

## Green Sintesis dan Karakterisasi Material Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO Menggunakan Ekstrak Daun *Wedelia trilobata* (L.)

Stefhanie B. Sarimanella<sup>1,2</sup>, Apriliska Titahena<sup>1,2</sup>, Altje Latununuwe<sup>1,2</sup>✉, Estevanus Kristian Huliselan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Pattimura, Ambon

<sup>2</sup>Laboratorium Pendidikan Fisika, Jl. Dr. Tamaela, Kompleks PGSD Univeritas Pattimura Ambon, 97233, Indonesia

### Article History

Received February 12, 2022

Received in revised March 29, 2022

Accepted April 24, 2022

Available online June 15, 2022

### ✉ Corresponding author:

Altje Latununuwe

### E-mail address:

[alatununuwe@gmail.com](mailto:alatununuwe@gmail.com)

### Abstrak

Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO telah berhasil disintesis dengan menggunakan ekstrak daun *Wedelia trilobata* (L.) dengan TiCl<sub>3</sub> dan Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O sebagai prekursor. Material yang terbentuk kemudian dikarakterisasi *scanning electron microscopy* (SEM) untuk mengetahui bentuk dan ukuran dan karakterisasi *energy dispersive X-ray* (EDX) untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung di dalam material nanokomposit tersebut. Hasil SEM dan EDX menunjukkan material berbentuk bulat dan berukuran rata-rata 42 nm dan komposisi TiO<sub>2</sub> sebesar 73,38% dan CuO sebesar 4,32%. Selanjutnya sampel dikarakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) yang mana puncak-puncak difraksi berada pada sudut 2 theta, 25,646° dan 47,511° yang menunjukkan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. Sementara itu, puncak-puncak pada 38,367° dan 74,379° mengindikasikan nanopartikel CuO. Penentuan energi band gap material menggunakan hasil *ultraviolet visible* (UV-Vis) adalah sebesar 3,5 eV. Pengukuran sifat magnetik menggunakan peralatan VSM. Berdasarkan kurva hysteresis material nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO memiliki sifat diamagnetik dan sebagai bahan *soft magnet*.

**Kata kunci:** *Wedelia trilobata* (L.); SEM-EDX; XRD; Uv-Vis; Diamagnetik

### Abstract

TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite has been successfully synthesized using *Wedelia trilobata* (L.) leaf extract with TiCl<sub>3</sub> and Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O as precursors. The material formed was then characterized by scanning electron microscopy (SEM) to determine the shape and size and then energy dispersive X-ray (EDX) characterization to determine the atomic composition contained in this nanocomposite material. The results of SEM and EDX show that the material is spherical in shape and has an average size of 42 nm. The composition of TiO<sub>2</sub> is 73.38% and CuO is 4.32%. Furthermore, the sample is characterized by X-ray diffraction (XRD) in which the diffraction peaks are at angles of 2 theta, 25.646° and 47.511° indicating TiO<sub>2</sub> nanoparticle. Meanwhile, peaks are at 38.367° and 74.379° indicate CuO nanoparticle. Determination of the energy band gap of the material using the results of ultraviolet visible (UV-Vis) is 3.5 eV. Measurement of magnetic properties using VSM equipment. Based on the hysteresis curve, the TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite material has diamagnetic properties and is a soft magnet material.

**Keywords:** *Wedelia trilobata* (L.); SEM-EDX; XRD; Uv-Vis; Diamagnetic

## 1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir ini, terdapat kajian penelitian nano yang cukup menarik yaitu sintesis logam dan logam oksidasi nanopartikel. Logam oksidasi nanopartikel memiliki sifat elektronik, optik, magnetik, dan kimia yang unik (Raja, dkk., 2015: 198). Contoh bahan logam oksidasi antara lain, yaitu titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dan tembaga oksida ( $\text{CuO}$ ). Selain itu, penelitian mengenai memanipulasi dan menggabungkan dua material dalam teknologi nano yang menghasilkan material nanokomposit berkembang pesat pula. Pada umumnya material nanokomposit menunjukkan perbedaan-perbedaan sifat mekanik, optik, elektrokimia, katalis dan struktur dengan material penyusunnya (Hadiyawarman, dkk., 2008). Sebagai contohnya adalah pada pembentukan material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  yang terdiri atas material  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{CuO}$ .

Material  $\text{TiO}_2$  adalah material semikonduktor dengan celah pita energi yang cukup lebar (3,2 eV), memiliki potensi oksidasi kuat, fotostabilitas tinggi dan tidak beracun serta dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi solar cell sehingga banyak diaplikasikan sebagai bahan fotokatalis, fotoanoda pada DSSC bahkan juga sebagai material cat dan kosmetik. Selain itu,  $\text{TiO}_2$  memiliki berbagai aplikasi dilingkungan antara lain sebagai penyaring udara dan pengobatan (Widiyandari, dkk., 2015; Kumar, 2014). Sementara itu,  $\text{CuO}$  nanopartikel mendapat perhatian karena material ini sangat penting dalam teknologi modern (Singh, dkk., 2016). Sebagai bahan semikonduktor  $\text{CuO}$  memiliki struktur monoklinik dengan celah pita langsung dari 1,21-1,51 eV (Swarnkar, dkk., 2009). Aplikasi nanopartikel  $\text{CuO}$  antara lain sebagai elektroda (Bello, dkk., 2014), nanofluid dalam perpindahan panas (Chang, dkk., 2011), dan teknologi solar sel (Nithya, dkk., 2014).

Selanjutnya, material nanokomposit juga mendapat perhatian penting dari para ahli. Hal ini disebabkan karena material ini memiliki sifat fisis maupun kimia yang dapat diaplikasikan sebagai bahan fotokatalis (Khodadadi, dkk., 2019; Gao, dkk., 2017; Lakbita, dkk., 2016; Nguyen, dkk., 2013). Material ini diaplikasikan juga pada industri makanan (Li, 2021) dan digunakan sebagai bahan optik non-linear (Dong, dkk., 2021).

Proses pembentukan material nanopartikel maupun nanokomposit menggunakan beberapa metode sintesis antara lain metode Sol-Gel (Aparna, dkk., 2012), *Wet Milling* (Huaman, dkk., 2014), *Hydrothermal and Anodization* (Venkatachalam, dkk., 2013), dan *Wet Chemical Route* (Raja, dkk., 2015). Metode-metode yang digunakan ini pada umumnya bersifat kimiawi. Di sisi lain penggunaan bahan kimia yang berlangsung terus-menerus dinilai tidak efisien serta dapat merusak lingkungan.

Solusi terhadap persoalan tersebut dapat diatasi melalui penggunaan metode yang sederhana dan memiliki efektivitas tinggi seperti metode *green* sintesis. Contoh dari metode *green* sintesis diantaranya menggunakan *Orange Fruit Waste* dan *Aloe Vera Extract* (Rao, dkk., 2015), *Planomicrobium Sp.* (Malarkodi, dkk., 2013), *Coffee Powder* (Fardood, dkk., 2016), *Nyctanthes Arbor-Tristis* (Sudrarajan, dkk., 2011), *Glouriosa Superbal L.* (Naika, dkk., 2015), *Cassia Alata* (Jayalakshmi, dkk., 2014) untuk sintesis  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{CuO}$ . Sementara itu, untuk sintesis  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sebagai contoh telah digunakan *Tilia Platyphyllos* (Khodadadi, dkk., 2019) dan *Averrhoa carambola* (Etape, dkk., 2017).

Bertolak dari penelitian oleh para ahli sebelumnya, maka dalam artikel ini dipaparkan *green* sintesis material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  dengan menggunakan ekstrak daun tumbuhan

*Wedelia trilobata* (seruni). Material nanokomposit yang dihasilkan dikarakterisasi SEM, EDX, UV-Vis dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

## 2. Metode

Sintesis material dimulai dengan menyiapkan 50 ml ekstrak daun *Wedelia trilobata* yang mana tumbuhan *Wedelia trilobata* dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya dibuat larutan yang terdiri dari 110 ml DI water, 1 ml  $\text{TiCl}_3$  (Merck), 0,8 gr  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Merck) dan 50 ml ekstrak daun *Wedelia trilobata*. Larutan ini kemudian diaduk selama 90 menit pada suhu 60 °C. Selama proses sintesis terjadi perubahan warna seperti terlihat pada Gambar 2, yang menandakan terbentuknya material nano. Material nanokomposit yang terbentuk disentrifius selama 30 menit dengan kecepatan 3600 rpm dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 120 jam.

Sampel material ini selanjutnya dikarakterisasi menggunakan peralatan SEM-EDX (JEOL JSM-6510 LA) untuk mengetahui morfologi, ukuran material dan jumlah unsur yang terkandung di dalam sampel. Karakterisasi XRD (PANalytical with Cu  $K\alpha$  radiation  $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) untuk mengetahui struktur, unsur serta ukuran diameter material. Pengukuran *spectrum* UV-Vis menggunakan UV-Vis spectrometer (Nano Calc-2000) dan pengukuran sifat magnetiknya menggunakan VSM tipe Oxford VSM 1.2H.



**Gambar 1.** Daun seruni (*Wedelia trilobata*)

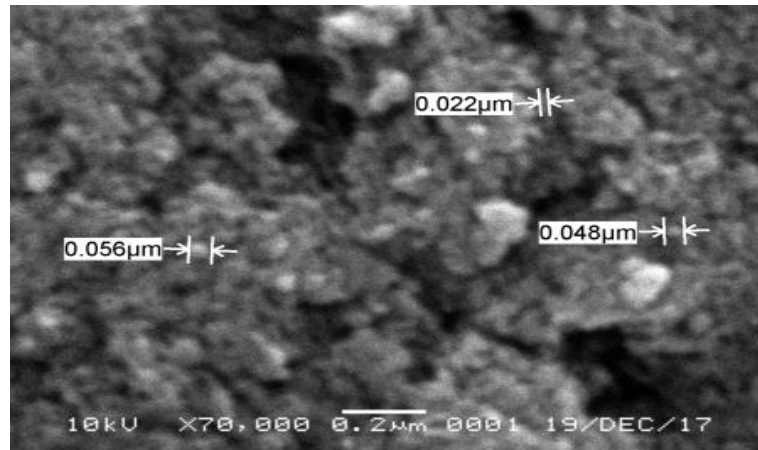


**Gambar 2.** Terjadi perubahan warna larutan pada saat proses sintesis.

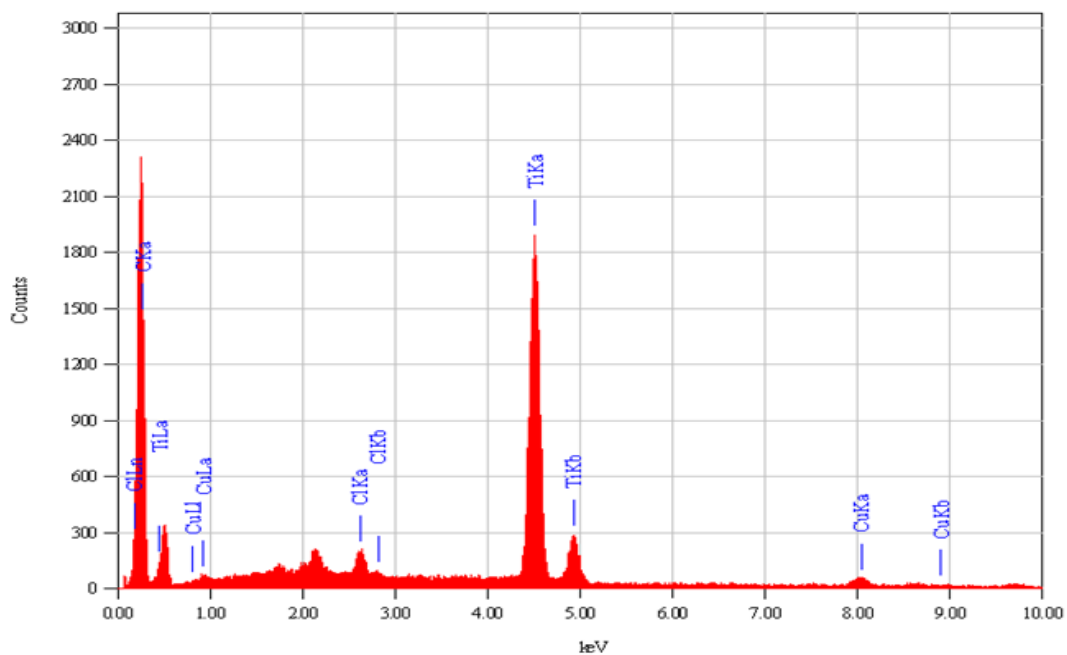
## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil karakterisasi SEM (Gambar 3) dan EDX (Gambar 4) serta tabel informasi unsur-unsur yang terkandung di dalamnya (Tabel 1). Berdasarkan Gambar 3, ukuran kristal material nanokomposit ini tidak seragam, ada yang berukuran 22 nm, 48 nm dan 56 nm serta berbentuk bulat. Bentuk nanokomposit ini mirip dengan yang didapati oleh periset yang lain (Khodadadi,

dkk., 2019). Dari hasil EDX seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan Tabel 1, komposisi atomik  $\text{TiO}_2$  yang paling besar, yakni 73.38 % sedangkan 4.32 % adalah komposisi atomik  $\text{CuO}$ . Komposisi atomik C cukup besar, yakni 20.64 % dan diperkirakan berasal dari larutan ekstrak daun seruni. Selain itu, juga adanya unsur Cl pada sampel dengan komposisi atomik 1.66 % dan itu berasal dari precursor  $\text{TiCl}_3$ .



**Gambar 3.** Hasil karakterisasi SEM NANOKOMPOSIT  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$



**Gambar 4.** Hasil EDX Nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

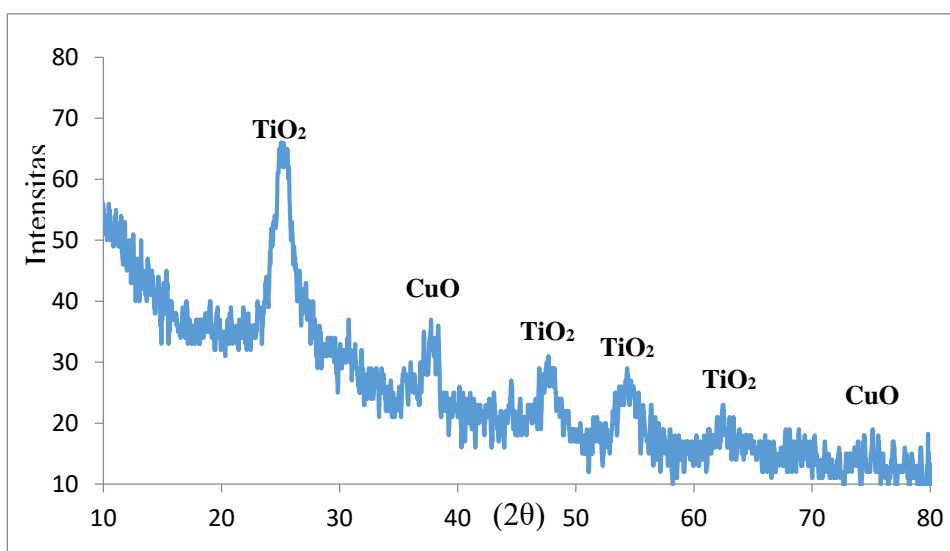
**Tabel 1.** Komposisi Unsur Nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

Element	(KeV)	Massa %	Error %	At %	Compound	Massa %
C K	0.277	20.64	0.44	62.77	C	20.64
O		30.26				
Cl K	2.621	1.66	0.52	1.71	Cl	1.66
Ti K	4.508	43.99	1.71	33.54	$\text{TiO}_2$	73.38
Cu K	8.040	3.45	4.97	1.99	$\text{CuO}$	4.32
Total		100.00		100.00		100.00

Hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 5. Puncak-puncak difraksi dari nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  pada hasil XRD ditunjukkan dengan nilai  $2\theta$  yang tampak jelas pada sudut  $2\theta = 25,646^\circ$ ;  $2\theta = 38,367^\circ$ ;  $2\theta = 47,511^\circ$ ;  $2\theta = 63,956^\circ$  dan  $2\theta = 74,379^\circ$  dengan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) berturut-turut adalah 0,4896; 0,2448; 0,9792; 0,3672 dan 0,2856. Puncak difraksi yang kuat adalah pada sudut hamburan  $25,646^\circ$  dan  $47,511^\circ$  yang menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  berada dalam fase anatase (Thamaphat, 2008). Sementara  $\text{CuO}$  di sudut hamburan  $38,367^\circ$  dan  $74,379^\circ$  berada pada fase monoklinik (Lestari, 2013). Adapun rumus Debye Scherer yang digunakan untuk menentukan ukuran kristal nanokomposit, yaitu:

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

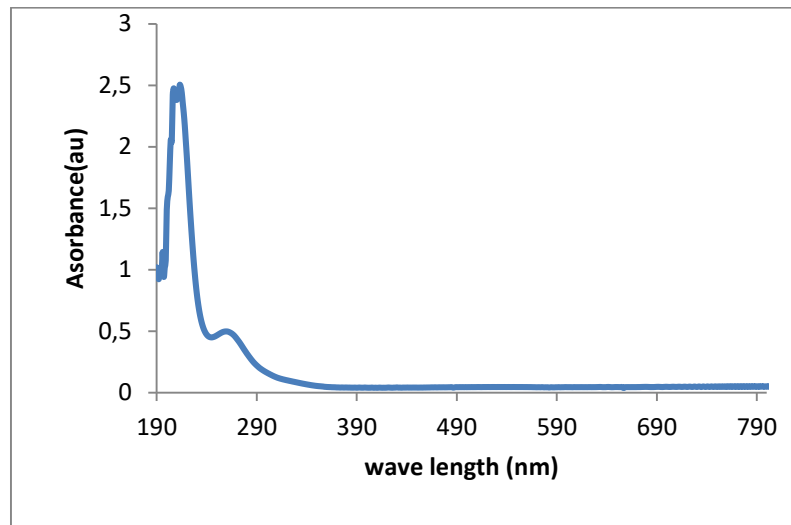
Dimana: D adalah ukuran kristal, K adalah konstanta yang nilainya 0.89,  $\lambda$  adalah panjang gelombang Cu dan  $\beta$  adalah FWHM dan didapati rata-rata ukuran nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  adalah 47 nm. Hasil ini mendekati rata-rata hasil analisis SEM, yakni 42 nm.



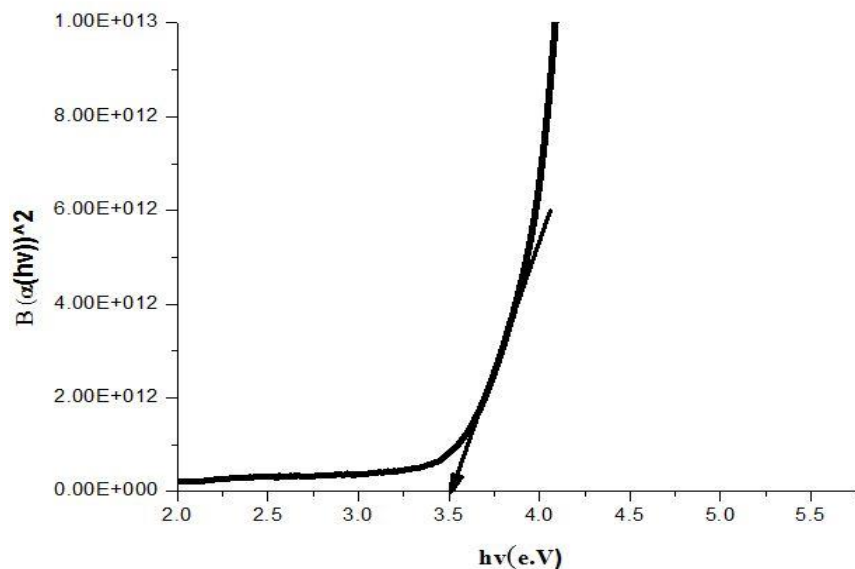
**Gambar 5.** Hasil XRD Nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

Selanjutnya, hasil karakterisasi Uv-Vis dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini. Penentuan nilai energi *band gap* menggunakan hasil Uv-Vis ini pada rentang panjang gelombang dari 190 nm hingga 800 nm. Berdasarkan persamaan Tauc Plot, dihitung energi *band gap* nanokomposit ini adalah 3,5 eV seperti terlihat pada Gambar 7. Hasil ini lebih besar dari pada yang didapati oleh Li (2021), yakni 3,36 eV dan Koohestani, dkk (2015) adalah 2,68 eV yang mana riset yang dilakukan oleh mereka untuk melihat pengaruh besar konsentrasi kandungan  $\text{CuO}$  terhadap  $\text{TiO}_2$ . Hasil yang didapat bahwa semakin besar konsentrasi  $\text{CuO}$ , maka semakin kecil energi *band gap* nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ . Berdasarkan hasil riset tersebut maka dapat dinyatakan bahwa konsentrasi  $\text{CuO}$  pada sampel nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  yang kami buat sangat kecil. Hal ini dapat juga dilihat pada hasil EDX, yang mana persentasi massa  $\text{CuO}$  hanya 4,32 % jika dibandingkan dengan persentasi massa  $\text{TiO}_2$  yang sangat besar, yakni 73,38 %. Begitu pula dari hasil XRD terlihat hanya terdapat dua puncak difraksi  $\text{CuO}$  pada sudut  $2\theta$

theta  $38,367^\circ$  dan  $74,379^\circ$ . Dari hasil-hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi CuO pada sampel nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  ini sangat kecil.

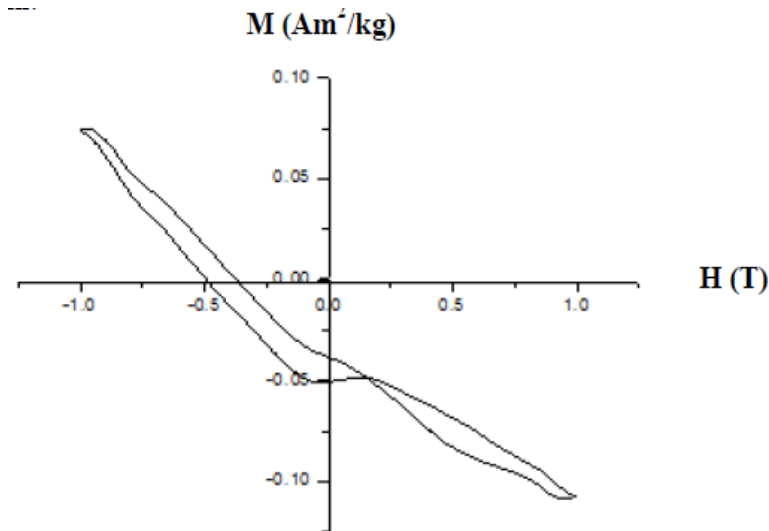


**Gambar 6.** Hubungan panjang gelombang dengan koefisien absorpsi

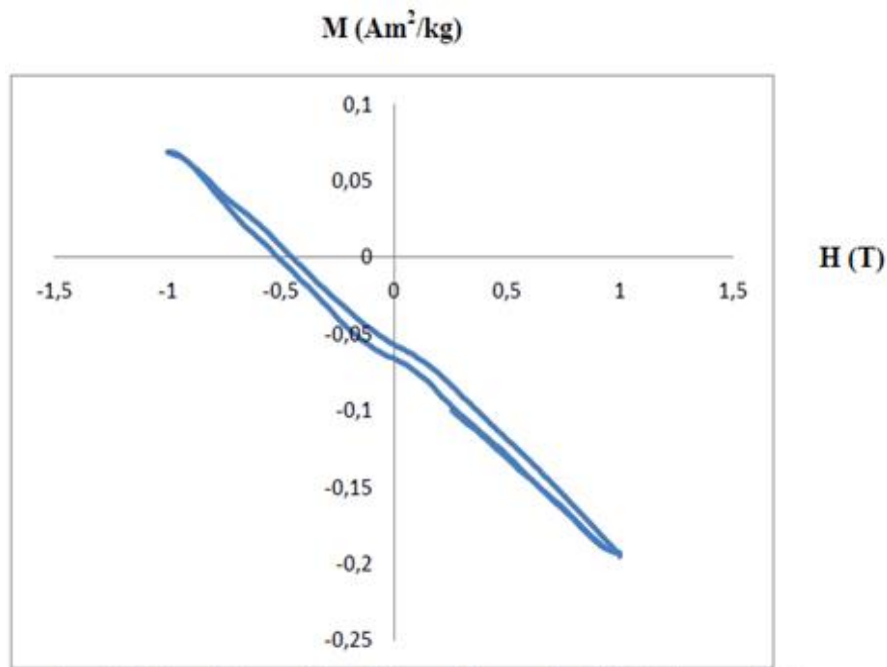


**Gambar 7.** Penentuan energi gap

Hasil karakterisasi nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  menggunakan VSM dapat dilihat melalui kurva histerisis. Karakterisasi yang dilakukan sebanyak dua kali, yakni yang pertama memakai sampel A yang mana sampel ini tidak dikalsinasi dan karakterisasi yang kedua memakai sampel B yang dikalsinasi pada suhu  $300^\circ\text{C}$ . Hasil karakterisasi sample A dan sampel B dapat ditunjukkan melalui Gambar 8 dan Gambar 9. Berdasarkan hasil VSM ini, penentuan parameter histerisis seperti magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ), medan koersif ( $H_c$ ) dan suseptibilitas ( $\kappa$ ) melalui pengamatan bentuk kurva histerisis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sampel A dan B. Nilai parameter histerisis yang telah diketahui melalui hasil pengamatan kurva histerisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 8.** Kurva histeresis sampel A



**Gambar 9.** Kurva histeresis sampel B

**Tabel 2.** Nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen, medan koersif dan suseptibilitas sample nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO

Sampel Nanokomposit TiO <sub>2</sub> /CuO	Ms (Am <sup>2</sup> /kg)	Mr (Am <sup>2</sup> /kg)	Hc (Tesla)	κ
A	0,08	-0,04	0,08	$-7,8 \times 10^{-5}$
B	0,06	-0,03	0,05	$-6,2 \times 10^{-5}$

Informasi yang diperoleh melalui hasil pengamatan kurva histeresis yang ditunjukkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9 menjelaskan bahwa data hasil pengukuran kurva histeresis ini dapat dilakukan analisis kualitatif sifat magnetik material nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO. Dari hasil analisis diperoleh tampilan pola histeresis lebih sempit, dengan nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) 0,08 Am<sup>2</sup>/kg, magnetisasi remanen ( $M_r$ ) -0,04 Am<sup>2</sup>/kg dan medan koersif ( $H_c$ ) 0,08 T pada bentuk kurva histeresis nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO sample A. Kemudian nilai magnetisasi saturasi

( $M_s$ )  $0,06 \text{ Am}^2/\text{kg}$ , magnetisasi remanen ( $M_r$ )  $-0,03 \text{ Am}^2/\text{kg}$  dan medan koersif ( $H_c$ )  $0,05 \text{ T}$  pada bentuk kurva histerisis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sampel B. Untuk lebih jelasnya, magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ) dan medan koersif ( $H_c$ ) dapat dilihat melalui Tabel 2. Pada Gambar 8, bentuk kurva histerisis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sampel A dapat mengindikasikan bahwa tampilan kurva membentuk potongan dua buah kurva dengan pola yang lebih sempit serta memiliki nilai parameter magnetik yang kecil. Selanjutnya hasil pengamatan kurva histerisis yang ditunjukkan pada Gambar 9 memberi gambaran kurva yang melengkung dengan satu buah loop yang memiliki pola sempit. Selanjutnya, kurva nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sampel B memberikan hasil dengan bentuk *loop* yang lebih bagus dibandingkan Gambar 8 karena lengkungan *loop* yang hanya terdiri dari satu buah kurva. Dari pengamatan Gambar 8 dan Gambar 9 telah menunjukkan ciri pola kurva sempit/tipis mengidentifikasi bahwa material nanokomposit ini termasuk dalam golongan *soft magnet* (Findah, dkk., 2012; Reed, 1988). Parameter-parameter yang diperoleh dari hasil pengamatan pada Tabel 2, yaitu nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen dan medan koersif telah memberikan gambaran bahwa perolehan nilai magnetisasi saturasi atau tingkat kejenuhan bahan dari material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sampel A berkisaran pada  $0,08 \text{ Am}^2/\text{kg}$  dan material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample B berkisaran pada  $0,06 \text{ Am}^2/\text{kg}$ . Hal ini menjelaskan bahwa nilai magnetisasi saturasi nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample B menunjukkan nilai yang semakin kecil. Sementara itu, nilai medan koersif nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample A yaitu  $0,08 \text{ T}$  dan nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample B yakni  $0,05 \text{ T}$ , ini mengakibatkan kekuatan medan koersif yang dihasilkan sangat rendah, yakni kurang dari  $0,1 \text{ T}$ . Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Xu (2015) menjelaskan bahwa untuk material magnet keras (*hard magnet*) memiliki medan koersif di atas  $0,1 \text{ T}$  dan material magnet lunak (*soft magnet*) mempunyai medan koersif di bawah  $0,1 \text{ T}$ . Berdasarkan nilai medan koersif yang diperoleh melalui data hasil penelitian maka material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  teridentifikasi sebagai magnet lunak (*soft magnet*).

Dengan menggunakan besaran magnetisasi ( $M$ ) dan medan magnet ( $H$ ) maka dapat dihitung nilai suseptibilitas material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample A dan sampel B. Perhitungan suseptibilitas sampel A, hasilnya adalah  $-7,8 \times 10^{-5}$  dan suseptibilitas material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sample B yaitu  $-6,2 \times 10^{-5}$ . Nilai suseptibilitas ini bernilai negatif dan kecil dari nilai  $-1 \times 10^{-5}$ , maka material nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  ini tergolong bersifat diamagnetik (Jiles, 1996). Bentuk loop kurva histeresis dari kedua sampel (Gambar 8 dan Gambar 9) melengkung ke arah kiri dengan medan magnet luar yang diberikan menunjukkan sifat diamagnetik.

Karakteristik sifat magnetik sampel A dan sampel B menunjukkan perbandingan yang tidak jauh berbeda. Kedua sampel menunjukkan selisih nilai parameter-parameter yang cukup kecil, dengan ciri kurva yang kecil/tipis sehingga memiliki sifat diamagnetik dan *soft magnet*. Namun jika dibandingkan dengan sampel A maka sampel B telah menunjukkan hasil yang semakin baik, hal ini dipengaruhi oleh suhu kalsinasi.

## Kesimpulan

Ekstrak daun tumbuhan *Wedelia trilobata* telah berhasil digunakan sebagai agen pereduksi untuk sintesis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ . Ukuran material nanokomposit ini berkisar



22-56 nm dengan berbentuk bulat. Energi band gap nanokomposit ini adalah 3,5 eV. Berdasarkan kurva histeris, nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO ini bersifat *soft magnet* dan diamagnetik.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Wawan Jumbawan dan Bapak Purwo Kawoco dari Pusat Survei Geologi Bandung untuk preparasi sampel dan pengoperasian peralatan SEM dan XRD dan kepada Bapak Lanang Solakhudin dari Institut Teknologi Bandung untuk preparasi sampel serta penggunaan spektrometer Uv-Vis. Penulis juga berterima kasih kepada Ibu Dra. Mujamilah, M.Sc. dari BATAN Serpong untuk penggunaan peralatan VSM.

### Daftar Pustaka

- Aparna, Y., Rao Enkateswara, V. K., & Subbarao, S. P. (2012). Synthesis and Characterization of CuO Nano Particles by Novel Sol-Gel Method. *International Conference on Environment Science and Biotechnology*, 48(30), 157-160.
- Bello, A., Arthin D., Makgopa, K., Fabiane M., & Manyala, N. (2014). Surfactant Assisted Synthesis of Copper Oxide (CuO) Leaf-like Ananostructures for Electrochemical Application. *American Journal of Materials Science*, 4(2), 64-73.
- Chang, M. H., Liu, H. S., & Tai, C. Y. (2011). Preparation of Copper Oxide Nanoparticles and Its Application in Nanofluid. *Powder Technol*, 207(1), 378-386.
- Dong, L., Chu, H., Wang, X., Li, Y., Zhao, S. & Li, D. (2021). Enhanced Broadband Nonlinear Optical Response of TiO<sub>2</sub>/CuO Nanosheets via Oxygen Vacancy Engineering. *Nanophotonics*, 10(5), 1541–1551. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2020-0649>.
- Etape, E. P., Ngolui, L. J., Tendo, J. F., Yufanyi, D. M., & Namondo, B. V. (2017). Synthesis and Characterization of CuO, TiO<sub>2</sub>, and CuO-TiO<sub>2</sub> Mixed Oxide by a Modified Oxalate Route. *Journal of Applied Chemistry*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/4518654>.
- Fardood, S. T., & Ramazani, A. (2016). Green Shynthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles Using Coffee Powder Extract. *Journal of Nanostructures*, 6(2), 167-171. doi: 10.7508/jns.2016.02.009.
- Findah, R. S., & Zainuri, M. (2012). Pengaruh Holding Time Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-hexaferrite (BaFe<sub>12-x</sub>Zn<sub>x</sub>O<sub>19</sub>) dengan ion doping Zn. *Institut Teknologi 10 November (ITS)*, 1(1), 25-29. ISSN: 2301-928X.
- Gao, M., Ling Ng, S. W., Chen, L., Hongab, M., & Ho, G. W. (2017). Self-regulating reversible photocatalytic-driven chromism of a cavity enhanced optical field TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(22), 10909–10916. doi: 10.1039/c7ta02983g.
- Hadiyawarman, Rijal, A., Nuryadin, W. B., Abdullah, M., & Khairurrijal. (2008). Frabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(1), 14-21.
- Huaman, A., Quintana, M., Rodriguez, J., & Estrada, W. (2014). Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Modified by Wet Milling. *Energy and Power Engineering*, 6, 473-480.
- Jayalakshmi & Yogamoorthi, A. (2014). Green Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of Flower of Cassia Alata and Particles Characterization. *International Journal of Nanomaterials and Biostructure*, 4(4), 66-71.
- Jiles, D. (1996). *Introdution to Magnetism and Magnetic Material*. London: Chapman dan Hall.

- Khodadadi, B., Faal, A. Y., & Shahvarughi, A. (2019). Tilia Platyphyllos Extract Assisted Green Synthesis of CuO/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite: Application as a Reusable Catalyst for the Reduction of Organic Dyes in Water. *Journal of Applied Chemical Research*, 13(3), 51-65.
- Koohestani, H., & Sadrnezhaad, S. K. (2015). Photocatalytic degradation of methyl orange and cyanide by using TiO<sub>2</sub>/CuO Composite. *Desalination and Water Treatment*, 57(46). doi: 10.1080/19443994.2015.1132395.
- Kumar, M. S. P., Francis, P. A., & Devasena, T. (2014). Biosynthesized and Chemically Synthesized Titania Nanoparticles: Comparative Analysis of Antibacterial Activity. *Journal of Environment Nanotechnology*, 3(3), 73-81.
- Lakbita, O., Rhouta, B., Maury, F., Senocq, F., Amjoud, M., & Jada, A. (2016). Supported Photocatalyst Based on CuO-TiO<sub>2</sub>/Palygorskite Nanocomposite Material for Wastewater Treatment. *Journal of Colloid Science and Biotechnology*, 5(2), 199-205.
- Lestari, M. W., Saputro, S. H., & Wahyuni, S. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Nanokatalis CuO/Tio<sub>2</sub> yang Diaplikasikan Pada Proses Degradasi Limbah Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2), 154-159.
- Li, Y. (2021). Electrochemical Photocatalytic degradation of Brilliant Blue FCF as food dye by CuO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite under visible and UV-light irradiations. *International Journal of Electrochem Science*, 16, 1-10. doi: 10.20964/2021.09.39.
- Malarkodi, C., Chitra, D., Rajeshkumar, S., Gnanajobitha, G., Paulkumar, K., Vanaja, M., & Annadurai, G. (2013). Novel Eco-Friendly Synthesis of Titanium Oxide Nanoparticles by Using Planomicrobium Sp. And Its Antimicrobial Evaluation. *Der Pharmacia Sinica*, 4(3), 59-66.
- Naika, R. H., Lingaraju, K., Manjunath, K., Kumar, D., Nagaraju, G., Suresh, D., & Nagabushana, H. (2015). Green Synthesis of CuO Nanoparticles Using Gloriosa Suparba L. Extract and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Taibah University for Science*, 9, 7-12.
- Nguyen, T. H., Nguyen, T. L., Ung, T. D. T., and Nguyen, Q. L. (2013). Synthesis and characterization of nano-CuO and CuO/TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4, 1-6. doi:10.1088/2043-6262/4/2/025002.
- Nithya, K., Yuvasree, P., Neelakandeswari, N., Rajasekaran, N., Uthayarani, K., Chitra, M., & Kumar, S. S. (2014). Preparation and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles. *International Journal of ChemTech Research*, 6(3), 2220-2222.
- Raja, S., & Deepa, M. (2015). Synthesis and Characterization of Polyaniline- Copper(II) Oxide Nanocomposite by Wet Chemical Route. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 3(2), 198-203.
- Rao, G. K., Ashok, C. H., Rao, V. K., Chakra, S. C. H., & Rajendar, V. (2015). Synthesis Of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles From Orange Fruit Waste. *International Journal of Multidisciplinary Edvanded Research Trends*, 2(1), 82-90.
- Reed, J. S. (1988). *Introduction to the Principle of Ceramic Processing*. Singapore: Jhon Willey and Sons Inc.
- Singh, J., Kaur, G., & Rawat, M. (2016). A Brief Review on Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles and its Application. *Journal of Bioelectronics and Nanotechnology*, 1(1), 2-9.
- Sundrarajan, M., & Gowri, S. (2011). Green Sythesis Titanum Dioxide Nonaparticles By Nictanthes Arbor-Tristis Leaves Extract. *Chalcogenide Letters*, 8(8), 447-451.

- Swarnkar, K. R., Singh, C. S., & Gopal, R. (2009). Optical Characterizations Of Copper Oxide Nanomaterial, *ICOP 2009-International Conference on Optics and Photonics CSIO*, Chandigarh, India.
- Thamaphat, K., Limsuwan, P., Ngotawornchai B. (2018). Phase Characterization of TiO<sub>2</sub> Powder by XRD and TEM. *Agriculture And Natural Resources*, 42(5), 357-361.
- Venkatachalam S., Hayashi H., Ebina T., & Nanjo, H. (2013). *Preparation and Characterization of Nanostructured TiO<sub>2</sub> Thin Films by Hydrothermal and Anodization Methods*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/38216>. doi: 10.5772/51254.
- Widiyandari, H., & Purwanto, A. (2015). Sintesa Nanofiber Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) Anatase Menggunakan Metode Electrospinning. *Reaktor*, 15(4), 248-252.
- Xu, X. (2015). *Magnetic Properties of Nano-Composite Particles* (Dissertation, Alabama University, Alabama). Retrieved from [https://ir.ua.edu/bitstream/handle/123456789/2407/file\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ir.ua.edu/bitstream/handle/123456789/2407/file_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y).