



## COMPATIBILITY TESTING OF SYNTHESIZED TiO<sub>2</sub> NANOPARTICLES ON THE FAST-GROWING WOOD PHYSICAL PROPERTIES

Esti Prihatini<sup>1)</sup>, Rohmat Ismail<sup>2)\*</sup>, Istie Sekartining Rahayu<sup>1)</sup>, Gilang Dwi Laksono<sup>1)</sup>, Dhiya Khairunissa<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

Jl. Raya Dramaga, Babakan, Bogor, 16680, Indonesia

<sup>2)</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University

Jl. Raya Dramaga, Babakan, Bogor, 16680, Indonesia

<sup>3)</sup>Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Nusa Bangsa

Jl.KH.Sholeh Iskandar Km 4, Tanah Sareal, Bogor 16166, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 18 Oct 2023,

Revised 13 Feb 2024,

Accepted 15 Feb 2024

Available online 30 Apr 2024

#### Keywords:

- ✓ compatibility,
- ✓ TiO<sub>2</sub> nanoparticles,
- ✓ jabon,
- ✓ impregnation

#### \*corresponding author:

[rohmatchemistry@apps.ipb.ac.id](mailto:rohmatchemistry@apps.ipb.ac.id)

Phone: +6281386267808

<https://doi.org/10.31938/jsn.v14i2.611>

### ABSTRACT

Jabon wood (*Anthocephalus cadamba*) has inferior quality, so it is necessary to modify the wood to improve the quality of its physical properties, namely by impregnating TiO<sub>2</sub> nanoparticles (NP-TiO<sub>2</sub>). This study aims to determine the right synthesis method for the synthesis of NP-TiO<sub>2</sub> so as to improve the quality of the physical properties of jabon wood optimally. The results of FTIR testing showed that jabon wood has successfully impregnated NP-TiO<sub>2</sub> by hydrothermal and solvothermal methods with ethanol, acetone, and methanol solvents with the identification of the functional group of Ti-O at wavenumber 533 cm<sup>-1</sup> and the Ti-O-Ti functional group at wavenumber 679 cm<sup>-1</sup> which is the bond formed in the framework of the TiO<sub>2</sub> compound. The results of the physical properties test showed that NP-TiO<sub>2</sub> which was successfully impregnated into wood was synthesized using hydrothermal and solvothermal methods, namely acetone, methanol, and ethanol, with a WPG value of 1.36%, 2.6%, 2.16%, and 1.61%, respectively. XRD test results show that jabon wood has successfully impregnated NP-TiO<sub>2</sub> by hydrothermal and solvothermal methods using acetone, ethanol, and methanol solvents with the identification of anatase TiO<sub>2</sub> crystal lattice and crystal sizes of 16.21, 15.94, 14.27, dan 15.75 nm, respectively.

### ABSTRAK

#### Pengujian Kompatibilitas Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis Terhadap Sifat Fisis Kayu Cepat Tumbuh

Kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) mempunyai kualitas yang inferior, sehingga diperlukan modifikasi kayu untuk meningkatkan kualitas sifat fisisnya yaitu dengan melakukan impregnasi nanopartikel TiO<sub>2</sub> (NP-TiO<sub>2</sub>). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode sintesis yang tepat dalam membuat NP-TiO<sub>2</sub> yang akan digunakan untuk meningkatkan kualitas sifat fisis kayu jabon secara optimal. Hasil pengujian FTIR menunjukkan bahwa kayu jabon telah berhasil terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> dengan metode hidrotermal dan solvotermal menggunakan pelarut etanol, aseton serta metanol, hal ini ditunjukkan oleh gugus fungsi dari Ti-O pada bilangan gelombang 533 cm<sup>-1</sup> serta gugus fungsi Ti-O-Ti pada bilangan gelombang 679 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan yang terbentuk pada kerangka senyawa TiO<sub>2</sub>. Hasil uji sifat fisis menunjukkan NP-TiO<sub>2</sub> yang berhasil terimpregnasi ke dalam kayu adalah hasil sintesis menggunakan metode hidrotermal dan solvotermal yaitu aseton, metanol, dan etanol, dengan nilai WPG sebesar 1,36%; 2,6%; 2,16%; dan 1,61%. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa kayu jabon telah berhasil terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> melalui metode hidrotermal dan solvotermal menggunakan pelarut aseton, etanol dan metanol yang ditunjukkan dengan teridentifikasinya kisi kristal TiO<sub>2</sub> anatase dan ukuran kristal 16,21; 15,94; 14,27; dan 15,75 nm.

Kata kunci: kompatibilitas, nanopartikel TiO<sub>2</sub>, jabon, impregnasi

### PENDAHULUAN

Kayu merupakan bahan baku alami yang dimanfaatkan sebagai bahan baku industri, konstruksi, bahan bakar, dan lainnya. Salah satu

jenis kayu yang sering digunakan dan memiliki karakteristik cepat tumbuh adalah kayu jabon yang dapat dipanen pada umur 5 tahun (Krisnawati *et al.*, 2011). Kayu jabon sebagai kayu cepat tumbuh memiliki kekurangan, yaitu



tingginya kandungan kayu juvenil sehingga menyebabkan kekuatan kayu rendah (Rahayu *et al.*, 2014). Selain itu, berat jenis dan keawetan kayu cepat tumbuh juga rendah (Sotelo Montes *et al.*, 2007). Kayu jabon ini hanya digunakan sebagai bahan baku konstruksi ringan, kayu lapis, lantai kayu, dan lainnya. (Prihatini *et al.* 2020). Sifat-sifat kayu dapat ditingkatkan dengan memodifikasi polimer dinding sel dengan berbagai jenis metode modifikasi. Metode modifikasi yang telah dikembangkan dapat digolongkan menjadi metode modifikasi termal, kimia, permukaan, dan impregnasi (Teng *et al.*, 2018). Impregnasi kayu adalah salah satu metode modifikasi kayu yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat kayu dengan melakukan modifikasi pada tingkat dinding sel kayu (Hadi *et al.*, 2013).

Beberapa dekade terakhir ini, nanopartikel logam digunakan pada proses impregnasi kayu untuk memperlambat tingkat degradasi kayu dan karena ukurannya yang kecil, nanopartikel dapat menembus secara mendalam dan merata ke dalam pori-pori kayu, sehingga melindungi kayu. Impregnasi kayu dapat dibagi menjadi difusi, kapiler, dan perlakuan tekanan (Bi *et al.*, 2021). Penggunaan kayu terimpregnasi nanopartikel logam dapat meningkatkan daya tahan kayu dan sifat kayu lainnya. Riset penggunaan nanopartikel logam telah banyak dilakukan diantaranya yaitu penggunaan nanopartikel tembaga (Akhtari & Nicholas, 2013), polistirena dalam bentuk tembaga oksidanya (Jafari & Omidvar, 2018), nanopartikel perak pada kayu tropis (Roque *et al.*, 2014), nanopartikel berbasis seng (Bak & Németh, 2018), dan nanopartikel SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Dirna *et al.* 2020; Rahayu *et al.* 2020; Rahayu *et al.* 2022a; Rahayu *et al.* 2022b; Prihatini *et al.* 2020; Prihatini *et al.*, 2023).

Nanopartikel TiO<sub>2</sub> merupakan material anorganik yang dapat meningkatkan kualitas sifat fisis kayu dan melindunginya dari paparan radiasi UV yang dapat merusak kayu (Rassam *et al.*, 2012) dan meningkatkan resistensi kayu terhadap proses pelapukan akibat cuaca melalui teknologi *nanocoating* (Rahayu *et al.*, 2023). Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dapat disintesis melalui cara sol gel, hidrotermal, dan solvotermal. Proses hidrotermal dan solvotermal memiliki kelebihan, yaitu lebih mudah dikerjakan di laboratorium dan rendemennya yang tinggi namun akan memiliki karakteristik berbeda ketika menggunakan jenis pelarut berbeda. Karakteristik tersebut meliputi ukuran partikel, derajat kristalinitas dan interaksinya dengan material lain pada gugus fungsi hidroksi dan karbonil (Kanchi & Ahmed, 2018).

Perbedaan karakteristik tersebut tentunya akan berdampak pada perbedaan hasil peningkatan kualitas sifat fisis kayu ketika nanopartikel TiO<sub>2</sub> tersebut terimpregnasi ke dalam kayu, maka dari itu pada penelitian ini dilakukan uji kompatibilitas untuk menentukan metode sintesis nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang karakteristiknya kompatibel ketika diaplikasikan pada kayu jabon.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka dilakukan uji kompatibilitas dari nanopartikel TiO<sub>2</sub> hasil sintesis terhadap kayu jabon, sehingga dapat menghasilkan peningkatan sifat fisiknya secara optimal. Penelitian ini difokuskan pada uji kompatibilitas dari nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang disintesis secara hidrotermal dan solvotermal terhadap kayu jabon, serta membandingkan data FTIR dan XRD dari sampel kayu jabon setelah terimpregnasi nanopartikel TiO<sub>2</sub>, serta data sifat fisisnya.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Sampel kayu jabon berumur 5 tahun bebas cacat yang berasal dari hutan rakyat di wilayah Bogor, Jawa Barat. Kayu jabon memiliki tinggi bebas cabang 7- 9 meter dan diameter setinggi dada (25-28 cm). Setelah penebangan, kayu dipotong sepanjang 50 cm dari pangkal hingga ke batas tinggi bebas cabang. Semua sampel berasal dari pohon yang sama dengan proses pengerjaan dalam waktu yang bersamaan, agar sifat variabilitas sampel rendah. Bahan kimia yang digunakan antara lain Bulk TiO<sub>2</sub> anatase (Pure®, Lindon, UT, USA), Etanol p.a (Merck), Metanol p.a (Merck), Aseton p.a (Merck), NaOH (Merck), Asam asetat (Merck), dan air demineralisasi. Alat yang digunakan adalah *chain saw*, *table circular saw*, neraca analitik, kaliper, oven, tanur, cawan porselen 50 mL, kipas angin, sonikator (*Cole Parmer*), erlenmeyer 500 mL, gelas ukur 50 mL, gelas piala 100 mL, gelas piala 250 mL, tabung impregnasi, *magnetic stirrer* (IKA C-MAGH HS 7), *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR) (Nicolet 6700 Thermo Scientific, USA), dan *X-Ray Diffractometer* (XRD) XRD-7000 (Shimadzu, Japan).

### Metode

#### *Persiapan Contoh Uji*

Kayu jabon dipotong menggunakan *chain saw* dan *table circular saw* tanpa membedakan kayu gubal dan kayu teras. Sampel uji berukuran 2 cm x 2 cm x 2 cm (Standard, 1957) sebanyak 50

sampel, dengan 10 kali ulangan pada masing-masing tingkat konsentrasi. Sampel tersebut kemudian digunakan dalam pengujian *Weight Percent Gain* (WPG), *Bulking Effect* (BE), dan kerapatan.

### Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub>

Proses sintesis nanopartikel (NP) TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal dan solvotermal. *Bulk* TiO<sub>2</sub> dimasukan ke dalam dalam gelas piala sebanyak 7 gram kemudian dilarutkan dengan 75 ml air akuades untuk proses hidrotermal (Abdelhamid *et al.*, 2021). Metanol dan etanol (Liao *et al.*, 2009), aseton (Sun *et al.*, 2017), NaOH 1 M (Nam *et al.*, 2013) serta asam asetat 0,5 M (Qu *et al.*, 2010) untuk proses solvotermal. Setelah itu, larutan campuran itu direaksikan di dalam *autoclave stainless steel* Teflon pada suhu 75 °C selama 4 jam. Setelah melalui proses *autoclave*, larutan campuran didinginkan secara bertahap ke suhu kamar (RT) lebih dari 24 jam. Endapan yang dihasilkan dipisahkan ke dalam cawan porselen, lalu dicuci dengan etanol, dan dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500 °C.

### Proses Impregnasi pada Kayu

Proses impregnasi menggunakan sampel tanpa perlakuan dan sampel yang diimpregnasi dengan campuran nanopartikel TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dan air demineralisasi pada konsentrasi 5% b/v. Campuran tersebut diaduk menggunakan alat sonikator (*Cole Parmer*) dengan amplitudo 40% selama 60 menit. Campuran tersebut dituangkan ke dalam wadah yang sudah berisi kayu dan diberi pemberat kawat *nylon* yang bersifat tidak bereaksi dengan larutan impregnasi. Wadah tersebut dimasukkan ke dalam tabung impregnasi lalu proses impregnasi dilakukan dengan tekanan vakum -0,5 bar selama 0,5 jam dan ditekan 1 bar selama 2 jam. Setelah proses impregnasi selesai, kayu dibilas dengan air demineralisasi untuk menghilangkan sisa larutan impregnasi lalu dibungkus dengan aluminium foil dan dipanaskan pada suhu 65°C selama 12 jam kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 2 hari sampai bobot konstan. Massa kayu dan dimensi kayu diukur untuk perhitungan WPG, BE, dan kerapatan.

### Pengujian Sifat Fisis

Pengujian *Weight Percent Gain* (WPG) dihitung dengan rumus berikut:

$$WPG(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

$W_0$  adalah berat kering oven sampel sebelum impregnasi dan  $W_1$  adalah berat kering oven sampel setelah impregnasi.

Pengujian *Bulking Effect* (BE) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$BE \% = \frac{(V_1 - V_0)}{V_0} \times 100$$

$V_0$  adalah volume sampel sebelum perlakuan impregnasi (cm<sup>3</sup>) sedangkan  $V_1$  adalah volume sampel setelah dilakukan perlakuan impregnasi (cm<sup>3</sup>).

Kerapatan ( $\rho$ ) dihitung saat sebelum dan sesudah perlakuan dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\text{beratsampel}}{\text{volumesampel}}$$

### Karakterisasi Kayu Jabon Terimpregnasi Nanopartikel TiO<sub>2</sub>

#### Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR)

Sampel kayu jabon kontrol dan hasil perlakuan impregnasi diparut lalu disaring dengan saringan ukuran 100 mesh. Sampel kayu yang sudah halus tersebut dicampurkan dengan kalium bromida (KBr) dengan perbandingan 1:100 dan dibentuk menjadi *pellet*. *Pellet* tersebut dianalisis oleh FTIR dengan pemindaian kisaran 4000 hingga 400 cm<sup>-1</sup> pada resolusi 4 cm<sup>-1</sup> selama 32 scan.

#### X-Ray Diffractometry (XRD)

Sampel kayu disayat menggunakan *cutter* setebal 2 mm pada bidang tangensial. Derajat kristalinitas sampel kayu (sayatan) dianalisis dengan XRD-7000 (Shimadzu, Japan). Parameter yang dipakai pada alat tersebut adalah : radiasi Cu Ka dengan *graphite monochromator*, tegangan 40 Kv, arus 30 mA dan rentang *scan* 2 $\theta$  antara 10 sampai dengan 60° dengan kecepatan *scanning* 2°/menit.

### Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dan dievaluasi menggunakan *Analysis of Variant* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji *post hoc Duncan* pada  $\alpha = 5\%$ . Pengujian menggunakan program IBM SPSS *Statistics* (*Statistical Package for Service Solutions*) versi 25.0. Pengolahan data hasil karakterisasi yaitu spektrum FTIR menggunakan program *Origin* versi 8.5.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida (NP-TiO<sub>2</sub>)

#### Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR)

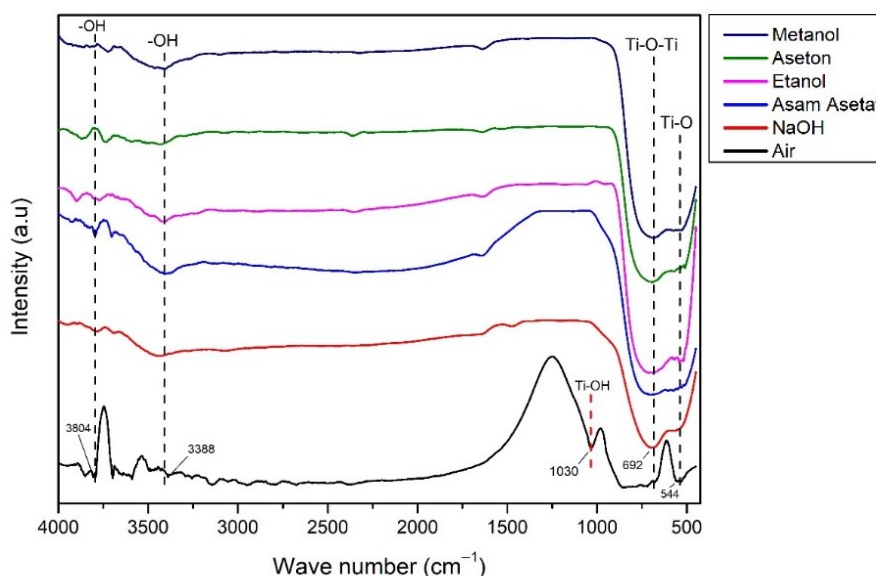
Analisis FTIR dilakukan pada NP-TiO<sub>2</sub> bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang muncul pada material NP-TiO<sub>2</sub> hasil sintesis sehingga dapat mengetahui karakteristiknya secara kimia sebelum diimpregnasikan ke kayu jabon. Spektrum FTIR NP-TiO<sub>2</sub> (Gambar 1) yang disintesis secara hidrotermal menunjukkan adanya puncak pada 544 cm<sup>-1</sup> yang merupakan vibrasi tekukan gugus fungsi Ti-O, puncak pada 1030 cm<sup>-1</sup> yang merupakan vibrasi regangan Ti-OH (Chougala *et al.*, 2017), puncak pada 692 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi regangan Ti-O-Ti dan puncak pada 3388 cm<sup>-1</sup> dan 3804 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi regangan gugus hidroksi (OH) (Sharfudeen *et al.*, 2017). Hasil perbandingan spektrum NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis secara hidrotermal dan solvotermal menunjukkan bahwa gugus fungsi Ti-O, Ti-O-Ti dan OH yang teridentifikasi pada metode hidrotermal ditemukan juga pada metode solvotermal namun untuk gugus fungsi Ti-OH hanya ditemukan pada metode hidrotermal. Gugus hidroksi yang muncul merupakan molekul air yang terjerap baik secara kimia maupun fisika pada permukaan NP-TiO<sub>2</sub> dan berkorelasi dengan gugus fungsi Ti-OH yang muncul pada metode hidrotermal (Praveen *et al.*, 2013). Hal ini mengindikasikan bahwa material NP-TiO<sub>2</sub> telah berhasil disintesis dengan metode hidrotermal dan solvotermal dan dapat digunakan sebagai bahan

impregnan untuk proses impregnasi pada kayu jabon.

### Pengujian Sifat Fisis Kayu Jabon Terimpregnasi Nanopartikel Titanium Dioksida (NP-TiO<sub>2</sub>)

Weight percent gain (WPG) merupakan persentase penambahan berat kayu setelah dilakukannya proses impregnasi. WPG merupakan salah satu parameter stabilitas dimensi yang ditandai dengan penambahan berat pada sampel yang dinyatakan dalam persen. Semakin besar persentase WPG, maka semakin banyak polimer yang masuk ke dalam kayu. Nilai WPG pada kayu jabon yang terimpregnasi partikel NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis secara hidrotermal dan solvotermal ditunjukkan pada Tabel 1.

Nilai WPG kayu jabon yang diimpregnasi menggunakan NP-TiO<sub>2</sub> hasil sintesis secara hidrotermal dan solvotermal terutama metanol, etanol, dan aseton berhasil meningkatkan nilai WPG-nya. Nilai WPG tertinggi terjadi pada impregnasi dengan menggunakan NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan pelarut aseton, diikuti metanol, etanol, dan air. Nilai WPG aseton dan metanol tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata terhadap sintesis dengan pelarut air dan etanol. Nilai WPG yang berbeda ini disebabkan karena sifat polaritas pelarutnya yang berbeda. Pelarut keton memainkan peran penting dalam meningkatkan sifat struktur nano produk ini, yang mempengaruhi reaksi fotokatalitiknya (Nam *et al.*, 2013). Polaritas yang berbeda pada metanol dan etanol juga berpengaruh pada besarnya reaktivitas pada proses hidrolisis dan kondensasi (Behnajady *et al.*, 2011).



Gambar 1. Spektrum FTIR NP-TiO<sub>2</sub> yang Disintesis dengan Metode Hidrotermal dan Solvotermal

Tabel 1. Hasil pengukuran sifat fisis kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>

Jenis Pelarut	WPG (%)	BE (%)	Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )
Air	1,36 ± 0,38 <sup>b</sup>	2,14 ± 0,15 <sup>b</sup>	0,34 ± 0,06 <sup>ab</sup>
Metanol	2,16 ± 0,73 <sup>c</sup>	2,25 ± 0,28 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,06 <sup>bc</sup>
Etanol	1,61 ± 0,30 <sup>b</sup>	2,19 ± 0,48 <sup>b</sup>	0,36 ± 0,05 <sup>abc</sup>
Aseton	2,60 ± 0,78 <sup>c</sup>	2,40 ± 0,53 <sup>b</sup>	0,39 ± 0,06 <sup>c</sup>
NaOH	-0,13 ± 0,31 <sup>a</sup>	-0,13 ± 1,95 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,02 <sup>ab</sup>
Asam Asetat	0 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,05 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Nilai yang diikuti huruf berbeda merupakan nilai yang secara signifikan berbeda nyata berdasarkan uji Duncan

Meningkatnya nilai WPG juga menyebabkan peningkatan dimensi sampel akibat terjadinya *bulking effect* (BE) pada kayu. BE merupakan parameter yang menunjukkan penambahan *bulking agent* pada kayu jabon setelah proses impregnasi. *Bulking agent* dapat menutup rongga kayu dan mengurangi penyerapan air pada kayu sehingga stabilitas dimensi kayu meningkat (Syahidah & Cahyono, 2008). Nilai BE juga mengikuti nilai WPG, nilai BE paling besar terjadi pada kayu yang diimpregnasi menggunakan NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan pelarut aseton, diikuti metanol, etanol, dan air. Akan tetapi, berdasarkan uji Duncan nilainya tidak berbeda nyata. Selain dapat meningkatkan berat dan dimensi kayu, NP-TiO<sub>2</sub> ini juga dapat meningkatkan kerapatan kayu setelah impregnasi (Rahayu *et al.*, 2022). Nilai kerapatan sejalan dengan nilai WPG dan BE, di mana kerapatan paling besar adalah kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan aseton, diikuti metanol, etanol, dan air. Berdasarkan uji Duncan menunjukkan aseton dan metanol tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata dengan sintesis NP-TiO<sub>2</sub> dengan pelarut air.

Nilai WPG, BE, dan kerapatan dari kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan pelarut NaOH dan asam asetat menunjukkan hasil yang berbeda. Nilai WPG jabon yang terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan larutan NaOH bahkan menunjukkan hasil yang negatif. Hal ini berarti berat setelah mendapatkan perlakuan lebih rendah dibandingkan sebelum perlakuan. Hasil pengecekan pH dengan kertas pH universal menunjukkan larutan impregnan memiliki pH 9 (Gambar 2). Menurut (Doczekalska & Zborowska, 2010), kayu yang berada dalam kondisi larutan basa bisa melarutkan sebagian komponen kayu. Disolusi akan terjadi apabila kisaran nilai pH diatas 9-10 (Melro *et al.*, 2020) Hal ini mengakibatkan menurunnya dimensi dan juga kerapatan kayunya. Demikian juga jabon

yang diimpregnasi menggunakan NP-TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan larutan asam asetat. Sjostrom (1993) menyatakan bahwa kondisi asam dapat mendegradasi komponen kimia kayu. Akan tetapi, karena asam asetat bersifat asam lemah, dan pH larutan impregnannya netral, maka tidak sampai mendegradasi komponen kayu. Nilai WPG nya juga tidak mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan NP-TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan larutan NaOH dan asam asetat tidak masuk ke dalam kayu. Berdasarkan hasil sifat fisis secara keseluruhan dapat dilihat bahwa yang bisa digunakan untuk sintesis NP-TiO<sub>2</sub> adalah aseton, metanol, etanol dan air. Hasil analisis statistik menunjukkan sintesis MP-TiO<sub>2</sub> dengan pelarut aseton menunjukkan hasil yang paling optimum.

#### Karakterisasi Kayu Jabon Terimpregnasi Nanopartikel Titanium Dioksida (NP-TiO<sub>2</sub>) *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR)

Analisis dengan alat FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada sampel kayu jabon setelah perlakuan impregnasi NP-TiO<sub>2</sub> (Gambar 3).

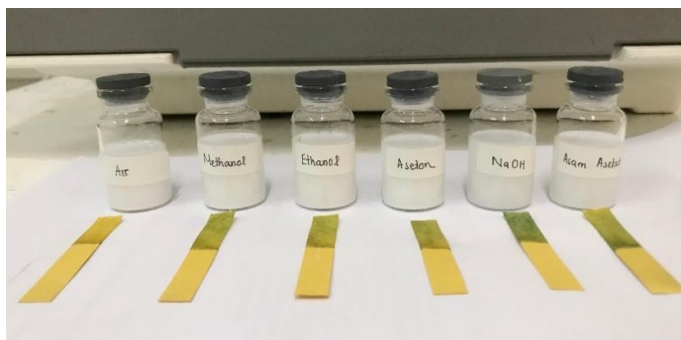
Spektrum FTIR pada kayu kontrol jabon teridentifikasi gugus fungsi C-H dari kerangka senyawa aromatik pada bilangan gelombang 619 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi C-O pada bilangan gelombang 1036 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1638 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi C-H pada bilangan gelombang 2899 cm<sup>-1</sup>, dan gugus fungsi O-H pada bilangan gelombang 3453 cm<sup>-1</sup> (Coates, 2006). Hasil identifikasi gugus fungsi menunjukkan bahwa uluran C-H berasal dari selulosa dan hemiselulosa, regangan C-H aromatik dan C=C berasal dari senyawa lignin, regangan O-H berasal dari selulosa, dan regangan C-O berasal dari hemiselulosa (Hazarika & Maji, 2014). Semua gugus fungsi yang teridentifikasi pada kayu kontrol jabon teridentifikasi juga pada kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>. Pada kayu jabon hasil perlakuan impregnasi NP-TiO<sub>2</sub> dengan

metode hidrotermal dan solvotermal dengan pelarut metanol, etanol serta aseton teridentifikasi gugus fungsi dari Ti-O pada bilangan gelombang 533 cm<sup>-1</sup> serta gugus fungsi Ti-O-Ti pada bilangan gelombang 679 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan yang terbentuk pada kerangka senyawa TiO<sub>2</sub> (Sharfudeen *et al.*, 2017).

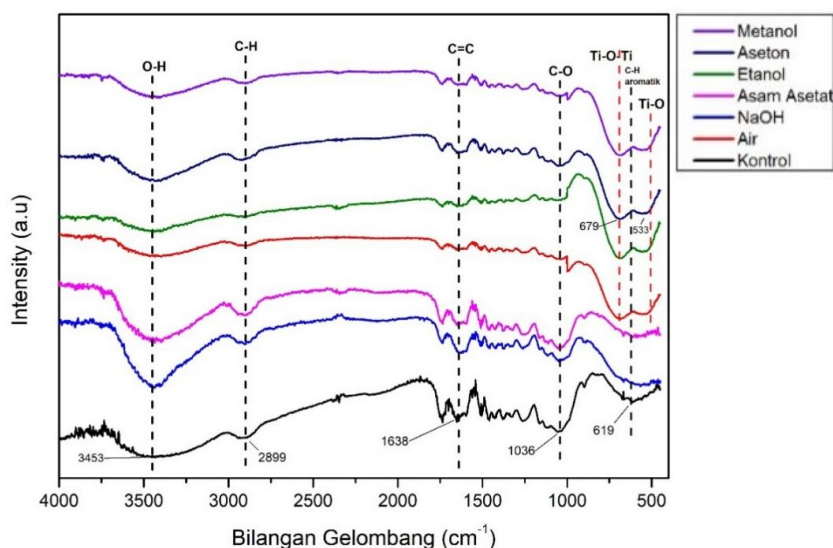
Pelarut asam asetat dan NaOH dengan metode solvotermal tidak terdeteksi adanya gugus fungsi Ti-O maupun Ti-O-Ti. Hal ini menunjukkan tidak ada NP-TiO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam kayu dengan indikasi nilai WPG 0 % dan -0,13%. Penggunaan pelarut asam asetat dan NaOH pada proses sintesis NP-TiO<sub>2</sub> dapat menimbulkan residu senyawa asam dan basa yang dapat menyebabkan proses inisiasi degradasi pada kayu terutama akibat sifat lignin yang sensitif terhadap radiasi UV, larutan asam, dan larutan basa (Svora *et al.*, 2022). Hal ini mengakibatkan pori-pori kayu menjadi lebih besar dan struktur kayu menjadi lebih rapuh sehingga NP-TiO<sub>2</sub> mudah mengalami *leaching*

(Costa *et al.*, 2023) dan nilai WPG menjadi 0 % dan negatif.

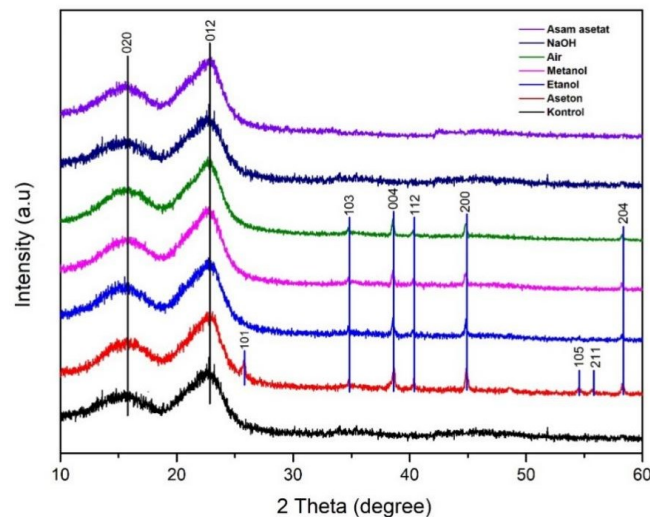
Berdasarkan hasil pengamatan pada spektrum FTIR, kayu jabon yang sudah terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> metode hidrotermal dan solvotermal dengan pelarut metanol, etanol serta aseton tidak teridentifikasi adanya gugus fungsi C-H pada kerangka aromatik dan terjadi penurunan intensitas dari gugus fungsi C-H. Hal ini dapat terjadi karena NP-TiO<sub>2</sub> menutupi permukaan selulosa, lignin dan hemiselulosa (Mayerhöfer dan Popp, 2017) yang merupakan pembangun struktur utama kayu (Pereira *et al.*, 2004) sehingga radiasi sinar inframerah terhalang oleh NP-TiO<sub>2</sub>. Hasil analisis FTIR dari kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini menunjukkan bahwa NP-TiO<sub>2</sub> hanya menyebabkan efek *bulking* dengan mengisi pori kayu karena tidak teridentifikasi gugus fungsi baru dengan indikasi tidak muncul puncak baru pada spectra IR (Bi *et al.*, 2021).



Gambar 2. Hasil uji pH impregnan NP-TiO<sub>2</sub> dari sintesis dengan berbagai larutan



Gambar 3. Spektrum FTIR pada Kayu Jabon Terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> yang Disintesis dengan Metode Hidrotermal dan Solvotermal



Gambar 4. Difraktogram Kayu Jabon Terimpregnasi Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis secara Hidrotermal dan Solvotermal

Tabel 2. Hasil perhitungan derajat kristalinitas kayu dan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> pada kayu terimpregnasi

Sampel	Derajat Kristalinitas (%)	Ukuran kristal (nm)
Kontrol	60,43	-
TiO <sub>2</sub> -NaOH	38,45	-
TiO <sub>2</sub> -Asam asetat	38,49	-
TiO <sub>2</sub> -Etanol	50,15	15,75
TiO <sub>2</sub> -Aseton	55,51	14,27
TiO <sub>2</sub> -Metanol	51,13	15,94
TiO <sub>2</sub> -Air	67,14	16,21

#### X-Ray Diffractometer (XRD)

Analisis XRD pada nanopartikel TiO<sub>2</sub> bertujuan untuk menentukan fasa dan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> yang disintesis melalui metode hidrotermal dan solvotermal. Analisis XRD pada kayu jabon terimpregnasi nanopartikel TiO<sub>2</sub> (Gambar 4) untuk membuktikan keberadaan dari fasa nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan pengaruhnya terhadap nilai kristalinitas selulosa sebagai struktur utama pembangun kayu.

Kayu jabon terimprenasi NP-TiO<sub>2</sub> yang diuji XRD menghasilkan difraktogram yang menunjukkan terdapat puncak-puncak pada nilai 2θ yaitu 34,85; 38,53; 40,40; 44,75; dan 58,10°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Aseton terdapat puncak-puncak pada nilai 2θ yaitu 25,65; 34,94; 38,65; 40,41; 44,98; 54,64; 55,80 dan 58,19°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Etanol terdapat puncak-puncak pada nilai 2θ yaitu 34,73; 38,52; 40,32; 44,83 dan 58,32°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Metanol terdapat puncak-puncak pada nilai 2θ yaitu 34,81; 38,58; 40,26; 44,75 dan 58,32°. Berdasarkan analisis

perbandingan terhadap standar difraktogram TiO<sub>2</sub> JCPDS card number 78-2486 (Bagheri *et al.*, 2013) dapat disimpulkan bahwa puncak-puncak tersebut merupakan senyawa TiO<sub>2</sub> yang telah berhasil terimpregnasi ke dalam kayu jabon. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-NaOH dan TiO<sub>2</sub>-Asam asetat, tidak teridentifikasi puncak-puncak yang merupakan senyawa TiO<sub>2</sub> seperti pada kayu kontrol. Hal ini dapat terjadi karena tidak ada NP-TiO<sub>2</sub> yang terimpregnasi ke dalam kayu dengan indikasi nilai WPG pada sifat fisis yang bernilai nol.

Selain itu, analisis XRD digunakan pula untuk mengidentifikasi fasa kristalin dari kayu setelah proses impregnasi oleh NP-TiO<sub>2</sub>. Pada difraktogram kontrol kayu jabon terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,45 dan 22,38°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Air terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,71 dan 22,33°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Aseton terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,41 dan 22,98°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Etanol terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,74

dan 22,77°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Metanol terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,73 dan 22,32°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-NaOH terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 17,27 dan 22,72°. Pada difraktogram kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Asam asetat terdapat puncak pada nilai 2θ yaitu 18,12 dan 22,81°. Berdasarkan analisis perbandingan terhadap standar difraktogram selulosa JCPDS No. 03-0226 (Osman *et al.*, 2019) dapat disimpulkan bahwa puncak-puncak tersebut merupakan selulosa yang merupakan unit utama pembangun struktural kayu jabon.

Susunan *index miller* dari fasa selulosa dari kayu jabon dengan perlakuan impregnasi oleh TiO<sub>2</sub> masih sesuai dengan standar JCPDS selulosa. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan impregnasi NP-TiO<sub>2</sub> tidak secara signifikan mempengaruhi fasa selulosa dalam kayu jabon walaupun berdasarkan data nilai derajat kristalinitasnya menunjukkan perubahan nilai jika dibandingkan dengan kayu kontrol. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Air mengalami kenaikan nilai derajat kristalinitas (Tabel 2) menjadi 67,14% sedangkan pada kayu jabon terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub>-Aseton, NP-TiO<sub>2</sub>-Etanol, NP-TiO<sub>2</sub>-Metanol, NP-TiO<sub>2</sub>-NaOH, NP-TiO<sub>2</sub>-Asam asetat mengalami penurunan nilai derajat kristalinitas selulosa yaitu menjadi 55,51; 50,15; 51,13; 38,45 dan 38,49% dari nilai kayu kontrol 60,43%.

Peningkatan nilai kristalinitas ini diakibatkan oleh penyusunan ulang dari struktur selulosa pada fasa amorf akibat interaksinya dengan larutan impregnasi menggunakan pelarut air dan efek dari *bulking* partikel anorganik di sepanjang permukaan selulosa (Dong *et al.*, 2014). Partikel anorganik yang berperan dalam penelitian ini adalah partikel nano TiO<sub>2</sub>. Hal berbeda terjadi pada jumlah TiO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam kayu lebih tinggi dengan indikasi peningkatan WPG, maka penurunan derajat kristalinitas kayu terjadi akibat jumlah TiO<sub>2</sub> yang bersifat hidrofobik (Wang *et al.*, 2011) mampu menutupi permukaan selulosa sehingga tidak terjadi proses penyusunan ulang selulosa pada fasa amorf. Selain itu, penurunan kristalinitas selulosa yang tinggi pada kayu terimpregnasi TiO<sub>2</sub>-NaOH dan TiO<sub>2</sub>-Asam asetat disebabkan karena residu asam dan basa menyebabkan percepatan proses hidrolisis pada selulosa dalam kayu sehingga struktur selulosa menjadi lebih amorf (Kong-Win Chang *et al.*, 2018).

Ukuran kristal partikel TiO<sub>2</sub> ditentukan dari data difraktogram dengan menggunakan persamaan *Scherrer* yaitu  $\lambda =$  panjang gelombang sinar-X yang digunakan, dan  $\theta =$  sudut difraksi,  $K =$  adalah konstanta yang besarnya tergantung pada faktor bentuk kristal, bidang difraksi (hkl), dan definisi besaran  $\beta$  yang digunakan sebagai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) atau *Integral Breadth* dari puncak (Hargreaves, 2016).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

Hasil perhitungan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> pada NP-TiO<sub>2</sub>-Etanol, NP-TiO<sub>2</sub>-Aseton, NP-TiO<sub>2</sub>-Metanol, dan NP-TiO<sub>2</sub>-Air dengan persamaan *Scherrer* yaitu 15,75; 14,27; 15,94 dan 16,21 nm. Hal ini membuktikan bahwa TiO<sub>2</sub> hasil sintesis merupakan nanopartikel karena memiliki ukuran partikel pada rentang 1 sampai 100 nm dengan pendekatan ukuran kristal (Khan *et al.*, 2019). Menurut Sumadiyasa & Manuaba (2018), hasil pengukuran dengan persamaan Scherrer lebih merepresentasikan ukuran kristal dari fase tertentu saja (fase tunggal), dalam hal ini adalah fase TiO<sub>2</sub>.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis, FTIR dan XRD dapat disimpulkan bahwa metode hidrotermal dan solvotermal dengan pelarut aseton, etanol dan metanol kompatibel untuk sintesis nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang digunakan untuk proses impregnasi pada kayu jabon. Kayu jabon yang mengalami peningkatan WPG dengan hasil sintesis menggunakan metode hidrotermal dan solvotermal yaitu aseton, metanol, dan etanol, dengan nilai WPG sebesar 1,36%, 2,6%, 2,16%. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa kayu jabon telah berhasil terimpregnasi NP-TiO<sub>2</sub> dengan metode hidrotermal dan solvotermal menggunakan pelarut aseton, etanol dan metanol dengan teridentifikasinya kisi kristal TiO<sub>2</sub> anatase dan ukuran kristal 16,21, 15,94, 14,27, dan 15,75 nm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Departemen Hasil Hutan atas dukungan fasilitas laboratorium dan Direktorat SDM IPB University atas dana Hibah Kompetitif Penelitian Jabatan Fungsional (kontrak No.10/K/HK/IPB/2023) untuk pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhamid, M., El-Hossary, F., Ghitas, A., Abd El-Rahman, A., & Ebnalwaled, K. (2021). Low-temperature hydrothermal synthesis of titanium dioxide nanoparticles for photocatalytic applications low-temperature hydrothermal synthesis of titanium dioxide nanoparticles for photocatalytic applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1171. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1171/1/012008>
- Akhtari, M., & Nicholas, D. (2013). Evaluation of particulate zinc and copper as wood preservatives for termite control. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0690-7>
- Bagheri, S., Shameli, K., & Abd Hamid, S. B. (2013). Synthesis and characterization of anatase titanium dioxide nanoparticles using egg white solution via sol-gel method. *Journal of Chemistry*, 2013, 848205. <https://doi.org/10.1155/2013/848205>
- Bak, M., & Németh, R. (2018). Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. *Bioresources*, 13, 7886–7899. <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.7886-7899>
- Behnajady, M. A., Eskandarloo, H., Modirshahla, N., & Shokri, M. (2011). Investigation of the effect of sol-gel synthesis variables on structural and photocatalytic properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Desalination*, 278(1–3), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.019>
- Bi, W., Hui, D., Gaff, M., Lorenzo, R., Corbi, I., Corbi, O., & Ashraf, M. (2021). Effects of chemical modification and nanotechnology on wood properties. *Nanotechnology Reviews*, 10, 978–1008. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0065>
- Chougala, L., Yatnatti, M., Linganagoudar, R., Kamble, R., & Kadadevarmath, J. (2017). A simple approach on synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and its application in dye sensitized solar cells. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 9, 4001–4005. [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(4\).4005](https://doi.org/10.21272/jnep.9(4).4005)
- Coates, J. (2006). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5606>
- Costa, R. D. F. S., Barbosa, M. L. S., Silva, F. J. G., Sousa, S. R., Pinto, A. G., Sousa, V. F. C., & Ferreira, B. O. (2023). The impact of the deterioration on wood by chlorine: an experimental study. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/ma16030969>
- Dirna, F. C., Rahayu, I., Zaini, L. H., Darmawan, W., & Prihatini, E. (2020). Improvement of fast-growing wood species characteristics by MEG and nano SiO<sub>2</sub> impregnation. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48(1), 41–49. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.1.41>
- Doczekalska, B., & Zborowska, M. (2010). Wood chemical composition of selected fast growing species treated with NaOH part II: Non-structural substances. *Wood Research*, 55(3), 83–92.
- Dong, Y., Yan, Y., Zhang, S., & Li, J. (2014). Wood/polymer nanocomposites prepared by impregnation with furfuryl alcohol and nano-SiO<sub>2</sub>. *BioResources*, 9. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6028-6040>
- Hadi, Y., Rahayu, I., & Danu, S. (2013). Physical and mechanical properties of methyl methacrylate impregnated Jabon wood. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 10. <https://doi.org/10.1007/s13196-013-0098-3>
- Hargreaves, J. (2016). Some considerations related to the use of the Scherrer equation in powder X-ray diffraction as applied to heterogeneous catalysts. *Catalysis, Structure & Reactivity*, 2, 33–37. <https://doi.org/10.1080/2055074X.2016.1252548>
- Hazarika, A., & Maji, T. K. (2014). Properties of softwood polymer composites impregnated with nanoparticles and melamine formaldehyde furfuryl alcohol copolymer. *Polymer Engineering & Science*, 54(5), 1019–1029. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pen.23643>

- Jafari, armin, & Omidvar, A. (2018). The effect of nano copper oxide on physical properties and leaching resistance of wood-Polystyrene polymer. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(1), 49–60. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.10565.1548>
- Kanchi, S., & Ahmed, S. (2018). *Green Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization and their Applications-Nanoparticles Naturally*.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabj.c.2017.05.011>
- Kong-Win Chang, J., Duret, X., Berberi, V., Zahedi-Niaki, H., & Lavoie, J.-M. (2018). Two-step thermochemical cellulose hydrolysis with partial neutralization for glucose production. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00117>
- Krisnawati, H., Kallio, M., & Kanninen, M. (2011). *Anthocephalus cadamba* Miq.: ekologi, silvikultur dan produktivitas. <https://doi.org/10.17528/cifor/003481>
- Liao, J., Shi, L., Yuan, S., Zhao, Y., & Fang, J. (2009). Solvothermal synthesis of TiO<sub>2</sub> nanocrystal colloids from peroxotitanate complex solution and their photocatalytic activities. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(43), 18778–18783. <https://doi.org/10.1021/jp905720g>
- Mayerhöfer, T., & Popp, J. (2017). The electric field standing wave effect in infrared transfection spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.10.033>
- Melro, E., Filipe, A., Sousa, D., Valente, A. J. M., Romano, A., Antunes, F. E., & Medronho, B. (2020). Dissolution of kraft lignin in alkaline solutions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.153>
- Nam, C. T., Yang, W.-D., & Duc, L. M. (2013). Solvothermal synthesis of TiO<sub>2</sub> photocatalysts in ketone solvents with low boiling points. *Journal of Nanomaterials*, 2013,627385. <https://doi.org/10.1155/2013/627385>
- Osman, A. I., Blewitt, J., Abu-Dahrieh, J. K., Farrell, C., Al-Muhtaseb, A. H., Harrison, J., & Rooney, D. W. (2019). Production and characterisation of activated carbon and carbon nanotubes from potato peel waste and their application in heavy metal removal. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(36), 37228–37241. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06594-w>
- Pereira, H., Graça, J., & Rodrigues, J. (2004). Wood Chemistry in Relation to Quality. *Cheminform*, 35. <https://doi.org/10.1002/chin.200446298>
- Praveen, P., Viruthagiri, G., Mugundan, S., & Shanmugam, N. (2013). Structural, optical and morphological analyses of pristine titanium di-oxide nanoparticles-Synthesized via sol-gel route. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117, 622–629.
- Prihatini, E., Maddu, A., Rahayu, I. S., Kurniati, M., & Darmawan, W. (2020). Improvement of physical properties of Jabon (*Anthocephalus cadamba*) through the impregnation of nano-SiO<sub>2</sub> and melamin formaldehyde furfural alcohol copolymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 935(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012061>
- Prihatini, E., Wahyuningtyas, I., Rahayu, I. S., & Ismail, R. (2023). Modification of fast-growing wood into magnetic wood with impregnation method using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Jurnal Sylva Lestari*, 11(2), 204–217. <https://doi.org/10.23960/jsl.v11i2.651>
- Qu, Q., Geng, H., Peng, R., Cui, Q., Gu, X., Li, F., & Wang, M. (2010). Chemically binding carboxylic acids onto TiO<sub>2</sub> nanoparticles with adjustable coverage by solvothermal strategy. *Langmuir*, 26(12), 9539–9546. <https://doi.org/10.1021/la100121n>
- Rahayu, I., Darmawan, W., Nawawi, D. S., Prihatini, E., Ismail, R., & Laksono, G. D. (2022)a. Physical properties of fast-growing wood-polymer nano composite synthesized through TiO<sub>2</sub> nanoparticle impregnation.

- Polymers* 14,(20).<https://doi.org/10.3390/polym14204463>
- Rahayu, I., Darmawan, W., Nawawi, D. S., Prihatini, E., Ismail, R., Laksono, G. D., & Martha, R. (2023). Surface modification of fast-growing wood with a titanium-dioxide-based nanocoating to improve weathering resistance. *Coatings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/coatings13111924>
- Rahayu, I., Darmawan, W., Nugroho, N., Nandika, D., & Marchal, R. (2014). Demarcation point between juvenile and mature wood in sengon (*Falcataria moluccana*) and jabon (*Antocephalus cadamba*). *Journal of Tropical Forest Science*, 26, 331–339.
- Rahayu, I., Darmawan, W., Zaini, L. H., & Prihatini, E. (2020). Characteristics of fast-growing wood impregnated with nanoparticles. *Journal of Forestry Research*, 31(2), 677–685. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00902-3>
- Rahayu, I., Prihatini, E., Ismail, R., Darmawan, W., Karlinasari, L., & Laksono, G. D. (2022)b. Fast-growing magnetic wood synthesis by an in-situ method. *Polymers*, 14(11), 2137. <https://doi.org/10.3390/polym14112137>
- Rassam, G., Abdi, Y., & Abdi, A. (2012). Deposition of TiO<sub>2</sub> nano-particles on wood surfaces for UV and moisture protection. *Journal of Experimental Nanoscience*, 7(4), 468476. <https://doi.org/10.1080/17458080.2010.538086>
- Roque, R., Berrocal, A., Rodríguez Zúñiga, A., Vega Baudrit, J., & Chaves N, S. (2014). Effect of silver nanoparticles on white-rot wood decay and some physical properties of three tropical wood species. *Wood and Fiber Science: Journal of the Society of Wood Science and Technology*, 46, 527–538.
- Sharfudeen, B. F. J. M., Latheef, A. F. A., & Ambrose, R. V. (2017). Synthesis and characterization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and investigation of antimicrobial activities against human pathogens. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9, 1604–1608.
- Sjostrom E. (1993). *Wood Chemistry Fundamentals and Applications*. Academic Press: Laboratory of Wood Chemistry, Forest Products Department, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Sotelo Montes, C., Beaulieu, J., & Hernández, R. (2007). Genetic variation in wood mechanical properties of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *Wood and Fiber Science: Journal of the Society of Wood Science and Technology*, 39, 578 – 590.
- Standard, B. S. B. (1957). Standard 373–1957: methods of testing small clear specimens of timber. London, UK: British Standards Institution.
- Sumadiyasa, M., & Manuaba, I. B. S. (2018). Determining crystallite size using scherrer formula, Williamson-Hull plot, and particle size with SEM. *Buletin Fisika*, 19, 28. <https://doi.org/10.24843/BF.2018.v19.i01.p06>
- Sun, X., Xu, S., Gao, Y., Yue, M., Yue, Q., & Gao, B. (2017). 3D hierarchical golden wattle-like TiO<sub>2</sub> microspheres: Polar acetone-based solvothermal synthesis and enhanced water purification performance. *CrystEngComm*, 19. <https://doi.org/10.1039/C7CE00080D>
- Svora, P., Svorová Pawełkiewicz, S., Ecorchard, P., Plocek, J., Schieberová, A., Prošek, Z., Ptáček, P., Pošta, J., Targowski, P., Kuklík, P., & Jakubec, I. (2022). Study of Interactions between titanium dioxide coating and wood cell wall ultrastructure. *Nanomaterials* 12(15). <https://doi.org/10.3390/nano12152678>
- Syahidah, & Cahyono, T. D. (2008). Stabilisasi dimensi kayu dengan aplikasi parafin cair. *Perennial*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.24259/perennial.v4i1.178>
- Teng, T. J., Mat Arip, M. N., Sudesh, K., Nemoikina, A., Jalaludin, Z., Ng, E.-P., & Lee, H.-L. (2018). Conventional technology and nanotechnology in wood preservation: a review. *Bioresources*, 13, 9220–9252. <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.Teng>
- Wang, M., Wang, W., He, B. L., Sun, M. L., Bao, Y. S., Yin, Y. S., Liu, L., Zou, W. Y., & Xu, X. F. (2011). Corrosion behavior of hydrophobic titanium oxide film pre-treated in hydrogen peroxide solution. *Materials and Corrosion*, 62(4), 320–325. <https://doi.org/10.1002/maco.200905451>