 22,11 ^b	129,07 ± 19,86 ^b	142,21 ± 21,91 ^b

Keterangan:

- a. Nilai yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata standar deviasi dari 5 kali pengulangan yang dilakukan
- b. Huruf yang berbeda pada baris yang sama menggambarkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada uji ANOVA dan uji lanjut Tukey.

Water absorption (WA) atau daya serap air merupakan persentase banyaknya air yang diserap oleh sampel kayu setelah perendaman selama hari pengujian. Seiring dengan penambahan durasi waktu perlakuan pengawetan yaitu impregnasi menyebabkan penurunan tingkat daya serap air oleh kayu atau WA (Prayoga, 2020). Berdasarkan **Gambar 5** teramati nilai rata-rata dari daya serap air pada hari pengujian satu adalah pada sampel SK sebesar 63,50% dengan nilai yang lebih tinggi dari nilai daya serap air pada sampel kayu dengan perlakuan impregnasi, yaitu SA 37,68%, SB 35,55%, SC 41,16%, SD 35,33%, SE 28,78%, dan SF 35,62%. Kemudian pada pengamatan hari terakhir, nilai daya serap air pada sampel kayu tanpa perlakuan atau SK masih memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 236,58% dibandingkan dengan sampel kayu dengan perlakuan impregnasi yaitu SA 160,12%, SB 137,3%, SC 160,13%, SD 149,75%, SE 129,07%, dan SF 142,21%. Hasil analisis keragaman ($p < 0,05$) menunjukkan interaksi antara setiap perlakuan dan lama waktu perendaman berpengaruh nyata, pada **Tabel 4**. Terdapat setidaknya satu perlakuan yang berbeda yang ditunjukkan dengan adanya perbedaan grup pada sampel kontrol dan sampel perlakuan. Artinya water absorption sampel SK berbeda nyata dengan sampel perlakuan SA hingga SF namun antar perlakuan SA, SB, SC, SD, SE, dan SF tidak berbeda nyata.

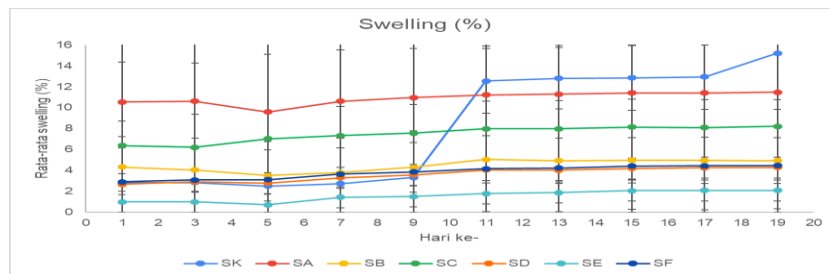
Bahan pengawet oli yang merupakan minyak yang tidak memiliki ikatan kimia dengan kayu. Minyak memiliki ukuran molekul yang besar dan bersifat hidrofobik untuk masuk ke dinding sel selama impregnasi dan menyebabkan penyerapan terjadi melalui rongga sel seperti lumen sel trakeid dan parenkim sinar. Senyawa hidrofobik seperti oli akan menyebabkan pemblokiran pori mikro dan menempati lumen sel di sepanjang jalur kapiler utama kayu, sehingga membatasi kemampuan kayu dalam penyerapan air (Agustina *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Belchinskaya *et al.* (2021), hasil pengawetan menggunakan perendaman panas dingin selama 3 hari menghasilkan nilai WA sebesar 43,9% untuk kayu tanpa perlakuan dan 14,2% untuk kayu dengan perlakuan pada pengamatan hari pertama, dan 132% untuk kayu tanpa perlakuan dan 31,4% untuk kayu tanpa perlakuan. Nilai WA pada hasil penelitian tersebut lebih baik dibandingkan dengan nilai WA pada kayu perlakuan impregnasi. Hal tersebut dapat terjadi karena waktu vakum yang

digunakan pada setiap perlakuan impregnasi SA hingga SF hanya dilakukan selama 5 menit. Berdasarkan literatur menurut Hakim *et al.* (2014) dikatakan bahwa lama waktu vakum pada proses impregnasi vakum membutuhkan lama waktu tertentu tergantung pada jumlah udara dan air bebas pada bahan, sehingga waktu vakum yang lebih lama menyebabkan pengeluaran udara dan air bebas pada sampel lebih banyak sehingga penyerapan larutan pengawet akan lebih banyak. Sehingga waktu vakum yang digunakan pada proses impregnasi SA, SB, SC, SD, SE, dan SF belum cukup lama untuk larutan menyerap pada sampel.

Stabilitas Dimensi dan *Anti-Swelling Efficiency* (ASE)

Stabilitas Dimensi



Gambar 6. Grafik persentase nilai rata-rata *Swelling* dari berbagai waktu impregnasi dengan keterangan SK (kontrol), SA (10 menit), SB (20 menit), SC (30 menit), SD (40 menit), SE (50 menit), dan SF (60 menit)

Tabel 5. Rata-rata nilai *swelling* dari perlakuan SK, SA, SB, SC, SD, SE, dan SF

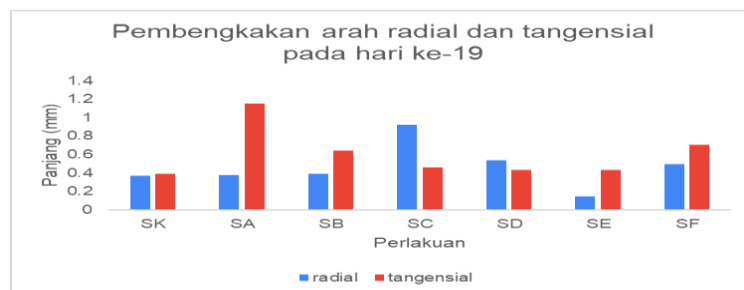
Swelling (%)							
Hari	kontrol	10 menit	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit	60 menit
1	2,84 ± 4,39 ^a	10,55 ± 3,51 ^a	4,33 ± 1,81 ^a	6,38 ± 7,97 ^a	2,68 ± 1,61 ^a	1,00 ± 5,57 ^a	2,91 ± 5,81 ^a
3	2,83 ± 4,25 ^a	10,63 ± 3,37 ^a	4,04 ± 2,12 ^a	6,21 ± 8,04 ^a	2,91 ± 1,25 ^a	0,99 ± 5,73 ^a	3,08 ± 6,31 ^a
5	2,51 ± 4,26 ^a	9,6 ± 6,06 ^a	3,51 ± 2,46 ^a	7,03 ± 8,08 ^a	2,79 ± 1,47 ^a	0,72 ± 5,63 ^a	3,11 ± 6,53 ^a
7	2,75 ± 4,34 ^a	10,62 ± 3,81 ^a	3,8 ± 2,35 ^a	7,33 ± 8,17 ^a	3,29 ± 1,57 ^a	1,43 ± 5,80 ^a	3,65 ± 6,47 ^a
9	3,33 ± 4,44 ^a	10,96 ± 3,73 ^a	4,29 ± 2,40 ^a	7,56 ± 8,12 ^a	3,58 ± 1,34 ^a	1,51 ± 73 ^a	3,85 ± 6,43 ^a
11	12,55 ± 3,09 ^a	11,21 ± 3,83 ^{ab}	5,05 ± 2,25 ^{ab}	7,98 ± 7,91 ^{ab}	4,04 ± 1,59 ^{ab}	1,79 ± 5,76 ^b	4,15 ± 6,49 ^{ab}
13	12,82 ± 2,95 ^a	11,28 ± 3,83 ^{ab}	4,93 ± 2,16 ^{ab}	7,99 ± 7,96 ^{ab}	4,02 ± 1,59 ^{ab}	1,87 ± 5,75 ^b	4,23 ± 6,43 ^{ab}
15	12,84 ± 3,10 ^a	11,4 ± 3,79 ^{ab}	4,97 ± 2,17 ^{ab}	8,15 ± 7,87 ^{ab}	4,18 ± 1,64 ^{ab}	2,07 ± 5,76 ^b	4,41 ± 6,40 ^{ab}
17	12,94 ± 3,12 ^a	11,4 ± 3,81 ^{ab}	4,96 ± 2,19 ^{ab}	8,11 ± 7,88 ^{ab}	4,26 ± 1,58 ^{ab}	2,08 ± 5,74 ^b	4,45 ± 6,32 ^{ab}
19	15,21 ± 3,36 ^a	11,48 ± 3,79 ^{ab}	4,93 ± 2,20 ^{ab}	8,21 ± 7,87 ^b	4,27 ± 1,53 ^b	2,08 ± 4,46 ^b	4,46 ± 6,32 ^b

Keterangan:

- Nilai yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata standar deviasi dari 5 kali pengulangan yang dilakukan
- Huruf yang berbeda pada baris yang sama menggambarkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada uji ANOVA dan uji lanjut Tukey.

Pemberian perlakuan modifikasi kayu berupa pengawetan impregnasi vakum tekan dengan variasi lama waktu impregnasi berpengaruh terhadap kestabilan dimensi kayu. Hasil analisis keragaman ($p < 0,05$) menunjukkan interaksi antara setiap perlakuan dan lama waktu

perendaman berpengaruh nyata setelah hari ke-11 apabila dibandingkan dengan kontrol. Dalam **Gambar 5** dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan pembengkakan (*swelling*) signifikan pada SK (kontrol) dibandingkan dengan perlakuan lain yang diberi modifikasi berupa pengawetan dengan impregnasi vakum tekan. Peningkatan persentase *swelling* pada SK (kontrol) disebabkan oleh masuknya air ke dalam rongga sel dan dinding sel kayu (Dong *et al.*, 2015). Sementara, kayu yang diberi modifikasi berupa pengawetan impregnasi vakum tekan menggunakan oli bekas dapat mempertahankan gradien pembengkakan (*swelling*) mendekati nol akibat penyerapan air hingga hari ke-19. Hal ini dapat terjadi karena impregnasi vakum tekan menggunakan oli bekas (minyak) mampu mengisi lumen dan membentuk lapisan yang stabil pada permukaan pori sehingga membatasi penyerapan air (Liu *et al.*, 2020). Akan tetapi, tidak dapat dipungkiri bahwa meskipun diawetkan dengan metode impregnasi vakum tekan dengan oli bekas, pembengkakan (*swelling*) tetap meningkat seiring dengan semakin lama kayu direndam hingga dinding sel dan rongga sel jenuh air. Hal ini dapat terjadi karena pengawet berupa minyak tidak mampu masuk atau menembus dinding sel kayu. Sebaliknya, zat-zat ini hanya dapat mengisi lumen karena sifat hidrofilik dinding sel kayu (Ermeydan *et al.*, 2014).

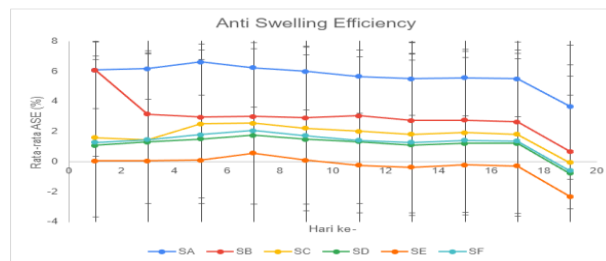


Gambar 7. Grafik nilai panjang pembengkakan (*Swelling*) dari arah radial dan tangensial pada hari ke-19 dengan keterangan SK (kontrol), SA (10 menit), SB (20 menit), SC (30 menit), SD (40 menit), SE (50 menit), dan SF (60 menit).

Kestabilan dimensi kayu sangat bergantung dari jenis kayu, umur kayu, dan komponen sel dalam kayu. Koefisien pengembangan (*swelling*) tangensial dan radial lebih sensitif daripada pengembangan longitudinalnya. Maka, koefisien pengembangan tangensial dan radial menjadi faktor terpenting untuk memperkirakan stabilitas dimensi kayu (Liu *et al.*, 2020). **Gambar 7** menunjukkan bahwa pada setiap perlakuan di hari ke-19, terdapat pola pada pengembangan tangensial yang lebih tinggi daripada pengembangan radial kecuali untuk perlakuan SC dan SD. Hal ini dapat terjadi karena jenis dan jumlah komponen sel kayu yang berbeda pada sampel tersebut. Kayu sengon dipilih dan dipotong sesuai standar yang diinginkan. Sedangkan, kayu sengon yang dari kenampakan luarnya telah rusak akibat rayap tidak akan dipilih dan dipakai sebagai sampel. Namun, rayap merupakan serangga pemakan selulosa yang dapat merusak struktur dan komposisi di dalam kayu. Selulosa dan hemiselulosa

ini merupakan komponen kayu yang paling banyak mengikat air terikat. Maka, sampel kayu yang di dalamnya terserang rayap akan berkurang kemampuannya dalam menyerap dan mengikat air terikat (Arifin *et al.*, 2022). Hal tersebut kemudian berpengaruh pada pembengkakan arah radial dan tangensial kayu. Arah tangensial memiliki dinding sel yang lebih tebal karena pengembangan sel ke arah tangensial lebih besar. Sementara, pada arah radial, terdapat sel jari-jari sebagai penyalur makanan dari hasil fotosintesis yang perpanjangannya sejajar dengan arah radial. Maka, pengembangannya akan lebih terhambat akibat adanya jadi-jari tersebut (Augustina *et al.*, 2023). Sehingga, sampel kayu yang di dalamnya terserang rayap akan mengalami pengurangan komponen serat kayu terutama pada arah tangensial dengan dinding sel yang lebih besar yang dapat lebih banyak mengikat air terikat.

Anti-Swelling Efficiency (ASE)



Gambar 8. Grafik persentase nilai rata-rata *Anti-Swelling Efficiency* dari berbagai waktu impregnasi dengan keterangan SK (kontrol), SA (10 menit), SB (20 menit), SC (30 menit), SD (40 menit), SE (50 menit), dan SF (60 menit).

Tabel 6. Rata-rata nilai *anti swelling efficiency* dari perlakuan SA, SB, SC, SD, SE, dan SF

Hari pengujian	Anti Swelling Efficiency (%)					
	10 menit	20 menit	30 menit	40 menit	50 menit	60 menit
1	6,08±2,54 ^a	6,08±5,71 ^a	1,58±5,24 ^a	1,07±6,91 ^a	0,04±6,97 ^a	1,28±6,73 ^a
3	6,15±1,97 ^a	3,16±5,92 ^a	1,43±5,72 ^a	1,28±5,98 ^a	0,03±7,35 ^a	1,44±7,39 ^a
5	6,62±2,21 ^a	2,95±5,71 ^a	2,51±4,91 ^a	1,5±6,35 ^a	0,09±6,72 ^a	1,78±6,68 ^a
7	6,23±2,62 ^a	3±5,82 ^a	2,54±5,35 ^a	1,75±6,43 ^a	0,56±6,94 ^a	2,06±6,88 ^a
9	5,99±2,53 ^a	2,91±5,7 ^a	2,21±5,47 ^a	1,47±6,14 ^a	0,08±7,03 ^a	1,71±6,73 ^a
11	5,65±2,43 ^a	3,05±5,83 ^a	2,02±5,41 ^a	1,32±6,11 ^a	0,25±7,23 ^a	1,41±6,81 ^a
13	5,49±2,42 ^a	2,72±6,11 ^a	1,8±5,37 ^a	1,08±6,07 ^a	-0,39±7,12 ^a	1,25±6,69 ^a
15	5,57±2,53 ^a	2,74±6,07 ^a	1,92±5,43 ^a	1,21±6,25 ^a	-0,22±7,16 ^a	1,41±6,8 ^a
17	5,49±2,47 ^a	2,65±6,06 ^a	1,81±5,4 ^a	1,2±6,22 ^a	-0,3±7,13 ^a	1,37±6,76 ^a
19	3,66±4,81 ^a	0,66±3,77 ^a	-0,08±7,80 ^a	-0,78±6,44 ^a	-2,32±10,07 ^a	-0,61±7,06 ^a

Keterangan:

- Nilai yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata standar deviasi dari 5 kali pengulangan yang dilakukan
- Huruf yang berbeda pada baris yang sama menggambarkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada uji ANOVA dan uji lanjut Tukey.

Nilai *anti-swelling efficiency* (ASE) digunakan untuk mengevaluasi peningkatan kestabilan dimensi pada kayu yang telah diberikan perlakuan. Semakin tinggi nilai ASE menunjukkan bahwa bahan perlakuan tersebut mampu mencegah pengembangan/pembengkakan serta membuat kayu memiliki stabilitas dimensi yang baik (Anggiraini *et al.*, 2022). Berdasarkan Gambar 8 nilai ASE hari pertama perendaman memiliki nilai sebesar 6.08% pada SA, 6,08% pada SB, 1,58% pada SC, 1.07% pada SD, 0.04% pada SE, dan 1.28% pada SF. Nilai ASE kayu sengon setelah perlakuan dengan vakum tekan menggunakan oli selama 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit menunjukkan nilai ASE yang menurun seiring lamanya waktu perendaman sampel di dalam air. Nilai ASE hari ke-19 perendaman sebesar 3.66% pada SA, 0.66% pada SB, -0.08% pada SC, -0.78% pada SD, -2.32% pada SE, dan -0.61% pada SF. Hal ini terjadi karena selama periode perendaman, lapisan hidrofobik yang menempel pada pori dapat terkikis, sehingga air mudah masuk dan kayu membengkak. Selain itu, oli yang berbahan dasar minyak termasuk ke dalam bahan impregnasi *nonbonded-leachable* (NBL) artinya bahan tersebut tidak berikatan dengan struktur kimiawi kayu sehingga bahan tersebut dapat tercuci dalam air seiring lamanya waktu perendaman (Augustina *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil analisis keragaman ($p < 0,05$) pada Tabel 6. Diperoleh bahwa lama waktu impregnasi vakum tekan oli pada sifat ASE tidak berpengaruh nyata. Hal ini dapat dilihat bahwa dari setiap data pemberian perlakuan, nilai ASE berada dalam grup yang sama.

KESIMPULAN

Variasi waktu impregnasi vakum tekan menggunakan oli bekas tidak berpengaruh nyata terhadap kestabilan dimensi kayu sengon (*Albizia chinensis*), namun menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap kayu sengon yang tidak diberi perlakuan impregnasi. Sehingga, waktu impregnasi 10 menit telah cukup berpengaruh terhadap kestabilan dimensi kayu sengon. Pada saat proses impregnasi vakum tekan diperlukan waktu vakum yang lebih lama dari 5 menit sehingga larutan oli dapat lebih banyak masuk ke dalam rongga sel kayu saat diberikan tekanan. Selain itu, penutupan arah longitudinal dengan cat harus merata sehingga pori-pori lebih tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

Augustina, S., Dwianto, W., Wahyudi, I., & Syafii, W. (2023). Wood impregnation in relation to its mechanisms and properties enhancement. *BioResources*, 18(2), 4332-4372. <https://doi.org/10.15376/biores.18.2.Augustina>

- Ahmed, S. A., Moren, T., Persson, M. S., & Blom, A. (2017). Effect of oil impregnation on water repellency, dimensional stability and mold susceptibility of thermally modified European aspen and downy birch wood. *Journal of Wood Science*, 63(2), 74-82. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1595-y>
- Anggiriani, S., Nurhanifah, N., & Sutiawan, J. (2022). The influence of microwave treatment on the characteristics of randu (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn.) wood. *Jurnal Silva Tropika*, 6(2), 75-85.
- Arifin, Z., Budiarmo, E., & Winata, B. (2022). Pengawetan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) nielsen) menggunakan oli bekas dengan metode perendaman dingin. *Jurnal Hutan Tropik*, 6(1), 38-46. <http://dx.doi.org/10.32522/ujht.v6i1.6178>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Produksi perusahaan pembudidaya tanaman kehutanan menurut jenis produksi 2019-2021. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/indicator/60/1851/1/produksi-perusahaan-pembudidaya-tanaman-kehutanan-menurut-jenis-produksi.html>.
- Belchinskaya, L., Zhuzhukin, K. V., Ishchenko, T., & Platonov, A. (2021). Impregnation of wood with waste engine oil to increase water and bio-resistance. *Forest*, 12(12), 1-14. <https://doi.org/10.3390/f12121762>
- Budiarmo, E., & Winata, B. (2022). Pengawetan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) nielsen) menggunakan oli bekas dengan metode perendaman dingin. *Jurnal Hutan Tropik*, 6(1), 38-46. <http://dx.doi.org/10.32522/ujht.v6i1.6178>
- Dong, Y., Yan, Y., Zhang, S., Li, J., dan Wang, J. (2015). Kemampuan terbakar dan sifat fisik-mekanis kayu yang diolah dengan furfural alkohol dan nano-SiO₂. *Jurnal Kayu dan Produk Kayu Eropa*, 73(4), 457-464. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0896-y>
- Ermeydan, M. A., Cabane, E., Hass, P., Koetz, J., dan Burgert, I. (2014). Modifikasi kayu yang sepenuhnya dapat terurai secara hayati untuk peningkatan stabilitas dimensi dan sifat penyerapan air dengan pencangkakan poli(ε-kaprolakton) ke dinding sel. *Green Chemistry*, 6(1), 3313-3321. <https://doi.org/10.1039/c4gc00194j>
- Fadia, S.L. (2023). *Stabilitas dimensi dan karakteristik magnetik kayu sengon terimpregnasi partikel nano magnetik (Fe₃O₄) hasil sintesis*. [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Institut Pertanian Bogor Repository. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/125100>
- Handayani, S. (2016). Analisis pengujian struktur balok laminasi kayu sengon dan kayu kelapa. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 1(18), 39-46. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v1i18i1.6693>
- Hakim, A. R., Gunawan, & Sari, R. N. (2014). Rancangan bangun alat impregnasi vakum dan uji performasinya pada filet ikan. *JPB Perikanan*, 9(1), 11-19. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v9i1.95>
- Hasanuddin. (2022). *Perubahan sifat fisik dan mekanis kayu jabon (Anthocephalus cadamba) hasil proses densifikasi pada pola penggergajian yang berbeda*. [Skripsi, Universitas Negeri Makassar]. Universitas Negeri Makassar.
- Hidayat, W., & Febrianto, F. (2018). *Teknologi modifikasi kayu ramah lingkungan: modifikasi panas dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat kayu*. Pustaka Media.
- Prihatini, E., Ismail, R., Rahayu, I. S., & Ramdhani, R. (2023). Uji performa alat vakum tekan termodifikasi untuk impregnasi kayu. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 75-82. <https://doi.org/10.14710/jplp.5.2.75-82>

- Iswanto, A, H. (2018). Sifat fisis kayu: berat jenis dan kadar air pada beberapa jenis kayu. *Jurnal Kehutanan*, 4(2), 4-5.
- Krisdianto, K, R. (2015). Sifat penyerapan bahan pengawet pada beberapa jenis kayu bangunan. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 2(1), 12-15.
- Liu, M., Tu, X., Liu, X., Wu, Z., Lv, J., dan Varodi, A. M. (2020). Studi perbandingan tentang pengaruh minyak biji rami dan perlakuan lak terhadap higroskopisitas, stabilitas dimensi dan perubahan warna kayu ash Cina. *BioResources*, 15(4), 8085-8092. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8085-8092>
- Pangestuti, E.K., Lashari, & Hardomo, A. (2016). Pengawetan kayu sengon melalui rendaman dingin menggunakan bahan pengawet enbor sp ditinjau terhadap sifat mekanik. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 1(18), 55-64. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i1.6695>
- Prayoga, S. (2020). Pengaruh durasi perlakuan panas dengan minyak (*oil heat treatment*) terhadap perubahan sifat fisis dan mekanis kayu akasia (*Acacia mangium*) dan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*). [Skripsi, Universitas Lampung]. Universitas Lampung Repository.
- Prihatini, E., Ismail,R., Rahayua, I, S., & Ramdhani, R. (2023). Uji performa alat vakum tekan termodifikasi untuk impregnasi kayu. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 75-82. <https://doi.org/10.14710/jplp.5.2.75-82>
- Rahayu, I., Darmawan, W., Nugroho, N., Nandika, D., & Marchal, R. (2014). Demarcation point between juvenile and mature wood in sengon (*Falcataria moluccana*) and jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Journal Tropical Forestry Science*, 26(3), 331-339.
- Sanberg, D. Kutnar, A. Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(1), 895-908.
- Saputra, A. D., & Sulistyono, D. (2021). Improving the physical properties of young teak wood through phenol formaldehyde compregnation. *Wood Research Journal*, 12(1), 28-34. <https://doi.org/10.51850/wrj.2021.12.1.28-34>
- Sushardi, Woesono, H,B., Hadi, S,D. (2022). Keragaman sifat anatomi kayu sengon dan kemungkinan penggunaannya sebagai bahan furniture. *Jurnal Wana Tropika*, 12(2), 70-79. <https://doi.org/10.55180/jwt.v12i02.295>.
- Widiyanto, A., & Sairudin, M. (2016). Karakteristik sifat fisik kayu jabon (*Anthocephalus cadamba miq*) pada arah longitudinal dan radial. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 104-107.