



1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kayu merupakan komposit biopolimer yang komponen utamanya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen utama ini bertanggung jawab terhadap sebagian besar sifat fisis, mekanis, dan kimia kayu (Rowell 2012). Kayu merupakan bahan baku yang penting untuk bangunan dan industri dilihat dari aspek kekuatannya, estetikanya, dan manfaatnya (Bhavikatti 2012). Meskipun demikian, kayu mempunyai beberapa kekurangan, kayu rentan terhadap perubahan dimensi yang disebabkan oleh kelembaban, yang sangat membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasinya (Kocaefer *et al.* 2015). Menurut (Hill 2006), kayu merupakan material higroskopis karena memiliki gugus hidroksil (-OH) yang bersifat menarik uap air melalui ikatan hidrogen pada polimer dinding selnya. Hal ini menyebabkan dimensi kayu akan berubah dengan perubahan kadar air dalam dinding sel. Kayu juga bersifat anisotropis kayu, yaitu perubahan dimensi kayu yang berbeda pada tiga arah orientasinya. Perubahan dimensi yang paling besar berturut-turut adalah pada arah tangensial, radial dan longitudinal. Perbedaan perubahan dimensi pada tiga arah orientasi ini yang sering menimbulkan masalah dalam penggunaannya.

Sifat lain yang dapat membatasi penggunaan kayu adalah keberadaan kayu juvenil. Kayu juvenil adalah masa *xylem* yang dibentuk pada beberapa tahun pertama (Clark *et al.* 2006). Kayu juvenil dapat mengalami penyusutan longitudinal sebesar 6 kali dari kayu dewasanya (Simulsky & Jones 2011). Kandungan 50% kayu juvenil pada mangium menunjukkan karakteristik serat yang pendek, cacat permukaan, pecah dalam (*honeycomb*) dan perubahan bentuk (*collapse*) setelah proses pengeringan (Rulliaty 2008)

Kayu-kayu cepat tumbuh di Indonesia sebagian besar berasal dari hutan rakyat dan hutan tanaman rakyat. Jenis kayu cepat tumbuh yang banyak ditanam, diantaranya sengon, jabon, afrika, mindi, pohon buah-buahan, dan lain-lain. Kayu cepat tumbuh memiliki umur tebang yang pendek sekitar 6-7 tahun. Saat ini luas hutan rakyat di Jawa Barat mencapai 314.110 ha dengan hasil produksi 1.3 juta m³ (Dinas Kehutanan Jawa Barat 2018). Berdasarkan data statistik KLHK (2019), jumlah potensi tegakan hutan di Jawa Barat dengan diameter kayu diatas 20 cm adalah 27.3% dari keseluruhan potensi di pulau Jawa. Jawa Barat memiliki luas hutan produksi sebesar 393 ribu ha atau setara 20% dari total kawasan hutan produksi Pulau Jawa (1.97 juta ha). Luasan produksi tersebut merupakan potensi yang sangat besar dalam mendukung penyediaan bahan baku kayu bagi industri kehutanan di Provinsi Jawa Barat.

Jabon merupakan salah satu spesies kayu cepat tumbuh yang banyak ditanam di hutan rakyat. Kayu jabon memiliki keunggulan yaitu pertumbuhan cepat, mudah beradaptasi pada berbagai tempat tumbuh dan perlakuan silvikultur relatif mudah. Kayu jabon termasuk kayu lunak (ringan) dengan beberapa manfaat antara lain: bahan baku kayu lapis, konstruksi ringan, lantai, pulp dan kertas, langit-langit, kotak, peti, mainan, ukiran, korek api, sumpit dan pensil. Jabon memiliki tekstur kayu agak halus sampai agak kasar, berserat lurus, kurang mengkilat dan tidak berbau. Kayu jabon memiliki berat jenis sekitar 0.42 (0.29–0.56), termasuk Kelas Kuat III- IV, dan Kelas Awet V (Martawijaya *et al.* 2005). Menurut Darmawan *et al.* (2013), pada umur kayu 7 tahun, kerapatan kayunya berkisar 250–580 kg/m³, dan memiliki 100% kayu juvenil.

Kayu ganitri merupakan jenis kayu cepat tumbuh yang mulai banyak ditanam untuk hutan rakyat di Indonesia, tidak memerlukan persyaratan tumbuh yang tinggi dan

memiliki fungsi pohon pelindung jalan raya (hutan kota) (Rahman, 2012). Pohon ganitri ini sifat kayunya agak ringan dan lunak (Siarudin & Widiyanto 2013). Kayu ini dapat digunakan untuk bahan bangunan dengan keawetan tergolong kelas awet IV (Heyne 1987). Kayu ganitri umur enam tahun asal Sukabumi memiliki berat jenis kering udara sebesar 0.35, dan termasuk ke dalam kelas kuat IV (Prihatini *et al.* 2020). Sementara menurut Laksono (2019) kayu ganitri umur 6 tahun memiliki 100% kayu juvenil.

Menurut Zhang (2004), pertumbuhan yang cepat akan memicu kerapatan kayu yang rendah, kekuatan kayu yang rendah, banyak mata kayu, dan besarnya porsi kayu juvenil. Kayu juvenil memiliki sifat-sifat yang inferior jika dibandingkan dengan kayu dewasa. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh adalah dengan modifikasi kayu.

Modifikasi kayu merupakan metode yang menjanjikan untuk peningkatan kualitas kayu cepat tumbuh. Usaha untuk memperkuat kayu solid dengan polimer telah banyak dilakukan beberapa dekade terakhir. Sistem termoplastik maupun termoseting telah digunakan dan berhasil memperbaiki beberapa sifat kayu, tetapi keduanya menunjukkan keterbatasan (Deka & Saikia, 2000). Modifikasi kayu yang selama ini banyak dilakukan adalah impregnasi dengan furfural alkohol. Furfurilasi telah berhasil meningkatkan stabilitas dimensi kayu (Lande *et al.* 2004; Esteves *et al.* 2011).

Perlakuan berbasis teknologi nano dalam modifikasi kayu memberikan peluang baru bagi peningkatan mutu kayu-kayu cepat tumbuh. *Wood polymer nano composite* (WPnC) yang menggunakan impregnasi fenol formaldehida (PF) dan montmorillonit (MMT) dapat meningkatkan stabilitas dimensi dan ketahanan terhadap api (Xue & Zhao, 2008). Shi *et al.* (2007) menyatakan campuran resin urea formaldehida (UF) dan nano-SiO₂ dapat meningkatkan sifat-sifat kayu poplar, menurunkan penyerapan air dan meningkatkan ketahanan terhadap api. Hasil penelitian Hazarika & Maji (2013) yang menambahkan nano-SiO₂ ke dalam melamin formaldehida-furfural alkohol (MFFA) menunjukkan bahwa nano-SiO₂ juga dapat mengurangi penyerapan air, meningkatkan sifat mekanis, ketahanan terhadap api, dan stabilitas termal kayu *Ficus hispida*. Nano-SiO₂ diberi perlakuan dengan FA, mengalami peningkatan kekerasan, *water uptake* dan *anti swelling efficiency* pada kayu poplar (Dong *et al.* 2014). Berdasarkan penelitian Rahayu *et al.* (2020), nano silika secara efektif dapat meningkatkan stabilitas dimensi dan kerapatan kayu sengon.

Menurut Hazarika dan Maji (2013), furfurilasi kayu mampu meningkatkan stabilitas dimensi kayu tetapi tidak membawa perubahan pada kekuatan lentur dan modulus elastisitas (MOE). Untuk memperbaikinya kemudian digunakan melamin formaldehida. Resin melamin formaldehida (MF) adalah salah satu polimer yang paling keras dan kaku yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal kayu (Gindl *et al.* 2004). Impregnasi kayu solid dengan resin MF yang larut dalam air telah menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap kekerasan permukaan dan modulus elastisitas (MOE) (Deka & Saikia 2000). Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini, akan melakukan impregnasi kayu dengan campuran melamin formaldehida furfural alkohol (MFFA) dan nano-SiO₂ untuk meningkatkan kualitas kayu jabon dan ganitri.

Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

Bagaimana perlakuan impregnasi MFFA nano-SiO₂ dapat meningkatkan meningkatkan parameter sifat fisis kayu jabon dan ganitri?

Bagaimana karakteristik kayu jabon dan ganitri hasil impregnasi?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh impregnasi campuran kopolimer Melamin Formaldehida Furfuril Alkohol (MFFA) dan nano-SiO₂ terhadap sifat fisis kayu jabon dan ganitri dan untuk menjelaskan karakteristik kayu jabon dan ganitri setelah mendapatkan perlakuan impregnasi.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah bagi peningkatan nilai guna kayu jabon dan ganitri yang telah mendapatkan perlakuan impregnasi serta mendukung pengembangan teknologi kayu berbasis nano untuk masyarakat dan industri di Indonesia. Bahan impregnasi yang dibuat diharapkan dapat digunakan sebagai bahan impregnasi yang baik untuk menghasilkan kayu yang memiliki sifat fisis yang lebih baik.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Modifikasi Kayu

Modifikasi kayu adalah istilah umum yang menggambarkan penerapan metode kimia, fisik, atau biologis untuk mengubah sifat material. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik dari kayu, menghasilkan peningkatan stabilitas dimensi, ketahanan pembusukan, ketahanan terhadap pelapukan, dan lain-lain (Hill, 2011).

Mekanisme utama dari kayu modifikasi Modifikasi kayu bisa melibatkan aktif modifikasi, yang menghasilkan perubahan sifat kimia bahan, atau modifikasi pasif, di mana perubahan dalam properti hasil tanpa mengubah kimia bahan. Paling aktif metode modifikasi diselidiki hingga saat ini telah melibatkan reaksi kimia antara pereaksi dengan polimer hidroksil dinding sel kelompok. Grup hidroksil ini memainkan kunci peran dalam interaksi kayu-air sementara secara bersamaan menjadi situs yang paling reaktif (Sanberg *et al.* 2017).

Proses Modifikasi kimiawi kayu diperlukan tempat kompilasi reaksi kimia agen terjadi dengan konstituen polimerik kayu (lignin, hemiselulosa, atau selulosa), dengan demikian menghasilkan formasi yang stabil ikatan kovalen antara reagen dan polimer dinding sel (Rowell 2012). Pemecahan, modifikasi kimia dari kayu dianggap sebagai modifikasi aktif karena itu menghasilkan perubahan kimia di polimer dinding sel.

Impregnasi kayu adalah salah satu metode modifikasi kayu yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat kayu dengan melakukan modifikasi pada tingkat dinding sel kayu dengan bahan kimia, atau kombinasi dari bahan kimia, yang membantu membentuk suatu bahan yang bersifat *bulking agent* (Hill 2006). Ini adalah proses modifikasi pasif, artinya meskipun sifat kayu dipengaruhi, tidak ada perubahan kimia. Modifikasi pasif ini termasuk di dalamnya adalah impregnasi dari dinding sel dengan monomer, yang kemudian dipolimerisasi in situ, untuk mengisi dinding sel dan lumen.

Melamin Formaldehida

Resin melamin formaldehida (MF) disintesis oleh reaksi antara melamin dan formaldehida di bawah kondisi basa (Merliene *et al.* 2013). Melamin formaldehyde (MF) adalah salah satu polimer termoset yang paling keras dan paling kaku, yang memberikan kinerja yang baik. Ini adalah resin amino dan memiliki berbagai keunggulan material, seperti transparansi, kekerasan yang lebih baik, stabilitas termal, ketahanan mendidih yang sangat baik, tahan gores, abrasi resistensi, tahan api, tahan kelembaban dan kehalusan permukaan (Bajia *et al.* 2009). Resin melamin formaldehyde (MF) telah banyak digunakan dalam modifikasi kayu karena dapat bereaksi dengan mudah dalam media asam, alkali, atau netral (Yao *et al.* 2017). Resin melamin formaldehyde (MF) adalah salah satu Polimer kuat yang dapat meningkatkan mekanis dan sifat termal kayu (Gindl *et al.* 2004).

Furfurilasi

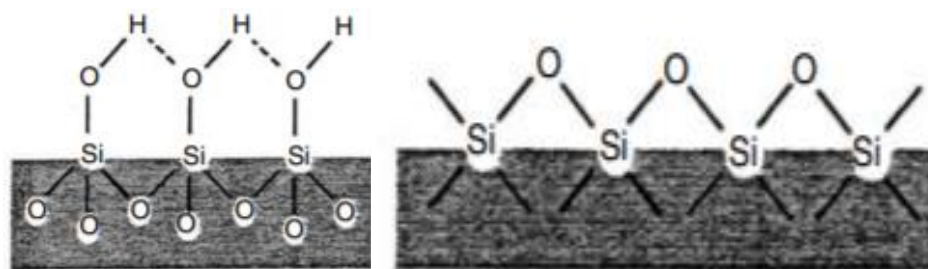
Furfurilasi adalah teknologi ramah lingkungan dan berbiaya rendah yang meningkatkan stabilitas dimensi dan sifat mekanis kayu bernilai rendah (Li *et al.* 2015). Furfuril alkohol adalah turunan dari furfural melalui *hidrotreatment* (Wang 2006).

Proses furfurilasi kayu memiliki tiga tahapan yang sudah digunakan secara luas yaitu impregnasi tekanan dalam kondisi vakum, resin curing, dan pengeringan produk (Li *et al.* 2015). Waktu curing berkisar dari beberapa jam hingga 20 jam, tergantung pada balok kayu ukuran. Namun, pH furfurilasi yang rendah menjadi masalah mempengaruhi sifat kayu karena akan mendegradasi kayu (Hazarika & Maji 2013).

Nano SiO₂

Nano-SiO₂ adalah serbuk putih yang terdiri dari silika amorf kemurnian tinggi. Karena ukuran partikelnya yang kecil, nano-SiO₂ memiliki keunggulan luas permukaan spesifik yang besar, adsorpsi permukaan yang kuat, energi permukaan yang besar, kemurnian kimia yang tinggi, dan dispersi yang baik (Zhuang & Chen 2019). Aplikasi nanosilika banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, salah satunya adalah sebagai prekursor katalis, absorben dan filter komposit (Kalapathy *et al.* 2000). Nano silika juga memiliki efek yang signifikan terhadap kekuatan mikrostruktur geopolimer (Deb 2015), sifat tarikan, tekanan dan geseran pada komposit epoksi resin (Chira *et al.* 2016).

Permukaan nano silika yang besar mengakibatkan sifat adsorpsi, adhesi, kimia, dan katalitik dari silika tergantung pada kimia dan geometri permukaannya. Silika bisa terdiri dari kelompok silanol (Si-OH), jembatan siloksan (Si-O-Si), dan air yang berikatan hidrogen yang teridentifikasi di permukaan atau dalam struktur internal amorf (Bergna 2006). Gugus -OH pada permukaan silika ini yang menjadi pusat utama adsorpsi molekul air (Zhuravlev 1993). Air dapat dikaitkan dengan ikatan hidrogen dengan semua jenis silanol permukaan dan kadang-kadang untuk kelompok silanol internal. Gugus silanol ini pada suhu tinggi bisa berubah menjadi jembatan siloksan yang stabil (Bergna 2006).



Gambar 1 Gugus silanol dan jembatan siloksan dari permukaan silika koloid (Bergna 2006)

Kayu Jabon dan Ganitri

Kayu Jabon Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.) memiliki warna kayu teras berwarna putih semu-semu kuning muda sampai kuning gading. Kayu gubal tidak dapat dibedakan dari kayu terasnya. Tekstur kayu agak halus sampai agak kasar, arah serat lurus dan kadang-kadang agak berpadu. Kayu jabon memiliki permukaan pun agak licin hingga licin, permukaan agak mengkilap hingga mengkilap. Kayu jabon memiliki pori baur yang hampir seluruhnya berganda radial yang terdiri atas 2-3 pori dengan diameter 130-220 μm , dan frekuensi 2-5 per mm^2 dengan bidang perforasi sederhana (Martawijaya *et al.* 2005).

Kayu ganitri (*Elaeocarpus sphaericus* (Gaertn.) K. Schum.) memiliki kayu teras berwarna kuning, tidak terlalu jelas bedanya dengan gubal yang berwarna putih. Corak kayu polos dan tekstur halus. Arah serat lurus sampai berpadu, kayu lunak, tidak mengkilap, dan tidak berbau. Pembuluh termasuk ke dalam penyebaran pori tata baur yang didominasi oleh sel yang bergabung radial 2-3 sel ada pula yang soliter, dan memiliki tilosis. Pori memiliki bidang perforasi sederhana dengan diameter pembuluh $101 \pm 16.94 \mu\text{m}$ termasuk agak kecil dengan frekuensi 6 ± 1 per mm^2 (Prihatini *et al.* 2020).

3 METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Divisi Teknologi Peningkatan Mutu Kayu, Departemen Hasil Hutan IPB. Laboratorium Kimia, Departemen Kimia IPB. Laboratorium Analisis Bahan, Departemen Fisika IPB. Laboratorium Hasil Hutan Terpadu, Puslitbang Hasil Hutan Bogor, sejak bulan Februari sampai dengan Agustus 2019.

Bahan dan Alat

Sampel kayu jabon dan kayu ganitri berumur 6 tahun bebas cacat berasal dari hutan rakyat di Sukabumi, Jawa Barat. Pohon yang dijadikan bahan penelitian memiliki tinggi pohon 15 meter dengan diameter sebesar 36 cm. Bahan kimia yang digunakan adalah melamin, formaldehida, furfural alkohol, NaOH, nano- SiO_2 (diameter partikel $15 \pm 5 \text{ nm}$), maleat anhidrida, kertas pH universal, dan aquades.

Alat yang digunakan adalah neraca analitik, kaliper, oven, kipas angin, somelaminnikator, alat impregnasi, *moisture meter*, *aluminium foil*, viscometer Oswald, piknometer, thermometer, FTIR, SEM, dan XRD.

Prosedur Penelitian

Persiapan Contoh Uji

Kayu jabon dan ganitri digergaji tanpa membedakan kayu teras dan kayu gubal. Ukuran sampel uji yang dipakai adalah 2cm x 2cm x 2cm untuk pengujian kerapatan, *weight percent gain* (WPG), *bulking effect*, *water uptake* (WU) dan *anti-swelling efficiency* (ASE). Masing-masing sampel dibuat 5 ulangan.

Persiapan Larutan Impregnan

Persiapan kopolimer MFFA. Metode yang dibuat mengacu kepada Hazarika dan Maji (2013) serta Yao *et al.* (2017). Melamin, formaldehida, furfuril alkohol (perbandingan mol 1:3:5) ditempatkan ke dalam labu. Langkah pertama dalam reaksinya adalah pra-reaksi melamin dan formaldehida menjadi melamin terhidroksimetilasi. Pra-reaksi dimulai ketika pH medium diatur dengan meneteskan larutan NaOH 10% sampai pH berkisar antara 9.4-9.6 dan suhu dinaikkan perlahan ke 98°C. Ketika larutan sudah bening ditambahkan furfuril alkohol. Setelah reaksi berjalan kurang lebih 10 menit, dilakukan penambahan katalis maleat anhidrat 1.5 %, dan reaksi dilanjutkan kurang lebih 10 menit. Untuk impregnasi, kopolimer MFFA ini dibuat dengan konsentrasi 50%.

Dispersi nano-SiO₂ dalam kopolimer MFFA. Metode ini mengacu kepada Hazarika & Maji (2013). Nano SiO₂ direndam dalam larutan FA selama 24 jam dengan pengadukan mekanis, kemudian disonifikasi selama 30 menit. Setelah itu, kopolimer MFFA perlahan ditambahkan ke dispersi nano SiO₂ dalam kondisi pengadukan. Campuran MFFA dan nano-SiO₂: FA menggunakan perbandingan volume 1:1. Lebih lanjut, campuran ini disonifikasi selama 15 menit. Campuran ini dibuat dengan tiga komposisi nano-SiO₂ (0.5, 1 dan 1.5%), hal ini dilakukan untuk mencari komposisi yang paling optimal untuk impregnasi kayu.

Pengujian Kualitas Kopolimer

Massa Jenis

Massa jenis diukur dengan menggunakan piknometer ukuran 10 ml yang sudah diketahui berat keringnya. Air dimasukkan ke dalam piknometer sampai penuh dan ditimbang. Selisih berat piknometer dan air merupakan volume piknometer. Sampel kopolimer dimasukkan ke dalam piknometer sampai penuh dan tidak ada gelembung udara, selanjutnya piknometer dan isinya ditimbang. Massa jenis dihitung dengan membagi berat sampel dengan volume air mengacu pada SNI 06-4567 (1998). Percobaan dilakukan 3 kali. Penentuan massa jenis ditentukan dengan rumus berikut:

$$\text{Massa jenis} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Viskositas

Pengukuran viskositas dilakukan dengan viskometer *Ostwald*. Sejumlah ekstrak dimasukkan ke dalam viskometer *Ostwald* lalu diukur waktu saat permukaan sampel berada pada batas atas sampai tepat pada batas bawah mengacu pada SNI 06-4567 (1998).

Pengukuran dilakukan tiga kali ulangan pada suhu air 27°C. Prosedur tersebut dilakukan juga terhadap air suling. Viskositas dihitung dengan rumus:

$$\eta_s = \frac{\eta_0 \cdot t_s \cdot \rho_s}{t_0 \cdot \rho_0}$$

Dengan η adalah viskositas yang dinyatakan dalam Poise, η_0 adalah viskositas air (cP), η_s adalah viskositas sampel (cP). ρ_0 adalah massa jenis air (g/cm³), t_0 adalah waktu aliran air (detik) dan t_s adalah waktu aliran sampel (detik).

Penentuan Kadar Padatan (*solid content*) dan *Curing Time* Kopolimer

Kadar padatan dilakukan berdasarkan JIS K 6833-1980 dengan menimbang 1.5 gram kopolimer, kemudian ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui bobot keringnya (W_0) dalam gram, selanjutnya cawan beserta isinya diletakkan 1 dalam oven (103 ± 2) °C, ditimbang setiap 1 jam sampai diperoleh berat konstan. Cawan dikeluarkan dan didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang (W_1) Kadar padatan ditentukan dengan rumus:

$$\text{Kadar padatan (\%)} = \frac{W_1}{W_0} \times 100\%$$

Preparasi *Wood Polymer nano-Composite* (WPnC)

Proses ini merupakan proses furfurilasi. Proses furfurilasi terdiri dari tiga langkah yaitu impregnasi, polimerisasi, dan pengeringan. Impregnasi dilakukan dengan mengadaptasi dari metode Hazarika dan Maji (2013). Pada penelitian ini, sampel kayu jabon dan ganitri yang sudah dioven, diukur dan ditimbang. Sampel kayu yang terdiri dari sampel kontrol dan sampel yang mendapat perlakuan dimasukkan dalam wadah yang berbeda, kemudian dituangkan larutan impregnannya dan dimasukkan dalam tabung impregnasi. Impregnasi dibuat dengan perlakuan vakum 0.5 bar selama 1 jam, dilanjutkan dengan tekanan 2 bar selama 2 jam. Proses polimerisasi dilakukan dengan cara sampel kayu dibersihkan sisa impregnasi yang masih menempel pada bagian luar, kemudian dibungkus dengan *aluminium foil* dan dioven dengan suhu 90 °C selama 24 jam. Untuk proses pengeringan, setelah *aluminium foil* dibuka, sampel dioven kembali dengan suhu 103 ± 2 °C selama 24 jam. Sampel yang telah dioven diukur dimensi dan ditimbang berat untuk melakukan penentuan kerapatan, WPG, BE, WU dan ASE.

Perhitungan *Weight Percent Gain* (WPG), *Anti-Swelling Efficiency* (ASE), *Bulking Effect* (BE), *Water Uptake* (WU) dan kerapatan dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{WPG (\%)} = [(W_1 - W_0) / W_0] \times 100$$

$$\text{ASE (\%)} = [(S_u - S_t) / S_u] \times 100$$

$$\text{WU (\%)} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

$$\text{BE (\%)} = [(V_1 - V_0) / V_0] \times 100$$

$$\rho \text{ (g/cm)} = B/V \times 100$$

Keterangan:

W_0	: Berat kering tanur sampel sebelum perlakuan impregnasi (g)
W_1	: Berat kering tanur sampel setelah perlakuan impregnasi (g)
W_2	: Berat sampel setelah direndam air selama 24 jam (g)
V_0	: Volume kering tanur sebelum perlakuan impregnasi (cm^3)
V_1	: Volume kering tanur setelah perlakuan impregnasi (cm^3)
S_u	: Susut volume dari sampel kontrol (yang direndam dalam air pada suhu kamar selama 24 jam)
S_t	: Susut volume sampel yang telah diberi perlakuan impregnasi
B	: Berat sampel sebelum atau setelah perlakuan impregnasi (g)
V	: Volume sampel sebelum atau setelah perlakuan impregnasi (cm^3)

Prosedur Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan yaitu rancangan acak lengkap (RAL) sederhana dengan 1 faktor yaitu faktor variasi perlakuan yang divariasi dengan 4 taraf yaitu MFFA, MFFA-nanoSilika 0.5%, MFFA-nano Silika 1% dan MFFA-nano Silika 1.5%. Pengujian dilakukan menggunakan program perhitungan IBM SPSS Statistics (*Statistical Package for Service Solutions*) versi 25.0 dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada $\alpha = 5\%$ apabila terdapat perbedaan nyata

Model persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Sastrosupadi 2000):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

i	= 1, 2, ... t dan $j = 1, 2, \dots r$
Y_{ij}	= respon atau nilai pengamatan dari perlakuan konsentrasi larutan ke-i dan ulangan ke-j
μ	= rata-rata umum
τ_i	= pengaruh perlakuan ke-i
ϵ_{ij}	= pengaruh galat percobaan dari perlakuan konsentrasi larutan ke-i dan ulangan ke-j.

Karakterisasi Kayu Jabon Hasil Impregnasi

Penentuan keberadaan campuran MFFA dan partikel nano-SiO₂ di dalam kayu Jabon dilakukan dengan dengan alat FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometry*), XRD (*X-ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy-dispersive X-ray Spectroscopy*).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Kopolimer

Hasil pengujian kopolimer dapat diketahui kualitasnya yaitu massa jenis, viskositas, kadar padatan dan *curing time* nya. Menurut Yao *et al.* (2017) kriteria untuk optimalisasi formulasi MF modifikasi furfural alkohol adalah viskositas larutan pra-reaksi tidak boleh terlalu tinggi. Hasil penelitian Yao *et al.* (2017) menunjukkan nilai viskositas 13 cP masih mudah terabsorpsi ke dalam kayu. Waktu pengeringan harus dalam kisaran 4 jam hingga

8 jam untuk pembuatan yang mudah dan cepat. Dari hasil uji kualitas (Tabel 1) diperoleh bahwa, baik kopolimer MFFA tanpa nano maupun dengan nano memiliki *curing time* yang sama yaitu 6 jam, kecuali yang penambahan nanoSiO₂ nya 1.5% membutuhkan waktu 7 jam. Massa jenis kopolimer naik dengan penambahan nano dan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi nano SiO₂. Viskositas juga mengalami kenaikan seiring kenaikan presentase jumlah nano-SiO₂ nya. Viskositas cairan mengalami kenaikan yang signifikan pada MFFA yang ditambahkan nano-SiO₂ 1.5%. Dari penampakan visual MFFA yang ditambahkan nano SiO₂ 1.5% mulai terjadi gelasi setelah dilakukan sonikasi.

Tabel 1 Hasil pengujian kualitas kopolimer

Jenis	Massa jenis (g/cm ³)	Viskositas (cP)	<i>Solid content</i> (%)	<i>Curing time</i> (jam)
MFFA	1.15	3.70	19.79	6
MFFA nano-SiO ₂ 0.5%	1.16	7.31	21.68	6
MFFA nano-SiO ₂ 1%	1.17	8.34	22.70	6
MFFA nano-SiO ₂ 1.5%	1.20	63.85	39.98	7

Efek Perlakuan Impregnasi MFFA nano-SiO₂ Pada Kayu Jabon dan Ganitri

Impregnasi menggunakan kopolimer MFFA berhasil meningkatkan parameter sifat fisisnya yang meliputi kerapatan, *weight percent gain* (WPG), *bulking effect* (BE), *water uptake* (WU), dan *anti-swelling efficiency* (ASE) ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai kerapatan kayu jabon meningkat, hal ini sejalan dengan meningkatnya nilai WPG. Semakin tinggi nilai WPG, maka kerapatan kayu jabon akan semakin tinggi. Peningkatan nilai WPG juga berbanding lurus dengan nilai BE. Hazarika & Maji (2013) menyatakan bahwa ketika kayu diisi dengan MFFA, polimer akan mengisi lumen dan dinding sel kosong sehingga menghasilkan peningkatan kerapatan, WPG, ASE, BE, dan turunnya WU. Hal ini sejalan dengan penelitian Yao *et al.* (2017) yang menunjukkan bahwa impregnasi dengan melamin formaldehida yang dimodifikasi dengan furfural alkohol berhasil meningkatkan kerapatan dan WPG. Adanya penambahan nano-SiO₂ dalam MFFA juga terbukti mampu meningkatkan parameter sifat fisisnya (jika dibandingkan dengan tanpa penambahan nano-SiO₂). Menurut Hazarika & Maji (2013), semakin tinggi konsentrasi nano-SiO₂, semakin tinggi pula nilai parameter sifat fisisnya. Nano-SiO₂ akan mengisi ruang kosong kayu sehingga mengurangi kapasitas penyerapan airnya. Pada kayu jabon dengan penambahan nano-SiO₂ 0.5% dan 1%, terjadi peningkatan parameter sifat fisisnya, tetapi pada konsentrasi nano-SiO₂ 1.5% terjadi penurunan. Penurunan nilai parameter sifat fisis pada campuran kemungkinan disebabkan terjadinya perubahan bentuk campuran kopolimer menjadi gel sehingga kurang dapat terpenetrasi ke dalam sel-sel kayu. Berdasarkan hasil uji kualitas kenaikan viskositasnya juga tinggi. Viskositas yang tinggi ini diduga menyebabkan berkurangnya serapan cairan oleh kayu, sebagaimana hasil penelitian Gavrilovic-Grmusica *et al.* (2012) yang menyatakan kenaikan viskositas resin UF menyebabkan berkurangnya serapan perekat oleh kayu. Xu (2020) menyatakan bahwa molekul besar memiliki viskositas tinggi yang juga menghambat penetrasi resin. Menurut Milea *et al.* (2011) dengan perubahan pH dan jarak antar partikel

yang dekat karena terjadi penguapan pelarut, muatan permukaan akan berkurang dan gelasi akan berlangsung.

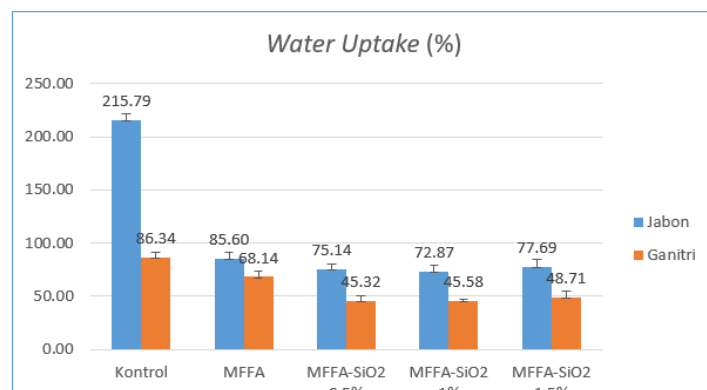
Hasil pengujian kayu ganitri (Gambar2) juga memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan kayu jabon, dimana impregnasi dengan MFFA dan MFFA nano-SiO₂ mampu meningkatkan parameter sifat fisisnya. Nilai parameter sifat fisis kayu ganitri yang diimpregnasi MFFA-nano SiO₂ lebih tinggi dibanding tanpa nano-SiO₂. Hanya saja kenaikan konsentrasi nano-SiO₂ tidak berbanding lurus dengan kenaikan parameter sifat fisisnya, pada konsentrasi 0.5% nilainya naik, tetapi turun lagi pada konsentrasi 1 dan 1.5%, bahkan pada nilai ASE kadar 1.5%, meskipun masih lebih tinggi kenaikan parameter sifat fisisnya, tetapi tidak berbeda nyata dengan kayu yang diimpregnasi dengan MFFA saja. Fenomena ini kemungkinan disebabkan ukuran sel ganitri yang lebih kecil dibandingkan jabon, sehingga lebih susah cairan masuk ke dalam sel. Menurut Martawijaya *et al.* (2005), diameter pori jabon 130-220 μm , dan jumlah pori 2-5 per mm^2 , sementara ganitri diameter porinya 84.06-117.94 μm dengan jumlah pori 5-7 per mm^2 (Prihatini *et al.* 2020). Hal ini sesuai dengan Xu (2010) yang menyatakan pada dasarnya impregnasi kayu adalah proses perpindahan air atau udara dalam makropori dan digantikan oleh resin, sehingga ukuran selnya akan berpengaruh.



Gambar 2 Grafik Pengujian Sifat Fisis (WPG, BE, kerapatan, dan ASE) Jabon dan Ganitri

Peningkatan nilai WPG, BE, kerapatan dan ASE ini berbanding terbalik dengan WU. Hal ini diduga karena lapisan impregnan akan menurunkan kemampuan kayu menyerap air. Kopolimer MFFA dan yang ditambahkan nano-SiO₂ berhasil melapisi permukaan sel sehingga kemampuan kayu untuk menyerap air berkurang cukup banyak, hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kayu untuk mengembang. Penambahan nano-SiO₂ juga mampu mengurangi kemampuan menyerap air, akan tetapi dengan naiknya konsentrasi nano-SiO₂ tidak berbanding lurus dengan penurunan kemampuan kayu untuk menyerap air meskipun masih lebih rendah jika dibanding dengan kayu yang hanya diimpregnasi MFFA saja. Hal ini berlaku pada kayu jabon maupun kayu ganitri. Persentase turunnya kemampuan kayu yang mendapat perlakuan untuk menyerap air lebih

besar jabon daripada ganitri, salah satunya disebabkan karena berdasarkan nilai WPG (Gambar 2) lebih banyak MFFA nano-SiO₂ yang terserap oleh jabon dibanding ganitri.



Gambar 3 Grafik Pengujian *Water Uptake* Jabon dan Ganitri

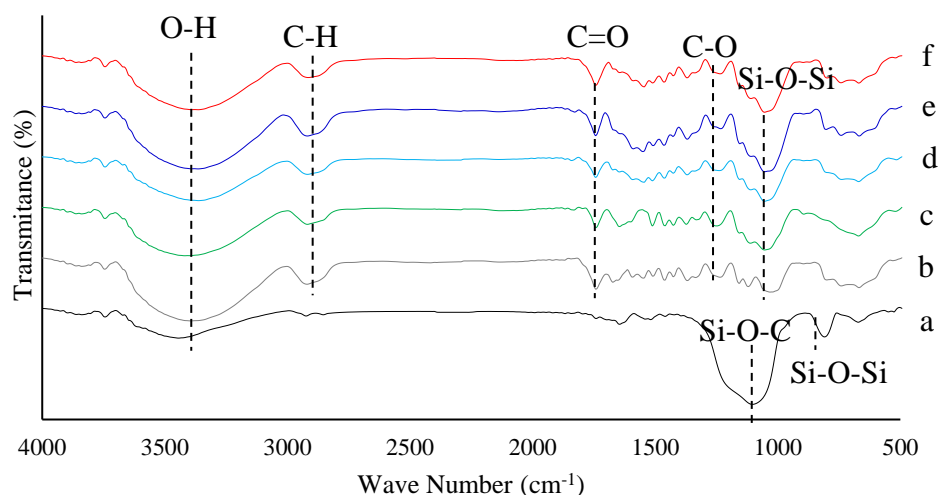
Hasil analisa statistik menunjukkan kayu jabon dan ganitri yang dimpregnasi dengan kopolimer MFFA yang ditambahkan nano-SiO₂ nilainya berbeda nyata dibanding dengan tanpa perlakuan nano-SiO₂. Kayu jabon yang mengalami kenaikan nilai parameter sifat fisis paling tinggi adalah kayu yang diimpregnasi MFFA nano-SiO₂ 1%. Sementara kayu ganitri kenaikan parameter fisis paling tinggi dengan nano SiO₂ 0,5%. Meskipun demikian, berdasarkan hasil analisis statistik dengan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata pada ketiga konsentrasi nano-SiO₂ untuk kayu jabon dan ganitri, kecuali ASE ganitri dengan nano SiO₂ 1,5% tidak berbeda nyata dengan MFFA.

Uji FTIR

Spektrum FTIR nano-SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 4 (Grafik a). Dari grafik tersebut terlihat spektrum nano SiO₂ memiliki 3 puncak yaitu 800 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi siloksan (Si-O-Si), 1034 cm⁻¹ merupakan gugus Si-O-C, dan gugus silanol (Si-OH) pada kisaran 3063 – 3673 cm⁻¹. Keberadaan gugus silanol (Si-OH) ini sesuai dengan Launer (2013) yang menyatakan bahwa silanol memiliki puncak serapan pada kisaran bilangan gelombang 3200-3400 cm⁻¹ dan puncak paling tajam pada bilangan gelombang 3690 cm⁻¹. Gugus siloksan (Si-O-Si), memiliki puncak di panjang gelombang 810 cm⁻¹ ini sesuai dengan penelitian Raabe *et al.* (2018).

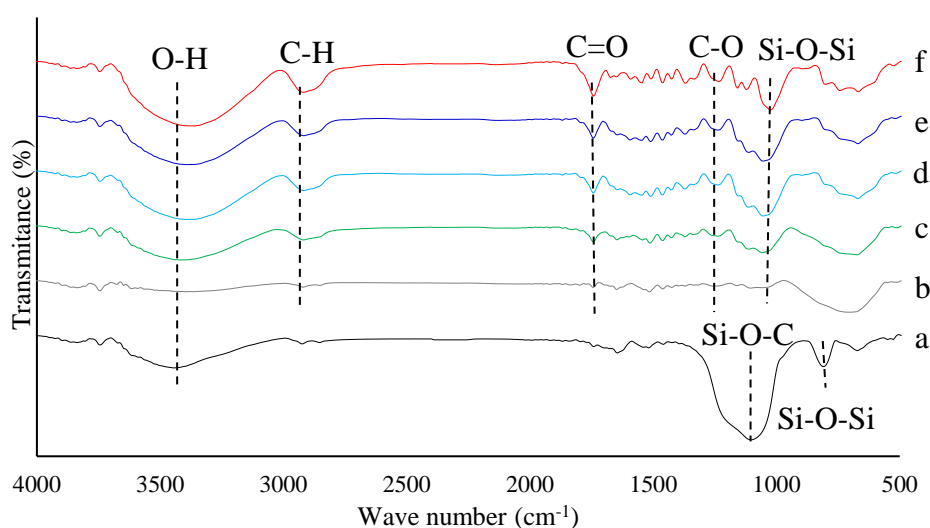
Hasil uji FTIR kayu jabon tanpa perlakuan (Grafik b) ditandai dengan pita serapan pada 3425 cm⁻¹ (–OH *stretching*), 2916 dan 2843 cm⁻¹ (–CH₂ *asimetric stretching*), 1744 cm⁻¹ (C=O *stretcing*), 1666 cm⁻¹ untuk (–OH *bending*), 1026 cm⁻¹ (C–O *stretching*). Adanya nano-SiO₂ (Grafik d-f) dalam komposit menyebabkan terjadinya penurunan intensitas gugus hidroksil (–OH) dan gugus karbonil. Intensitas puncak pada gugus –CH dari kayu hasil perlakuan lebih rendah dibandingkan tanpa perlakuan. Intensitas gugus karbonil juga menurun karena pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil pada permukaan silika (Montaung&Luyt 2010). Untuk gugus Si-O-Si, terbentuk puncak pada bilangan gelombang yang berbeda. Pada kayu, gugus Si-O-Si memiliki puncak pada bilangan gelombang 1018 cm⁻¹ (*asymeric stretching*) (Coates, 2006). Pergeseran puncak ke bilangan gelombang yang lebih tinggi mengindikasikan adanya interaksi antara nano-SiO₂ dengan kayu. Menurut Lie *et al.* (2015) pergeseran kearah bilangan yang lebih besar terjadi ketika ukuran partikel meningkat. Ikatan hidrogen dengan gugus siloksan (Si-O-

Si) menyebabkan berkurangnya gugus hidroksil. Pergeseran bilangan gelombang ke arah yang lebih besar mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil digantikan oleh gugus Si-O-Si. Hal ini menyebabkan kayu berkurang kemampuannya untuk menyerap air. Hasil permodelan nano silika dan serat meta-aramid yang dilakukan Yang *et al.* (2017) menunjukkan bahwa jumlah total ikatan hidrogen dari model campuran meningkat dengan adanya doping oleh nano-silika. Masuknya gugus Si-O-Si juga menambah berat kayu sehingga WPG dan kerapatannya juga akan bertambah. Dari hasil pengujian *solid content* juga terlihat bahwa penambahan nano-SiO₂ meningkatkan kadar padatnya.



Gambar 4 Spektrum FTIR Jabon : (a) nano SiO₂, (b) Tanpa perlakuan, (c) MFFA, (d) MFFA nano-SiO₂ 0.5%, (e) MFFA nano-SiO₂ 1% dan (f) MFFA nano-SiO₂ 1.5%

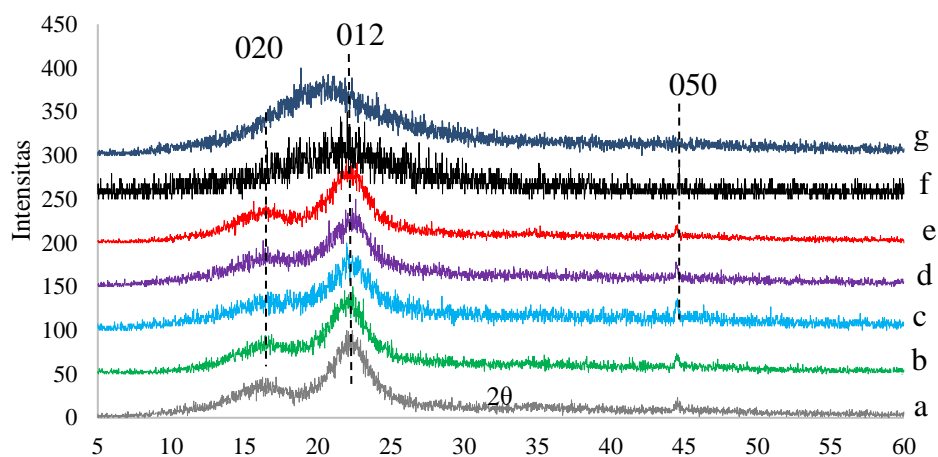
Hasil FTIR kayu ganitri (Gambar 5) juga memiliki kecenderungan yang sama, dari grafik terlihat bahwa nano silika mempengaruhi serapan spektrum dari kayu, terutama di daerah serapan silika yaitu dengan munculnya serapan yang lebih besar di bilangan gelombang 3000-3600 cm⁻¹ (Si-OH), dan 1031 cm⁻¹ (Si-O-Si).



Gambar 5 Spektrum FTIR ganitri : (a) nano SiO₂, (b) Tanpa perlakuan, (c) MFFA, (d) MFFA nano-SiO₂ 0.5%, (e) MFFA nano-SiO₂ 1% dan (f) MFFA nano-SiO₂ 1.5%.

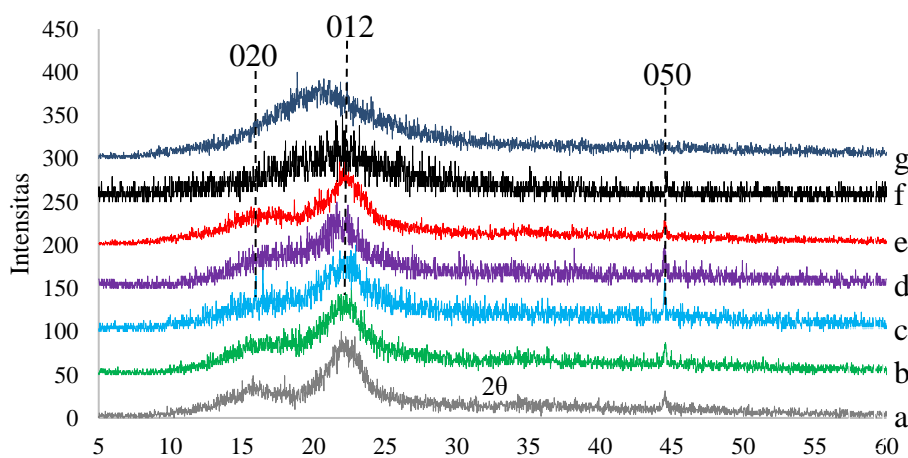
Uji XRD

Dari kurva XRD yang ditunjukkan pada Gambar 6, kayu tanpa perlakuan memperlihatkan puncak yang lebih tajam sehingga nilai kristalinitasnya tinggi (a). Kayu tanpa perlakuan menunjukkan puncak difraksi yang luas pada 2θ 22.84° dengan bidang kristal selulosa 012. Dua puncak kecil tambahan muncul pada 2θ 16° dan 44.54° dengan masing-masing bidang kristal 020 dan 050. Setelah diberi perlakuan MFFA dan MFFA nano-SiO₂ terjadi penurunan intensitas puncak (b-e). Pada kayu jabon dengan perlakuan MFFA-nanoSiO₂ 0.5%, pada sudut 2θ sebesar 16° grafik cenderung datar. Hal ini mengindikasikan penurunan kristalinitas selulosa kayu. Grafik memperlihatkan nano SiO₂ dan MFFA memiliki puncak difraksi yang luas, hal ini menunjukkan keduanya amorf (f) dan (g).



Gambar 6 Hasil XRD jabon (a) Tanpa perlakuan, (b) MFFA, (c) MFFA nano-SiO₂ (0.5%), (d) MFFA nano-SiO₂ (1%), (e) MFFA nano-SiO₂ (1.5%), (f) nano-SiO₂ dan (g) MFFA

Grafik XRD untuk kayu ganitri pada Gambar 7 juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Nano silika berhasil menurunkan indeks kristalinitas dari selulosa.



Gambar 7 Hasil XRD ganitri (a) Tanpa perlakuan, (b) MFFA, (c) MFFA nano-SiO₂ (0.5%), (d) MFFA nano-SiO₂ (1%), (e) MFFA nano-SiO₂ (1.5%), (f) nano-SiO₂, dan (g) MFFA

Hasil Pengujian Derajat Kristalinitas

Derajat kristalinitas ditunjukkan pada Tabel 2. Selulosa dari kayu jabon dan ganitri memiliki derajat kristalinitas yang berbeda, dimana derajat kristalinitas jabon lebih tinggi dibanding ganitri. Selulosa kayu jabon dan ganitri tanpa perlakuan sama-sama menunjukkan derajat kristalinitas paling tinggi. Derajat kristalinitas paling rendah ditunjukkan dari kedua sampel kayu juga sama yaitu kayu yang diperlakukan dengan MFFA nano-SiO₂ 0.5%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Hazarika & Maji, 2013) yang menyatakan bahwa impregnasi nano silika dengan kopolimer MFFA dapat menurunkan derajat kristalinitas selulosa. Hasil penelitian Raabe *et al.* (2018) juga menyatakan bahwa pelapisan permukaan serat dengan nano silika menurunkan derajat kristalinitas sebesar 15%. Hasil penelitian Tang *et al.* (2017) menunjukkan bahwa penambahan SiO₂ meningkatkan pembentukan ikatan hidrogen antar muka dengan serat. Peningkatan pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus Si-O-Si ini menyebabkan gugus hidroksil berkurang. Shiraishi *et al.* (1979) melaporkan bahwa reaksi pencangkakan kimia terjadi di daerah amorf selulosa kayu. Polimer bereaksi pada permukaan kristalit sehingga membuka beberapa rantai selulosa yang terikat hidrogen, sehingga lebih banyak selulosa amorf diproduksi. Penurunan derajat kristalinitas mengindikasikan terbentuknya ikatan hidrogen antara silika dan kayu, sehingga gugus hidroksilnya akan berkurang. Hal ini sejalan dengan hasil FTIR. Penurunan indeks kristalinitas akan meningkatkan nilai parameter sifat fisis kayu jabon. Untuk kayu jabon dan ganitri yang mendapat perlakuan MFFA nano-SiO₂ 1.5% memperlihatkan derajat kristalinitas yang lebih besar dari yang mendapat perlakuan MFFA dan MFFA nano-SiO₂ (0.5 dan 1%). Hal ini kemungkinan karena proses gelasi yang mengakibatkan kopolimernya lebih sulit terpenetrasi ke dalam kayu. Meskipun demikian, derajat kristalinitas masih lebih kecil jika dibandingkan kayu tanpa perlakuan.

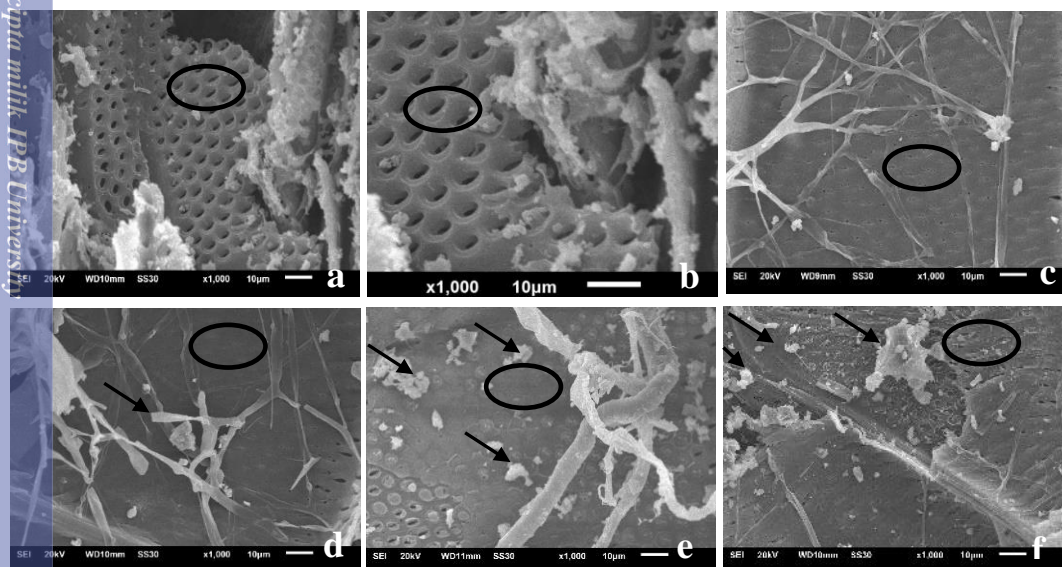
Tabel 2 Hasil pengujian indeks kristalinitas kayu

Perlakuan	Derajat Kristalinitas (%)	
	Jabon	Ganitri
Tanpa Perlakuan	28.99	22.57
MFFA	23.42	16.83
MFFA nano-SiO ₂ 0.5%	19.79	13.91
MFFA nano-SiO ₂ 1%	19.99	15.51
MFFA nano-SiO ₂ 1.5%	23.56	20.17
Nano Silika	21.17	21.17

Hasil Pengujian SEM

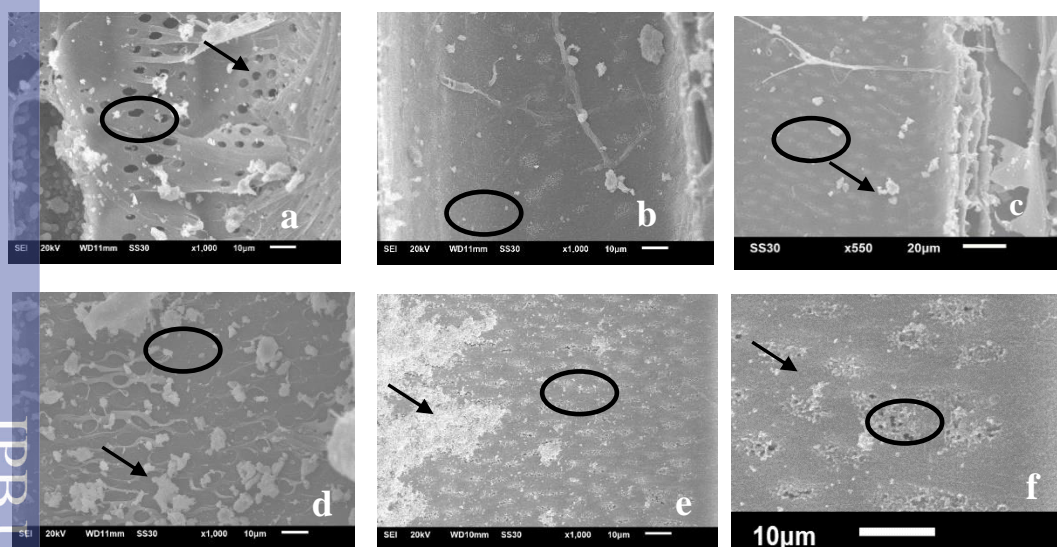
Gambar 8 menunjukkan mikrograf elektron sampel kayu jabon tanpa perlakuan dan yang mendapat perlakuan. Dari gambar terlihat bahwa kayu yang tidak mendapat perlakuan nampaknya terlihat berlubang berarti memiliki ruang kosong dan dinding sel kosong ditunjukkan pada Gambar 8 (a) dan (b). Proses impregnasi menyebabkan masuknya bahan impregnasi ke dalam sel kayu. Keberadaan endapan polimer di dinding sel dan noktah dapat dilihat pada sampel kayu dengan perlakuan MFFA ditunjukkan pada Gambar 8 (c) maupun pada kayu yang mendapat perlakuan MFFA nano-SiO₂ (d-f).

Noktah yang sebelumnya ada ruang kosong, setelah mendapat perlakuan MFFA menjadi tertutup secara merata. Indikasi adanya nano-SiO₂ dapat dideteksi oleh beberapa endapan putih yang terletak di dinding sel dan noktah antar sel kayu jabon setelah diimpregnasi MFFA nano-SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 8 (d – f). Nano-SiO₂ dapat masuk ke dalam noktah, menempel, bahkan menutupi hampir semua dinding pori pada kayu jabon tersebut. Pada gambar terlihat, dengan bertambahnya nano-SiO₂ endapan putih terlihat lebih banyak ditunjukkan pada Gambar 8 (d – f).



Gambar 8 Hasil SEM penampang tangensial kayu jabon (1000x): (a,b) Tanpa perlakuan, (c) MFFA, (d) MFFA nano-SiO₂ 0.5%, (e) MFFA nano-SiO₂ 1%, dan (f) MFFA nano-SiO₂ 1.5%.

Hasil SEM untuk kayu ganitri pada Gambar 9 menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan jabon, dimana penambahan nano-SiO₂ memperlihatkan banyaknya titik Si dalam gambar. Gambar 9 memperlihatkan banyaknya silika yang menempel dipermukaan sel kayu, tetapi tidak menutupi semua permukaan noktah yang ada. Pada Gambar 9(e) terlihat noktah dari sel kayu ganitri masih terlihat.



Gambar 9 Hasil SEM penampang tangensial kayu ganitri (1000x): (a) Tanpa perlakuan, (b) MFFA, (c) MFFA nano-SiO₂ 0.5%, (d) MFFA nano-SiO₂ 1%, dan (e,f) MFFA nano-SiO₂ 1.5%.

Informasi tambahan yang didapatkan dari analisis dengan SEM adalah data EDX, yang dijelaskan pada Tabel 3. Hasil analisis EDX dari kayu jabon dan ganitri yang terimpregnasi MFFA yang ditambahkan nano-SiO₂ menunjukkan adanya kandungan silika. Kadar silika dalam kayu yang diimpregnasi MFFA nano-SiO₂, mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan persentase nano-SiO₂ nya.

Tabel 3 Hasil pengujian EDX

Perlakuan	Kadar Silika (% massa)	
	Jabon	Ganitri
MFFA nano-SiO ₂ 0.5%	0.30	0.23
MFFA nano-SiO ₂ 1%	0.42	0.32
MFFA nano-SiO ₂ 1.5%	0.60	0.89

5 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Sampel kayu jabon dan ganitri dapat diimpregnasi dengan kopolimer MFFA dan nano-SiO₂ dalam kondisi vakum dan tekan. Impregnasi kayu dengan kopolimer MFFA dan nano-SiO₂ dapat meningkatkan nilai parameter sifat fisis kayu jabon dan ganitri, yaitu kenaikan kerapatan, WPG, BE, ASE, dan penurunan WU. Impregnasi kopolimer MFFA dan nano-SiO₂ dipengaruhi oleh sel penyusun kayu dan ukuran selnya.

Karakterisasi hasil impregnasi MFFA dan nano-SiO₂ dilakukan dengan FTIR, XRD, dan SEM. Pada FTIR, pergeseran puncak ke bilangan gelombang pada nano-SiO₂ mengindikasikan adanya interaksi antara nano-SiO₂ dengan kayu. Hasil analisis XRD membuktikan adanya penurunan kristalinitas selulosa kayu dengan impregnasi kopolimer MFFA dan nano-SiO₂. Adanya polimer MFFA dan nano-SiO₂ di dinding sel kayu dan lumen sel terlihat dengan pengujian SEM. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis dan karakterisasi dengan FTIR, XRD dan SEM, menunjukkan bahwa penambahan nano-SiO₂ 0.5% dalam kopolimer MFFA merupakan konsentrasi yang optimum untuk impregnasi kayu jabon dan ganitri.

Saran

Penelitian yang lebih mendalam tentang impregnasi MFFA nano-SiO₂ perlu dilakukan, diantaranya:

1. Perbandingan mol yang optimum antara melamine, formaldehida dan furfural alkohol juga perlu dilakukan.
2. Pengaruh yang lebih luas kopolimer terhadap uji sifat mekanis kayu.
3. Perlu dilakukan uji pengaruh MFFA nano-SiO₂ ini terhadap sudut kontak pada kayu.
4. Perlu dilakukan kajian tentang emisi formaldehida karena kopolimer yang dibuat salah satu bahannya adalah formaldehida.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajia, S., Sharma, R., & Bajia, B. (2009). Solid-state microwave synthesis of melamine. *Journal of Chemistry*, 120-124.
- Bergna HE. (2006). Colloid Chemistry of Silica: An Overview in a Book of Coloidal Silica. Fundamental Application. Taylor and Francis Grup, LLC.
- Bhavikatti, SS. (2012). Building Materials. Vikas Publishing House. New Delhi
- Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblova, L., Skapin, A., & Hajek, P. (2016). Property improvement of alkali resistant glass fibres/epoxy composite nanosilica for textile reinforced concrete applications. *Materials & Design*, 146-155.
- Clark, A., Daniels, R. F., & Jordan, L. (2006). Juvenile/mature wood transition in loblolly pine as defined by annual ring specific gravity, proportion of latewood, and microfibril angle. *Wood and Fiber Science*, 38(2): 292-299.
- Coates, J. (2006). Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. John Wiley & Son.
- Darmawan, W., Nandika, D., Rahayu, I., Fourier, M., & Marchal, R. (2013). Determination of Juvenile and Mature Transition Ring for Fast Growing Sengon and Jabon Wood. *Journal of Indian Academy of Wood Science*, 39-47.
- Deb, P., Sarker, P., & Barbhuiya, S. (2015). Effects of nano-silica on the strength development of geopolymer cured at room temperature, Construction and Building Materials. *Construction and Building Materials*, 675-683.
- Deka, M., & Saikia, C. (2000). Chemical modification of wood with thermosetting resin :Effect on dimensional stability and strength property. *Bioresource Technology*, 179-181.
- Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat. (2018). *Statistik Kehutanan Jawa Barat*. Bandung: Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat.
- Dong, Y., Yan, Y., Zhang, S., & Li, J. (2014). Wood/polymer nanocomposites prepared by impregnation with furfuryl alcohol and nano SiO₂. *BioResources*, 6028-6040.
- Esteves, B., Nunies, L., & Pereira, H. (2011). Properties of Furfurilated Wood (Pinus pinaster). *Eur, Journal Wood Prod*, 69(4), 521-525.
- Gavrilovic-Grmusica I. Dunky M. Miljkovic J. Djiporovic-Momcilovic M. 2012. Influence of the viscosity of UF resins on the radial and tangential penetration into poplar wood and on the shear strength of adhesive joints. *Holzforschung*, Vol. x, pp. xxx-xxx. DOI 10.1515/hf-2011-0177
- Gindl, W., Hansmann, C., Gierlinger, N., Schwanninger, M., Hinterstoisser, B., & Jeronimidis, G. (2004). Using a water-soluble melamine-formaldehyde resin to improve the hardness of Norway spruce wood. *Journal of Applied Polymer Science*, 1900-1907.
- Hazarika, A., & Maji, T. K. (2013). Properties of Softwood Polymer Composites Impregnated with Nanoparticles and Melamine Formaldehyde Furfuryl Alcohol Copolymer. *Journal of Polymer Engineering and Science*, 1019-1029.
- Heyne, K. (1987). *Tumbuhan berguna Indonesia*. Jakarta: Badan Litbang Kehutanan.
- Hill, C. (2006). *Wood Modification. Chemical, Thermal and Other Processes*. London: John Wiley & Sons.
- Hill, C. (2011). Wood modification: An update. *Bioresources*, 918-919.
- Japanese Industrial Standard [JIS]. 1980. *General testing method for adhesives*. (JIS K 6833-1980). Tokyo. Japanese Industrial Standard (JIS).

- Kalapathy, Proctor, A., & Shultz, J. (2000). A Simple Method For Production of Pure Silica From Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*, 257-262.
- KLHK. (2018). *Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2018*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kocaefe, D., Huang, X., Kocaefe, Y. (2015). Dimensional Stabilization of Wood. *Wood Structure and Function*. Curr Forestry Rep. 1:151–161 DOI 10.1007/s40725-015-0017-5.
- Laksono, GD. 2019. Penentuan Titik Transisi Kayu Juvenil ke Kayu Dewasa Pada Kayu Ganitri. Skripsi. Institut Pertanian Bogor
- Lande, S., Westin, M., & Schneider, M. (2004). Properties of furfurylated wood. *Scand J For Res*, 19(5):22–30.
- Launer, PJ. 2013. Infrared Analysis of OrganoSilicon Compunds : Spectra-Structure Correlations. *Silicon Compunds: Silanes & Silicones*. Update by Barry Arkles. Gelest Inc. Morrisville, PA.
- Li, M., Yu, Y., Li, J., Chen, B., Wu, X., Tian, Y., & Chen, P. (2015). Nanosilica/Carbon Composite Sphere as Anodesin Li-ion Batteries With Excellent Cycle Stability. *Journal of Materials Chemistry A*, 1476-1482.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y., Prawira, S., & Kadir, K. (2005). *Atlas Kayu Indonesia Jilid II*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Departemen Kehutanan.
- Merliene DJ. Vukusic S. Abdala AA. 2013. Melamine formaldehyde: curing studies and reaction mechanism. *Polymer Journal* 45, 413–419
- Milea, C., Bogatu, C., & Duta, A. (2011). The Influence of Parameters in Silica Sol-Gel Process. *Engineering Sciences*, 59-66.
- Motaung, T., & Luyt, A. (2010). Effect of maleic anhydride grafting and the presence of oxidized wax on the. *Materials Science and Engineering A*, 761–768.
- Prihatini E. Maddu A. Rahayu IS. Kurniati M. 2020. Sifat Dasar Kayu Ganitri (*Elaeocarpus sphaericus* (Gaertn.) K. Schum.) dari Sukabumi dan Potensi Penggunaannya . *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14 hal 109-118
- Raabe, J., Santos, L. P., Menezzi, C. H., & Tonoli, G. H. (2018). Effect of Nano-silica Deposition on Cellulose Fibers on the Initial Hydration of the Portland Cement. *Bioresources*, 3525-3544.
- Rahayu, I. Darmawan, W., Zaini, L., & Prihatini, E. (2020). Characteristic of fast growing wood impregnated with nano particles. *Journal of Forestry Research*, 31:677-685. DOI 10.1007/s11676-019-00902-3.
- Rahman, E. 2012. Kajian potensi pemanfaatan jenis ganitri (*Elaeocarpus* spp.). Jurnal Mitra Hutan Tanaman 7 (2):39 – 50.
- Rowell, RM. 2012. Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, United States.
- Rulliatty, S. 2008. Karakteristik Kayu Muda Pada Mangium (*Acacia mangium* Wild.) Dan Kualitas Pengeringannya. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Volume 26. No 2.
- Sanberg, D. Kutnar, A. Mantanis, G. 2017. Wood modification technologies - a review. iForest 10: 895-908 doi: 10.3832/ifer2380-010
- Sastrosupadi A. 2000. *Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian*. Yogyakarta (ID): Kanisius
- Shi, J., Li, J., Zhou, W., & Zhang, D. (2007). Improvement of wood properties by urea formaldehyde and nano-SiO₂. *Frontiers of For. in China*, 104-109.
- Siarudin M, Widiyanto A. 2013. Karakteristik penggergajian kayu ganitri (*Elaeocarpus ganitrus* Roxb.) dari hutan rakyat dengan pola agroforestri. Jurnal Hutan Tropis. 1(2)

- Simulsky, R., Jones, PD. 2011. Forest Product And Wood Science. An Introduction. Sixth Edition. A Jihn Willey&Son Inc. UK
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1998. *Fenol formaldehida cair untuk perekat kayu lapis*. (SNI 06-4567-1998). Badan Standardisasi Nasional.
- Tang, C., Li, X., Li, Z., & Hao, J. (2017). Interfacial Hydrogen Bonds and Their Influence Mechanism on Increasing the Thermal Stability of Nano-SiO₂-Modified Meta-Aramid Fibres. *Polymers*.
- Wang Z. 2006. Applied to the Technology of Loading Prevention Decay Wppd in Wood Industry. *Forestry Science and Technology I*, 41-43.
- Xue, F., & Zhao, G. (2008). ptimum preparation technology for Chinese fir wood/Ca-montmorillonite (Ca-MMT) composite board. *Forestry Studies in China volume*, 199-204.
- Xu, W. 2020. Wood modification with resin impregnation technology for value-added services. *SVOA Materials Science and Technology*. ScienceVolks
- Yao, Yang, Y., Song, J., Yu, Y., & Jin, Y. (2017). Melamine Formaldehyde Modified Furfurylation to Improve Chinese Fir's Dimensional Stability and Mechanical Properties. *Bioresources*, 3057-3066.
- Zhang, S., Qibin, Y., & Beaulieu, J. (2004). Genetic variation in veneer quality and its correlation to growth in white spruce. *J. Can. J. For. Res.*, 1311-1318.
- Zhuang, C., & Chen, Y. (2019). The effect of nano-SiO₂ on concrete properties: a review . *Nanotechnology*, 562-572.
- Zhuravlev, T. (1993). Surface characterization of amorphous silica—a review of work from the former USSR. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering*, 71-90.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gunungkidul, 16 Desember 1975 sebagai anak keempat dari empat bersaudara pasangan Adi Kuswanto (alm) dan Tawiyem. Pendidikan Diploma ditempuh di Institut Pertanian Bogor, Program studi Analis Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, lulus tahun 1997. Penulis melanjutkan studi program sarjana di Universitas Nusa Bangsa, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, lulus tahun 2004. Kesempatan untuk melanjutkan studi program Magister pada Program Studi Biofisika penulis peroleh pada tahun 2017 setelah mendapat beasiswa dari PasTi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Nasional.

Penulis bekerja sebagai Pranata Laboratorium Pendidikan pada Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor sejak tahun 2000. Prestasi terakhir yang diperoleh penulis adalah juara pertama tendik berprestasi tingkat Institut Pertanian Bogor tahun 2016, dan juara kedua tenaga pendidikan berprestasi tingkat nasional tahun 2016 yang diselenggarakan oleh Kemenristekdikti.

Karya ilmiah berjudul “ Sifat Dasar Kayu Ganitri (*Elaeocarpus sphaericus* (Gaertn.) K. Schum.) dari Sukabumi dan Potensi Penggunaannya” telah diterbitkan dalam Jurnal Ilmu Kehutanan no 14 tahun 2020 yang merupakan jurnal nasional sional Sinta 2. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar *Magister Sains* (MSi) pada Program Studi Biofisika, Fakultas Matematika dan IPA Institut Pertanian Bogor, penulis melakukan penelitian dengan judul “Karakteristik Kayu Terimpregnasi Partikel Nano-SiO₂ dalam Rangka Peningkatan Mutu Kayu Cepat Tumbuh” dibawah bimbingan Dr. Akhiruddin Maddu, SSi, Msi, Dr. Istie Sekartining Rahayu, Shut. Msi, dan Dr. Mersi Kurniati, Ssi, Msi.