

GREEN DEKORASI Au/ZnO NANOKOMPOSIT MELALUI MEDIA EKSTRAK DAUN GAHARU (*Aquilaria malaccensis* L.) DAN PENENTUAN NILAI SUN PROTECTION FACTOR

Aditya Ayuwindanda¹, Anjar Hermadi Saputro¹, Yogi Nopiandi Permana², Iwan Syahjoko Saputra^{1*}

¹Program Studi Kimia, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan,35365

¹Program Studi Farmasi, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan,35365

¹Program Studi Rekayasa Kosmetik, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan,35365

²Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI, Depok

*E-mail: iwan.saputra@km.itera.ac.id

Received : 19 Juli 2021; revised : 11 Agustus 2021; accepted : 30 Agustus 2021

ABSTRAK

GREEN DEKORASI Au/ZnO NANOKOMPOSIT MELALUI MEDIA EKSTRAK DAUN GAHARU (*Aquilaria malaccensis* L.) DAN PENENTUAN NILAI SUN PROTECTION FACTOR. Tujuan penelitian ini adalah mensintesis nanokomposit Au/ZnO melalui media *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak daun gaharu (*Aquilaria malaccensis* L). Ekstrak daun gaharu berfungsi sebagai bioreduktor alami dan *capping agent* dalam pembentukan nanokomposit Au/ZnO. Kehadiran koloid Au pada permukaan ZnO dapat merubah nilai celah pita, struktur kristal, ukuran partikel, dan nilai *sun protection factor* (SPF) ZnO. Au/ZnO nanokomposit memiliki nilai celah pita sebesar 3,0 eV dan hasil karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) menunjukkan puncak kristalinitas pada 2θ : 33,6°; 35,1°; 36,3°; 46,6°; 54,7°; 59,7°; 64,3°; dan 66,2° dengan rata-rata ukuran kristalit sebesar 37 nm. Gugus fungsi yang terkandung dalam ekstrak daun gaharu adalah O-H (3300 cm^{-1}) berfungsi sebagai bioreduktor ion Au^{3+} menjadi Au^0 , C=C (1620 cm^{-1}), dan C-N (1350 cm^{-1}) berfungsi sebagai sumber basa dalam pembentukan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ menjadi ZnO. Vibrasi Au-Zn-O terlihat pada bilangan gelombang 498 cm^{-1} . Nilai SPF pada Au/ZnO nanokomposit sebesar 18,28. Dari data karakterisasi menunjukkan bahwa media ekstrak daun gaharu dapat digunakan sebagai bioreduktor alami, sumber basa, dan *capping agent* dalam dekorasi Au pada permukaan ZnO (Au/ZnO) nanokomposit.

Kata Kunci: Nanokomposit, Au/ZnO, SPF, Green Dekorasi

ABSTRACT

GREEN DECORATED OF Au/ZnO NANOKOMPOSIT BY MEDIA OF *Aquilaria malaccensis* L. LEAF EXTRACT AND DETERMINATION OF SUN PROTECTION FACTOR VALUE. The aim of this research is to synthesize of Au/ZnO nanocomposite using green synthesis media by utilizing of *Aquilaria malaccensis* L. leaf extract. *Aquilaria malaccensis* L. leaf extract functions as a natural bioreductors and capping agent in the formation of Au/ZnO nanocomposites. The presence of Au colloid on ZnO surface can change the band gap energy, crystal structure, particle size, and sun protection factor (SPF) value of ZnO. Au/ZnO nanocomposite has a band gap of 3.0 eV and the results of XRD characterization showed the crystallinity peaks at 2θ : 33.6°; 35.1°; 36.3°; 46.6°; 54.7°; 59.7°; 64.3°; and 66.2° with the average crystallite size of 37 nm. The functional group contained in the *Aquilaria malaccensis* L. leaf extract is O-H (3300 cm^{-1}), which has the function as a bioreductors of Au^{3+} to Au^0 , C=C (1620 cm^{-1}), and C-N (1350 cm^{-1}), which have the function as a base source in the formation of $\text{Zn}(\text{OH})_2$ to ZnO. Vibrations of Au-Zn-O are seen at wavenumbers of 498 cm^{-1} . The Au/ZnO nanocomposite has an SPF value of 18.28. From the characterization data, showed the *Aquilaria malaccensis* L. leaf extract has the function as a natural bioreductors, base source, and capping agent in the decorated of Au colloid on ZnO surface (Au/ZnO) nanocomposite.

Keywords: Nanocomposite, Au/ZnO, SPF, Green Decorated

PENDAHULUAN

ZnO merupakan salah satu material semikonduktor tipe II-VI yang memiliki nilai celah pita lebar 3,33 eV dengan energi eksitasi sebesar 60 MeV (Parra and Haque 2014). Eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi membutuhkan energi yang sangat besar pada daerah UV. Untuk mengurangi kebutuhan energi eksitasi elektron maka ZnO dapat dimodifikasi menggunakan logam lain. Logam Pt, Ag, Au (Vaiano *et al.* 2019), Cu (Chen *et al.* 2020), Ni (Hojamberdiev *et al.* 2021), dan Co (Lee *et al.* 2021) berhasil digunakan sebagai unsur doping material ZnO. Pada penelitian ini digunakan koloid Au dalam dekorasi permukaan ZnO. Koloid Au memiliki kestabilan partikel yang baik, perubahan warna yang terlihat secara visual, dan memiliki fenomena *surface plasmonic resonance* (SPR) pada daerah tampak (Li *et al.* 2021).

Kehadiran unsur modifikasi pada permukaan ZnO dapat menurunkan energi celah pita, mengubah struktur kristal, bentuk morfologi, dan ukuran partikel. Material ZnO berhasil diaplikasikan sebagai fotokatalis (Nguanprang *et al.* 2020), antibakteri (Danial *et al.* 2020), antimikroba (Li *et al.* 2021), sensor gas NOX (Nunday *et al.* 2020), dan fotodegradasi zat warna metilen biru (Smazna *et al.* 2019). Selain itu, ZnO juga dapat diaplikasikan sebagai support material pada formulasi sediaan tabir surya (Baek *et al.* 2017).

Salah satu parameter penting dalam produk tabir surya adalah nilai SPF. Bila nilai SPF dalam produk tabir surya diatas 15 maka memiliki efektivitas yang baik sebagai pelindung kulit dari paparan sinar radiasi UV (He *et al.* 2021).

Sinar radiasi UV memiliki rentang panjang gelombang 320 nm - 400 nm (UVA), 290 nm - 320 nm (UVB), dan 200 nm - 290 nm (UVC). Sinar radiasi UVB mampu menembus lapisan kulit epidermis sehingga dapat mengakibatkan kanker kulit (Sharma, Tyagi, and Bansal 2021). Banyak ditemukan nilai SPF pada material ZnO masih dibawah nilai 15 sehingga perlu dilakukan modifikasi pada permukaan ZnO. Dekorasi koloid Au pada permukaan ZnO diharapkan mampu meningkatkan nilai SPF sehingga dapat diaplikasikan pada produk tabir surya.

Sintesis ZnO melibatkan sumber basa seperti senyawa heksamina (Patra *et al.* 2017), NaOH (Navas *et al.* 2020), dan urea (Wu *et al.* 2016). Senyawa kimia ini berbahaya dan tidak ramah lingkungan. Untuk mengurangi tingkat toksisitas sumber basa ini maka bisa digunakan sumber basa alami dari ekstrak tanaman. Ekstrak daun *Aloe vera* (Elizabeth and Mary 2015), *Lemongrass* (Anvekar, Chari, and Kadam 2017), *Imperata cylindrica* L *Raeusch* (Saputra *et al.* 2020), *Garcinia xanthochymus* (Nethravathi *et al.* 2015), *Artocarpus gomezianus* (Suresh *et al.* 2015), *Vitex negundo* L (Ambika and Sundrarajan

2015), *Carica papaya* (Sharma 2016), *Cylea barbata miers* (Zuas, Kristiani, and Haryono 2015), *Solanum nigrum* (Ramesh, Anbuvaran, and Viruthagiri 2015), *Agathosma betulina* (Thema *et al.* 2015), *Moringa eleifera* (Elumalai *et al.* 2015), *Tribulus terrestris* (Zhao, Wang, and Liu 2015), *Asphalathus linearis* (Diallo *et al.* 2015), *Pongamia pinnata* (Sundrarajan, Ambika, and Bharathi 2015), *Plectranthus amboinicus* (Fu and Fu 2015), dan *Ficus carica* Linn (Saputra *et al.* 2021) berhasil difungsikan sebagai media dalam sintesis ZnO. Selama ini belum pernah dilakukan dekorasi Au terhadap permukaan ZnO dengan memanfaatkan ekstrak daun gaharu sebagai media.

Tanaman gaharu (*Aquilaria malaccensis* L) banyak tumbuh di Sumatera dan Kalimantan. Ekstrak daun gaharu memiliki aktivitas antioksidan dan antibakteri. Hasil skrining fitokimia, ekstrak daun gaharu mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan fenol (Sari *et al.* 2020). Dengan adanya senyawa flavonoid dan alkaloid dalam ekstrak daun gaharu diharapkan dapat berfungsi sebagai bioreduktor alami, sumber basa, dan capping agent dalam dekorasi Au/ZnO nanokomposit. Gugus fungsi -OH (hidroksil) dalam flavonoid mampu berperan sebagai bioreduksi ion Au³⁺ menjadi Au⁰ dan gugus fungsi C-N (amina) pada senyawa alkaloid berperan sebagai sumber basa pembentukan Zn(OH)₂ dan membentuk ZnO. Tujuan penelitian ini yaitu dekorasi permukaan ZnO melalui media ekstrak daun gaharu untuk merubah sifat optik, menurunkan energi celah pita, struktur kristal, dan meningkatkan nilai SPF pada material ZnO. Proses dekorasi koloid Au pada permukaan ZnO dilakukan melalui proses preparasi sampel daun gaharu, pencampuran secara *in-situ* prekursor seng nitrat heksahidrat, larutan HAuCl₄ dengan ekstrak daun gaharu dan karakterisasi serbuk Au/ZnO nanokomposit menggunakan Instrumentasi. Dekorasi Au/ZnO nanokomposit yang dibuat melalui ekstrak daun gaharu diharapkan menjadi material masa depan dalam perkembangan teknologi dan dapat dijadikan sebagai material tambahan pada sediaan kosmetik dengan nilai SPF yang tinggi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Prekursor yang digunakan yaitu Zn(NO₃)₂·6H₂O (*Zinc nitrate hexahydrate*) (99 %) dan HAuCl₄ (*Tetrachloroauric III acid*) (99.9%) dibeli dari Sigma-Aldrich (Missouri, United States). Akuabides dibeli dari Laboratorium DKSH. Sampel daun gaharu didapat dari daerah Lampung Tengah, Indonesia.

Metode

a. Preparasi Ekstrak Daun Gaharu

Sebanyak 25 g daun gaharu segar dicuci dan dipotong kecil-kecil lalu dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL. Potongan kecil daun gaharu ditambahkan 100 mL akuabides lalu diaduk selama 30 menit pada pemanasan 65 °C (Elumalai *et al.* 2015). Filtrat yang didapat disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 1 untuk mendapatkan larutan stok ekstrak daun gaharu. Larutan stok ekstrak daun gaharu dilakukan uji fitokimia. Ekstrak daun gaharu selanjutnya digunakan untuk dekorasi Au/ZnO nanokomposit.

b. Green Dekorasi Au/ZnO Nanokomposit

Sebanyak 3 g $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ dimasukkan ke dalam gelas erlenmeyer 100 mL. Lalu ditambahkan larutan $H AuCl_4$ (1×10^{-4} M) sebanyak 20 mL. Campuran diaduk selama 10 menit tanpa perlakuan pemanasan. Setelah itu, campuran tersebut ditambahkan 25 mL ekstrak daun gaharu secara perlahan dan diaduk selama 4 jam pada pemanasan 65 °C. Koloid Au-Zn(OH)₂ yang terbentuk di kalsinasi selama 8 jam pada pemanasan 500 °C untuk mendapatkan serbuk Au/ZnO nanokomposit.

c. Sintesis Nanopartikel ZnO

Sebanyak 3 g $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ direaksikan dengan 25 mL ekstrak daun gaharu dan diaduk selama 4 jam pada pemanasan 65 °C (Zhao, Wang, and Liu 2015). Koloid Zn(OH)₂ yang terbentuk di kalsinasi selama 8 jam pada pemanasan 500 °C untuk mendapatkan serbuk nanopartikel ZnO.

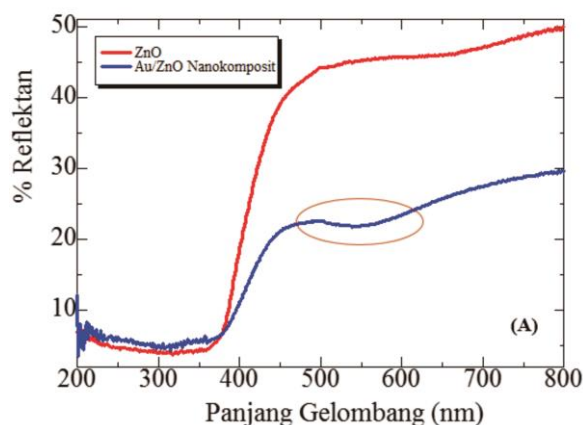
Karakterisasi

Serbuk ZnO dan Au/ZnO nanokomposit dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS (Shimadzu 2450) pada panjang gelombang 200 nm - 800 nm, Spektroskopi FTIR (Shimadzu Prestige 21) pada bilangan gelombang 4000 cm^{-1} - 400 cm^{-1} , Spektroskopi XRD (Shimadzu 610) pada sudut 2θ : 20°-80°, Spektroskopi EDX (Evo MA10-ZEISS instrument), dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 2600) pada panjang gelombang 200 nm - 400 nm.

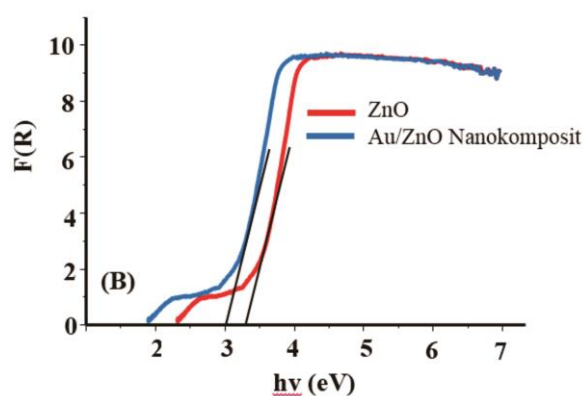
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstrak daun gaharu (*Aquilaria malaccensis L*) memiliki warna hijau muda yang menandakan adanya kandungan senyawa metabolit sekunder. Hasil uji fitokimia menandakan positif senyawa flavonoid, alkaloid, dan tanin. Ketiga senyawa ini berperan penting dalam dekorasi Au/ZnO nanokomposit. Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis DRS digunakan untuk menentukan puncak serapan dan nilai celah pita Au/ZnO nanokomposit. Gambar 1 merupakan spektrum UV-Vis DRS dan plot nilai celah pita Au/ZnO

nanokomposit. Au/ZnO nanokomposit memiliki puncak serapan pada panjang gelombang 548 nm. Hal ini menandakan kehadiran Au pada permukaan ZnO (Senthilraja *et al.* 2016). Koloid Au memiliki fenomena *surface plasmonic resonance* (SPR) (Saputra, Yulizar, and Sudirman. 2018) yang terlihat jelas pada daerah tampak yang dapat ditunjukkan pada gambar 1a. Persentase reflektan Au/ZnO nanokomposit juga lebih rendah dibandingkan ZnO. Hal ini mengindikasikan penyerapan oleh sinar pada daerah tampak semakin kuat. Gambar 1b merupakan plot antara $F(R)$ dengan $(h\nu)$ dari ZnO dan Au/ZnO nanokomposit yang disintesis menggunakan media ekstrak daun gaharu. $F(R)$ merupakan transformasi mode reflektan (R) untuk memisahkan tingkat penyerapan dari hamburan dan $(h\nu)$ merupakan energi cahaya yang diserap. Penggabungan $F(R)$ dan $(h\nu)$ didapatkan nilai energi celah pita nanopartikel ZnO.



(a)



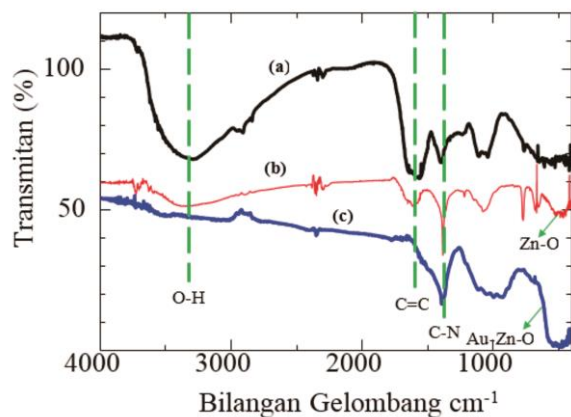
(b)

Gambar 1. (a) Spektrum UV-Vis dan (b) plot bandgap ZnO dan Au/ZnO nanokomposit.

ZnO dan Au/ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun gaharu memiliki nilai celah pita masing-masing sebesar 3,3 eV dan 3,0 eV. Perbedaan nilai energi celah pita ini

mengindikasikan adanya pengaruh kehadiran Au pada struktur kristal nanopartikel ZnO. Atom Au dapat menggantikan salah satu kisi pada struktur kristal ZnO, sehingga kristalinitas ZnO mengalami perubahan yang ditandai dengan penurunan nilai energi celah pita dari 3,3 menjadi 3,0 eV (Yu, Jiang, and Ai. 2015).

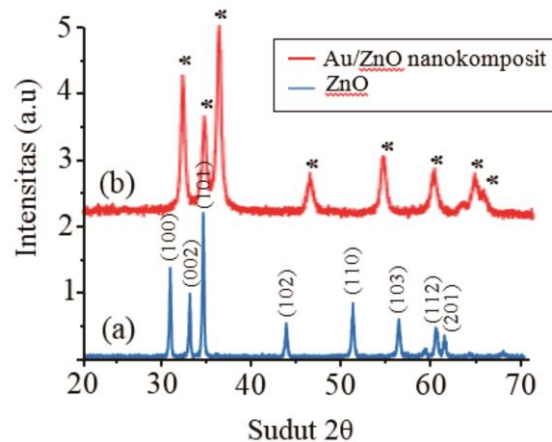
Spektroskopi FTIR berfungsi untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat dalam metabolit sekunder pada ekstrak daun gaharu. Gambar 2 merupakan spektrum FTIR dari ekstrak daun gaharu dan vibrasi Au-Zn-O. Spektrum ekstrak daun gaharu memperlihatkan gugus fungsi O-H, C=C, dan C-N yang terlihat pada bilangan gelombang 3300 cm^{-1} , 1620 cm^{-1} , dan 1350 cm^{-1} (Zhao, Wang, and Liu 2015) (gambar 2a). ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun gaharu masih memiliki puncak serapan O-H, C=C, dan C-N yang terlihat pada bilangan gelombang 3302 cm^{-1} , 1622 cm^{-1} , dan 1342 cm^{-1} (gambar 2b). Au/ZnO nanokomposit memiliki puncak serapan pada 1332 cm^{-1} (C-N). Hilangnya puncak serapan pada bilangan gelombang 3300 cm^{-1} (O-H) dan 1620 cm^{-1} (C=C) pada spektrum Au/ZnO nanokomposit mengindikasikan bahwa gugus fungsi O-H berfungsi sebagai bioreduktor ion Au^{3+} menjadi Au^0 yang terjadi pada permukaan ZnO yang ditunjukkan pada gambar 2c. Untuk gugus fungsi C-N berfungsi sebagai pendonor elektron (sumber basa lemah) pada $\text{Zn}(\text{OH})_2$ dan membentuk ZnO. Vibrasi Zn-O dan Au-Zn-O terlihat pada bilangan gelombang 496 cm^{-1} dan 498 cm^{-1} (Ambika and Sundrarajan 2015).



Gambar 2. Spektrum FTIR (a) ekstrak daun gaharu, (b) ZnO, dan (c) Au/ZnO nanokomposit.

Analisis menggunakan XRD berfungsi untuk menentukan sudut difraksi, kristalinitas, dan rata-rata ukuran kristalit ZnO dan Au/ZnO nanokomposit. Gambar 3 merupakan spektrum XRD perbedaan puncak difraksi antara ZnO dan Au/ZnO nanokomposit. ZnO memiliki puncak difraksi yang terlihat pada sudut 2θ : 32,6°; 33,3°; 34,4°; 44,3°; 52,4°; 57,7°; 61,2°; dan 62,7° yang ditunjukkan pada gambar 3a. Terjadi pergeseran puncak difraksi untuk Au/ZnO nanokomposit

yang terlihat pada 2θ : 33,6°; 35,1°; 36,3°; 46,6°; 54,7°; 59,7°; 64,3°; dan 66,2°. Data ini sesuai dengan JCPDS No. 36-1451 dengan indeks miller: 100, 002, 101, 102, 110, 103, 112, dan 201 yang ditunjukkan pada gambar 3b (Sundrarajan, Ambika, and Bharathi 2015).



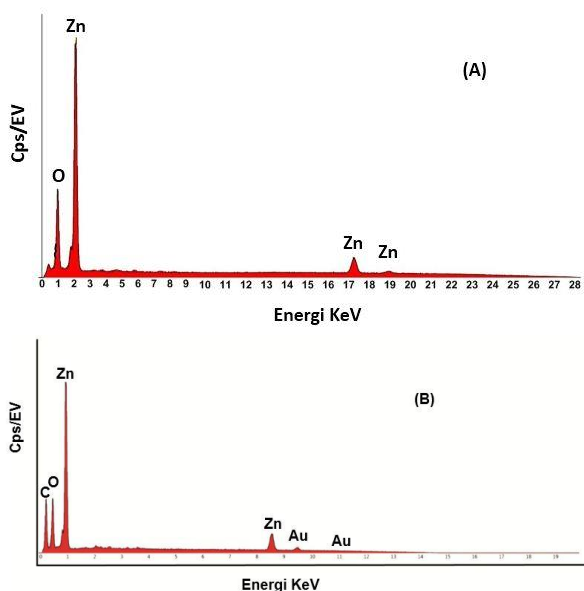
Gambar 3. Spektrum XRD (a) ZnO dan (b) Au/ZnO nanokomposit.

Ukuran rata-rata kristalit ZnO dan Au/ZnO ditentukan melalui persamaan Debye-Scherrer (Elumalai *et al.* 2015):

$$D = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

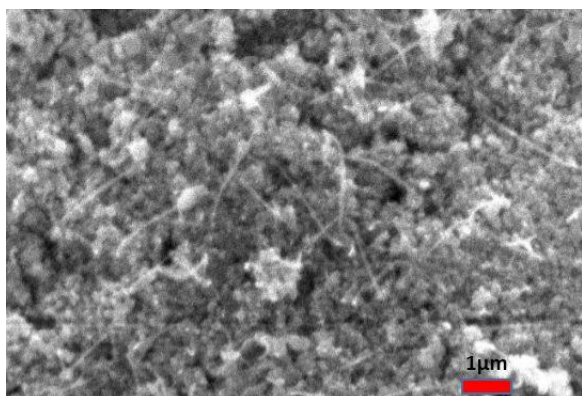
D merupakan rata-rata kristalit, λ merupakan panjang gelombang dari radiasi Cu-K (1.54056 Å), β merupakan lebar setengah dari puncak maksimum, dan θ merupakan sudut difraksi. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan rata-rata ukuran kristalit ZnO dan Au/ZnO nanokomposit masing-masing sebesar 25 nm dan 37 nm. Ukuran kristalit Au/ZnO nanokomposit lebih besar daripada ZnO. Hal ini disebabkan adanya pengaruh proses pemansan saat kalsinasi berlangsung. Selain itu, kehadiran Au yang berhasil menjadi unsur dekorasi pada permukaan ZnO menyebabkan ukuran kristalit nanopartikel ZnO meningkat (Wozniak *et al.* 2016).

Karakterisasi spektroskopi EDX digunakan untuk mengetahui persentase komposisi senyawa. Gambar 4 merupakan spektrum EDX dari ZnO dan Au/ZnO nanokomposit. Pada spektrum nanopartikel ZnO (gambar 4a) menunjukkan unsur Zn dan O dengan masing-masing komposisi 89,17% dan 10,83%. Sedangkan pada spektrum Au/ZnO nanokomposit (gambar 4b) terlihat komposisi yang terkandung yaitu unsur C (5,11%), Au (3,28%), dan Zn (76,50%), dan O (15,11). Dari spektrum EDX mengindikasikan bahwa Au berhasil digunakan sebagai unsur dekorasi pada permukaan ZnO dengan persentase unsur sebesar 3,28%.



Gambar 4. Spektrum EDX (a) ZnO dan (b) Au/ZnO nanokomposit

Analisis menggunakan SEM berfungsi untuk mengetahui bentuk permukaan Au/ZnO dan Au/ZnO nanokomposit masing-masing. Gambar 5 merupakan morfologi Au/ZnO nanokomposit pada perbesaran 20.000x.



Gambar 5. Morfologi Au/ZnO nanokomposit

Morfologi Au/ZnO nanokomposit yang disintesis menggunakan ekstrak daun gaharu memiliki bentuk gumpalan-bulat. Ukuran partikel terlihat belum begitu homogen dengan rata-rata ukuran 1 μ m. Hal ini dimungkinkan terjadi aglomerasi yang disebabkan adanya ekstrak yang menyelimuti permukaan partikel Au/ZnO nanokomposit.

Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan nilai absorbansi, panjang gelombang, dan nilai SPF ZnO dan Au/ZnO nanokomposit. Hasil data pengukuran UV-Vis terlihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan nilai absorbansi dan panjang gelombang yang digunakan untuk perhitungan nilai SPF ZnO dan Au/ZnO nanokomposit.

Tabel 1. Nilai absorbansi ZnO dan nanokomposit Au/ZnO

Bilangan Gelombang (nm)	Absorbance (ZnO)	Absorbance (Au/ZnO)	EE x I (normalised)
290	0,75	1,51	0.150
295	0.74	1,61	0.0812
300	0.73	1,53	0.2874
305	0.77	1,70	0.3278
310	0.71	1,63	0.1864
315	0.73	1,71	0.0837
320	0.76	1,72	0.0180

Penentuan nilai SPF menggunakan persamaan Mansur-Mathematical (He *et al.* 2021):

$$SPF = CF \sum_{290 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} EE \times I \times ABS \quad (2)$$

CF adalah faktor koreksi (10), ABS merupakan nilai absorbansi sampel, EE adalah efek eritemal dari radiasi panjang gelombang (λ), dan I intensitas pancaran spektrum (λ). Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai SPF ZnO sebesar 8,39 dan 18,28. Nilai SPF Au/ZnO nanokomposit lebih dari 15 sehingga mengindikasikan Au/ZnO nanokomposit memiliki aktivitas tabir surya yang baik dan berpotensi sebagai bahan tambahan dalam sediaan kosmetik (Sharma, Tyagi, and Bansal 2020). Dari data hasil karakterisasi, dekorasi Au pada permukaan ZnO berhasil dilakukan melalui media ekstrak daun gaharu dan mampu meningkatkan nilai SPF pada ZnO dari 8,39 menjadi 18,28. Serbuk Au/ZnO nanokomposit dapat diaplikasikan sebagai *support material* dalam sediaan kosmetik pada produk tabir surya (*sunscreen*).

KESIMPULAN

Dekorasi Au terhadap permukaan ZnO berhasil dilakukan melalui media ekstrak daun gaharu. Gugus fungsi O-H, C=C, dan C-N berperan sebagai bioreduktor alami, sumber basa, dan *capping agent* Au/ZnO nanokomposit. Vibrasi Au-Zn-O terlihat kuat pada bilangan gelombang 498 cm^{-1} . Kehadiran Au pada permukaan ZnO dapat menurunkan nilai energi celah pita ZnO dari 3,3 eV menjadi 3,0 eV. Rata-rata ukuran kristalit ZnO sebesar 25 nm dan Au/ZnO nanokomposit sebesar 37 nm. Komposisi unsur yang terkandung yaitu C (5,11%), Au (3,28%), dan Zn (76,50%), dan O (15,11). Kehadiran Au pada permukaan ZnO dapat meningkatkan nilai SPF dari 8,39 menjadi 18,28.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Institut Teknologi Sumatera melalui Research Grant for Hibah Publikasi GBU-45.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambika, S., M. Sundrarajan. 2015. "Green biosynthesis of ZnO nanoparticles using Vitex negundo L. extract: Spectroscopic investigation of interaction between ZnO nanoparticles and human serum albumin." *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 149: 143-148.
- Anvekar, T.S., V.R. Chari, H. Kadam. 2017. "Green synthesis of ZnO nano particle, its characterization and application." *Material Reseach India*, 4 (2): 153-157.
- Baek, S., S.H. Joo, N. Kumar, M. Toborek. 2017. "Antibacterial effect and toxicity pathways of industrial and sunscreen ZnO nanoparticles on *Escherichia coli*." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (3): 3024-3032.
- Chen, Y., Y. Zhang, H. Zhang, C. Chen. 2020. "Design and evaluation of Cu-modified ZnO microspheres as a high performance formaldehyde sensor based on density functional theory." *Applied Surface Science*, 532: 147446.
- Danial, E.N., M. Hjiri, M.S.A. Wahab, N.H. Alonizan, L.E. Mir, M.S. Aida. 2020. "Antibacterial activity of In-doped ZnO nanoparticles." *Inorganic Chemistry Communication*, 122: 108281.
- Diallo, A., B.D. Ngom., E. Park, M. Maaza. 2015. "Green synthesis of ZnO nanoparticles by *Aspalathus linearis*: Structural & optical properties." *Journal of Alloys and Compound*, 646: 425-430.
- Elizabeth, V., G. Mary. 2015. "Green synthesis of ZnO nanoparticles." *International Journal of Advance Research In Science and Engineering*, 4 (1): 307-314.
- Elumalai, K., S. Velmurugan, S. Ravi, V. Karthiravan, S. Ashokkumar. 2015. "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Moringa oleifera* leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*: 143, 158-164.
- Fu, L., Z. Fu. 2015. "Plectranthus amboinicus leaf extract-assisted biosynthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic activity." *Ceramics International*, 41: 2492-2496.
- He, H., A. Li, S. Li, J. Tang, L. Li, L. Xiong. 2021. "Natural components in sunscreen: Topical formulation with sun protection factor (SPF)." *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 134: 111161.
- Lee, Y., S. Kim, S.Y. Jeong, S. Seo, C. Kim, H. Yoon, H.W. Jang, S. Lee. 2021. "Surface-Modified Co-doped ZnO photoanode for photoelectrochemical oxidation of glycerol." *Catalysis Today*, 359: 43-49.
- Li, S., F.A.A. Misned, H.A.E. Serehy, L. Yang. 2021. "Green synthesis of gold nanoparticles using aqueous extract of *Mentha Longifolia* leaf and investigation of its anti-human breast carcinoma properties in the in vitro condition." *Arabian Journal of Chemistry*, 14 (2): 102931.
- Navas, D., A. Ibanez, I. Gonzales, J.L. Palma, P. Dreyse. 2020. "Controlled dispersion of ZnO nanoparticles produced by basic precipitation in solvothermal processes." *Heliyon*, 6 (12): 05821.
- Nethravathi, P.C., G.S. Shruthi, D. Suresh, Udayabhanu, H. Nagabhushana, S.C. Sharma. 2015. "Garcinia xanthochymus mediated green synthesis of ZnO nanoparticles: photoluminescence, photocatalytic, antioxidant activity studies." *Ceramics International*, 41: 8680-8687.
- Nguanprang, S.S., A. Phuruangrat, T. Thongtem, S. Thongtem. 2020. "Characterization and photocatalysis of visible-light-driven Dy-doped ZnO nanoparticles synthesized by tartaric acid-assisted combustion method." *Inorganic Chemistry Communication*, 117: 107944.
- Nundy, S., T. Eom, K.Y. Song, J.S. Park, H.J. Lee. 2020. "Hydrothermal synthesis of mesoporous ZnO microspheres as NOX gas sensor materials-calcination effects on microstructure and sensing performance." *Ceramics International*, 46 (11): 19354-19364.
- Parra, M.R., F.Z. Haque. 2014. "Aqueous chemical route synthesis and the effect of calcination temperature on the structural and optical properties of ZnO nanoparticles." *Journal of Materials Research and Technology*, 3 (4): 63-69.
- Patra, S., D. Verma, A.K. Kole, C.S. Tiwary, D. Kundu, S. Chaudhuri, P. Kumbhakar. 2017. "Optical, structural properties and antibacterial activities of uncapped and HMTA capped ZnO nanoparticles." *Materialstoday communications*, 12: 133-145.
- Ramesh, M., M. Anbuvaran, G. Viruthagiri. 2015. "Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Solanum nigrum* leaf extract and their antibacterial activity, Spectrochim." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136: 864-870.
- Saputra, I.S., S. Suhartati, Y. Yulizar, Sudirman.

2020. "Synthesis and characterization of Gold nanoparticles (AuNPs) by utilizing bioactive compound *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch." *Indonesian Journal of Applied Chemistry*, 22 (1): 1-7.
- Saputra, I.S., S. Suhartati, Y. Yulizar, Sudirman. 2021. "Green synthesis nanopartikel ZnO menggunakan media ekstrak daun tin (*Ficus carica* Linn)." *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 42 (1): 1-6.
- Saputra, I.S., Y. Yulizar, Sudirman. 2018. "Effect of concentration of *Imperata cylindrica* L leaf extract on synthesis process of gold nanoparticles." *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19 (2): 72-76.
- Sari, D.I., D. Rahmawanty, Y. Jultan, S.S. Naba. 2020. "Sediaan ekstrak air daun gaharu (*Aquilaria microcarpa*) memiliki potensi memperbaiki kulit yang terpapar sinar ultraviolet." *Jurnal Pharmascience*, 7 (1): 36-42.
- Senthilraja, A., B. Krishnakumar., B. Subash, A.J.F.N. Sobral, M. Swaminathan, M. Shanthi. 2016. "Sn loaded Au-ZnO photocatalyst for the degradation of AR 18 dye under UV-A light." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 33: 51-58.
- Sharma, S.C.. 2016. "ZnO nano-flowers from *Carica papaya* milk: degradation of alizarin red-s dye and antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*." *Optik*. 127: 6498-6512.
- Sharma, T., V. Tyagi, M. Bansal. 2020. "Determination of sun protection factor of vegetable and fruit extracts using UV-Visible spectroscopy: A green approach." *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18: 100347.
- Smazna, D., S. Shree, O. Polonskyi, S. Lamaka, M. Baum, M. Zheludkevich, F. Faupel, R. Adelung, Y.K. Mishra. 2019. "Mutual interplay of ZnO micro-and nanowires and methylene blue during cyclic photocatalysis process." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (2): 103016.
- Sundrarajan, M., S. Ambika, K. Bharathi. 2015. "Plant-extract mediated synthesis of ZnO nanoparticles using *Pongamia pinnata* and their activity against pathogenic bacteria." *Advanced Powder Technology*, 26: 1294-1299.
- Suresh, D., R.M. Sobharani, P.C. Nethravathi, M.A.P. Kumar, H. Nagabhushana, S.C. Sharma. 2015. "Artocarpus gomezianus aided green synthesis of nanoparticles: photoluminescence, photocatalytic, antioxidant activity studies." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 141: 128-134.
- Thema, F.T., E. Manikandan, M.S. Dhlamini, M. Maaza. 2015. "ZnO nanoparticles via *Agathosma betulina* natural extract." *Materials Letters*, 161: 124-127.
- Vaiano, V., C.A.J. Paez, M. Matarangolo, J.A. Navio, M.C Hidalgo. 2019. "UV and visible-light driven photocatalytic removal of caffeine using ZnO modified with different noble metals (Pt, Ag and Au)." *Materials Research Bulletin*, 112: 251-260.
- Wozniak, P.S., O. Rac, R. Klimkiewicz, M. Fiedot, H. Tetrycz. 2016. "Dehydrogenation properties of ZnO and the impact of gold nanoparticles on the proces." *Applied Catalysis A: General*, 514: 135-145.
- Wu, H., M. Qin, A. Chu, Z. Cao, P. Chen, Y. Liu, X. Qu. 2016. "Effect of urea on the synthesis of Al-doped ZnO nanoparticles and its adsorptive properties for organic pollutants." *Materials Research Bulletin*, 75, 78-82.
- Yu, Q., L. Jiang, T. Ai. 2015. "Fabrication and characterization of Au-doped ZnO nanocandles synthesized on diamond film." *Materials Letters*, 152: 142-144.
- Zhao, Z.Y., M.H. Wang, T.T. Liu. 2015. "Tribulusterrestris leaf extract assisted green synthesis and gas sensing properties of Ag-coated ZnO nanoparticles." *Materials Letters*, 158: 274-277.
- Zuas, O., A. Kristiani, A. Haryono. 2015. "Synthesis of the Nanostructured Zinc Oxide Using the Soft template of *Cylea barbata* miers Extract and its Promising Property for Dye Adsorbent." *Journal of Advanced Materials and Processing*, 3 (1): 39-50.