

PENGARUH JENIS PREKURSOR TERHADAP KARAKTERISTIK PARTIKEL ZnO BESERTA PENGUJIAN SIFAT FOTOKATALITIKNYA

NUR APRILIA AMANDA^{1,*}, LUSI SAFRIANI², ANNISA APRILIA², AYI BAHTIAR²

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran

Jalan Raya Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp 022-7796014

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran Jalan Raya Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp 022-7796014

Abstrak. Material ZnO disintesis menggunakan prekursor berbeda, yaitu *zinc acetate dihydrate* dan *zinc nitrate hexahydrate* dalam aplikasinya sebagai material aktif fotokatalis. Kedua material disintesis menggunakan metode sol-gel. Struktur material dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR, morfologi menggunakan TEM dan BET, komposisi menggunakan EDS, sifat optik menggunakan PL Spectroscopy dan UV-Vis Spectroscopy, serta dispersitas menggunakan Zeta Potential. Hasil karakterisasi menunjukkan material ZnO yang terbentuk telah memiliki struktur *wurtzite* dan bermorfologi *spherical*. Masih terdapat ikatan-ikatan karbonil yang merupakan residu dari proses sintesis yang belum sepenuhnya hilang. Komposisi atom, dispersitas, dan *band gap* untuk kedua material tidak jauh berbeda. Pada ZnO-A terdapat *defect* berupa *zinc vacancies*. Ukuran partikel ZnO-A lebih kecil daripada ZnO-N, sehingga luas permukaan spesifiknya pun jauh lebih besar. Pengujian sifat fotokatalitik dilakukan menggunakan larutan metil biru 3,2 ppm selama 45 menit di bawah sinar matahari. Didapat nilai konstanta laju degradasi sebesar 0,0604/menit untuk ZnO-A dan 0,0763/menit untuk ZnO-N, serta besar efisiensi 94% untuk ZnO-A dan 97% untuk ZnO-N.

Kata kunci: fotokatalis, serbuk ZnO, sol-gel, prekursor.

Abstract. ZnO materials were synthesized using different precursors, namely *zinc acetate dihydrate* and *zinc nitrate hexahydrate* in their application as photocatalyst active materials. Both materials were synthesized using the sol-gel method. The structure of the material was characterized using XRD and FTIR, morphology using TEM and BET, composition using EDS, optical properties using PL Spectroscopy and UV-Vis Spectroscopy, and dispersion using Zeta Potential. The characterization results show that the formed ZnO material has a *wurtzite* structure and *spherical* morphology. There are still carbonyl bonds which are residues from the synthesis process that have not been completely removed. The atomic composition, dispersion, and *band gap* for the two materials are not much different. In ZnO-A there are defects in the form of *zinc vacancies*. The particle size of ZnO-A is smaller than that of ZnO-N, so the specific surface area is much larger. Photocatalytic properties were tested using a 3.2 ppm methylene blue solution for 45 minutes under the sunlight. The value of the degradation rate constant was 0.0604/minute for ZnO-A and 0.0763/minute for ZnO-N, and the efficiency was 94% for ZnO-A and 97% for ZnO-N.

Keywords: photocatalyst, ZnO powders, sol-gel, precursors

1. Pendahuluan

Ketersediaan air bersih, sehat, dan aman merupakan kebutuhan hajat hidup yang vital bagi manusia. Namun, berdasarkan pantauan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (LH RI) pada tahun 2014 saja, sebanyak 75% sungai di Indonesia tercemar berat akibat buangan air limbah [1]. Hal ini menyebabkan banyaknya air yang tercemar digunakan oleh masyarakat. Sehingga dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan dan tentunya kesehatan. Permasalahan ini dapat dicegah melalui berbagai cara, seperti pengolahan air limbah. Salah satu metode yang relatif murah dan mudah diterapkan di Indonesia, yaitu fotodegradasi yang prinsipnya menggunakan material fotokatalis.

*Email : nur18001@mail.unpad.ac.id

Fotokatalisis atau reaksi fotokatalitik merupakan suatu reaksi kimia yang dihasilkan dari penyerapan foton oleh suatu material solid yang disebut fotokatalis, dimana fotokatalis ini tidak mengalami perubahan selama reaksi berlangsung. Material fotokatalis berfungsi untuk mempercepat reaksi kimia yang terjadi. Ketika permukaan semikonduktor dikenai cahaya dengan besar energi yang sama atau melebihi band gap dari semikonduktor yang digunakan, maka elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, menyebabkan terbentuknya pasangan *electron-hole*. Elektron yang berada pada pita konduksi akan bereaksi dengan O_2 yang berada di lingkungan, menyebabkan terjadinya reduksi O_2 dan membentuk anion radikal superoksida $*O_2^-$ dan radikal hidroperoksil $*HO_2$. Kedua radikal ini akan bereaksi dan membentuk senyawa hidroperoksida H_2O_2 dan nantinya akan dihasilkan radikal hidroksil $*OH$. Di sisi lain, *hole* yang berada pada pita valensi akan bereaksi dengan molekul air, menyebabkan terjadinya oksidasi H_2O dan menghasilkan radikal hidroksil $*OH$. Seluruh radikal hidroksil yang terbentuk memiliki peran penting untuk memecah senyawa toksik menjadi non-toksik [2-4].

Beberapa material fotokatalis yang sering digunakan adalah Seng Oksida (ZnO) dan Titanium Oksida (TiO_2), hal ini karena material tersebut ramah lingkungan dan mudah didapatkan [5]. Pada penelitian ini digunakan fotokatalis semikonduktor ZnO karena memiliki kemampuan absorpsi yang lebih baik dibanding TiO_2 pada range sinar UV A, dimana kandungan UV A pada sinar matahari jauh lebih banyak dibandingkan dengan kandungan UV B dan UV C. Hal ini karena ZnO merupakan *direct band gap*, sementara TiO_2 adalah *indirect band gap* yang menjadikannya kurang efektif pada range sinar UV A karena kekekalan momentum tidak terpenuhi [6]. ZnO memiliki jarak pita 3,37 eV dengan energi ikatan 60 meV pada suhu ruang dengan struktur yang stabil yaitu wurtzite [5]. ZnO juga memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 , $200 - 300 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ untuk ZnO dan $0,1 - 4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ untuk TiO_2 . Hal ini memengaruhi efisiensi fotokatalitik dari kedua semikonduktor, dimana efisiensi ZnO lebih tinggi karena transfer elektron yang lebih cepat [7].

Partikel ZnO yang berukuran besar memiliki kelemahan, yaitu luas permukaan aktif per satuan volume yang cukup kecil dibandingkan dengan TiO_2 karena struktur kristalnya yang berbentuk hexagonal [8]. Untuk memperbesar luas permukaan aktifnya, partikel ZnO dapat dibuat dalam ukuran nano. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat partikel ZnO menggunakan metode sol-gel dengan *Zinc Acetate Dihydrate* sebagai prekursor. Metode sol-gel dipilih karena metode ini cukup sederhana dan hasil sintesis yang didapatkan memiliki kemurnian yang tinggi [9]. Mayekar, et. al. menyatakan bahwa penggunaan prekursor yang berbeda akan memengaruhi morfologi dan sifat optik dari nanopartikel ZnO [10]. *Zinc Nitrate Hexahydrate* telah digunakan sebagai prekursor dalam sintesis partikel ZnO pada beberapa penelitian, dan didapatkan hasil yang cukup baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan prekursor *Zinc Acetate Dihydrate* dan *Zinc Nitrate Hexahydrate*, serta akan dilihat karakteristiknya sebagai material aktif dalam penjernihan air.

2. Eksperimen

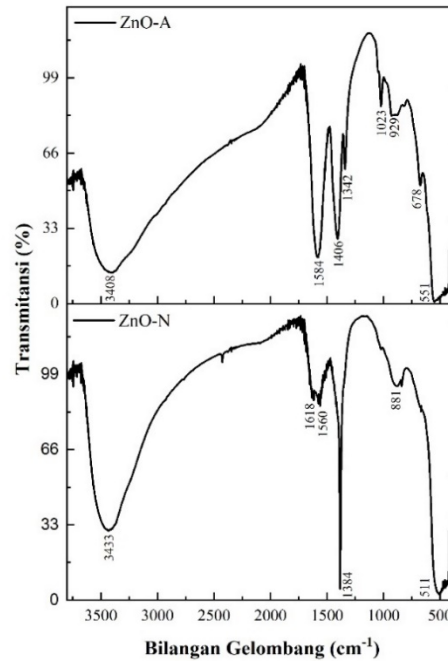
Proses sintesis dilakukan menggunakan metode sol-gel dengan sistem refluks. Serbuk ZnO yang disintesis dengan prekursor *Zinc Acetate Dihydrate* disebut dengan ZnO-A dan yang menggunakan prekursor *Zinc Nitrate Hexahydrate* disebut dengan ZnO-N. Sintesis diawali dengan melarutkan 2 gr prekursor dengan 84 ml *methanol* selama ± 30 menit pada suhu 65°C menggunakan sistem refluks. Sebanyak 0,56 gr NaOH dilarutkan ke dalam 46 ml *methanol*, ditambahkan ke dalam larutan prekursor tetes demi tetes menggunakan *dropping funnel*.

Pada proses sintesis material ZnO-A, akan terjadi perubahan warna dari bening menjadi putih keruh setelah dilakukan pencampuran dengan katalis selama kurang lebih 60 menit. Terjadi perubahan warna kembali dari putih keruh menjadi bening yang menandakan bahwa fasa sol telah terbentuk. Proses refluks terus dilanjutkan hingga larutan bening berubah menjadi berwarna putih susu yang menandai fasa gel telah terbentuk, dan dilanjutkan hingga terbentuk koloid. Selanjutnya larutan dimasukkan ke dalam botol duran selama 2 hari pada suhu ruang hingga terbentuk endapan. Endapan lalu diambil dan dicuci menggunakan *n-hexane* untuk membuang residu. Setelah dilakukan proses pencucian sebanyak tiga kali, endapan diambil dan dipanaskan menggunakan suhu 150°C hingga terbentuk *xerogel*. *Xerogel* yang terbentuk kemudian dihancurkan hingga terbentuk serbuk ZnO-A halus. Proses sintesis material ZnO-N melalui tahapan yang sama dengan sintesis material ZnO-A, hanya saja reaksi yang cepat mengakibatkan perubahan fasa tidak dapat teramati. Proses refluks pada sintesis material ZnO-N berlangsung sekitar 4 jam, menyesuaikan dengan proses refluks pada material ZnO-A. Kedua material yang telah selesai disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, EDS, XRD, TEM, UV-Vis *spectroscopy*, *photoluminescence spectroscopy*, *zeta potential*, dan BET.

Pengujian aktivitas fotokatalitik dilakukan menggunakan larutan metil biru 10^{-5} mol/L atau setara dengan 3,2 ppm. Masing-masing larutan ZnO-A dan ZnO-N dengan konsentrasi 10 mg/ml ditambahkan sebanyak 2,5 ml ke dalam 47,5 ml larutan uji metil biru dan ditaruh di bawah sinar matahari. Pengujian dilakukan selama 45 menit dan dilakukan pengukuran spektrum UV-Vis pada larutan setiap selang waktu 5 menit.

3. Hasil dan Diskusi

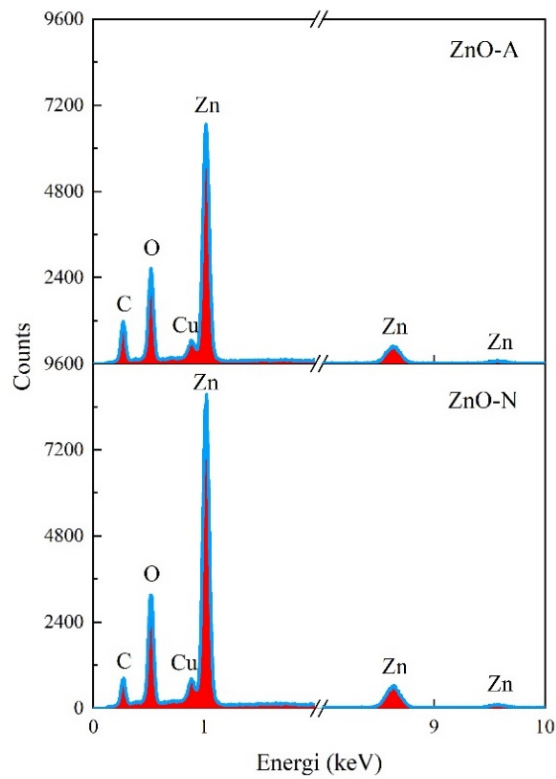
Spektrum hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada Gambar 1, terlihat beberapa puncak yang terbentuk dari rentang bilangan gelombang 350 cm^{-1} hingga 3.800 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang di sekitar 551 cm^{-1} dan 678 cm^{-1} untuk ZnO-A, serta 511 cm^{-1} dan 1.618 cm^{-1} untuk ZnO-N mengindikasikan adanya *stretching vibrations* pada gugus fungsi Zn-O. Puncak ini juga yang mengindikasikan bahwa senyawa ZnO telah terbentuk pada kedua material. Pada bilangan gelombang di sekitar 929 cm^{-1} untuk ZnO-A dan 881 cm^{-1} untuk ZnO-N terbentuk puncak yang diakibatkan oleh adanya ikatan tetrahedral dari Zn. Pada spektrum ZnO-A terdapat puncak pada panjang gelombang 1.023 cm^{-1} yang menandakan adanya *bending vibrations* pada gugus fungsi O-H. Terlihat pula puncak yang terbentuk di sekitar bilangan gelombang 1.342 cm^{-1} dan 1.406 cm^{-1} untuk material ZnO-A serta 1.384 cm^{-1} untuk ZnO-N yang mengindikasikan adanya *stretching vibrations* pada gugus fungsi C – O. Puncak yang berada di sekitar bilangan gelombang 1.584 cm^{-1} untuk ZnO-A dan 1.560 cm^{-1} untuk ZnO-N mengindikasikan adanya *stretching vibrations* pada gugus fungsi C = O. Terbentuk pula puncak di sekitar bilangan gelombang 3.408 cm^{-1} untuk ZnO-A dan 3.433 cm^{-1} untuk ZnO-N yang menandakan adanya *stretching vibrations* pada ikatan hidroksil O – H.



Gambar 1. Spektrum hasil karakterisasi FTIR.

Berdasarkan hasil yang didapat, terlihat bahwa material ZnO telah terbentuk untuk kedua material, baik yang menggunakan *Zinc Acetate Dihydrate* maupun *Zinc Nitrate Hexahydrate* sebagai prekursor. Namun ikatan-ikatan karbonil sebagai residu dari kedua prekursor masih belum sepenuhnya hilang, bahkan terbilang masih cukup banyak. Hal ini diakibatkan karena suhu pemanasan yang diberikan pada serbuk nanopartikel ZnO masih kurang untuk bisa melepaskan ikatan-ikatan senyawa residu tersebut.

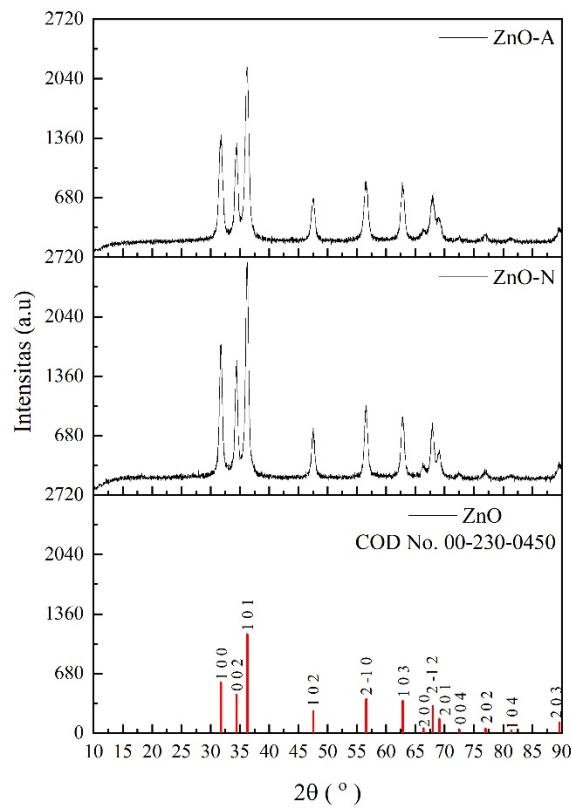
Dari spektrum hasil pengukuran EDS pada Gambar 2, dapat terlihat bahwa pada kedua material terdapat dua atom yang dominan, yaitu Zn dan O dengan persentase atom seperti pada Tabel 1. Secara stoikiometri, perbandingan persentase jumlah atom Zn dan O pada material ZnO adalah 1:1. Pada hasil pengukuran EDS yang didapatkan perbandingan jumlah atom Zn dan O sudah mendekati 1:1 untuk kedua material. Terdapat sedikit kelebihan atom O pada kedua material yang kemungkinan disebabkan oleh oksigen intersisial atau kelebihan oksigen pada hasil akhir sintesis. Pada spektrum hasil pengukuran EDS pun terdapat unsur C dan Cu, dimana pada material memang masih terdapat ikatan-ikatan karbon sebagai sisa reaksi yang belum sepenuhnya hilang karena suhu yang digunakan pada saat sintesis tidak terlalu tinggi. Sedangkan untuk unsur Cu berasal dari dudukan sampel yang dilapisi tembaga.



Gambar 2. Spektrum hasil karakterisasi EDS.

Tabel 1. Persentase unsur Zn dan O pada material ZnO-A dan ZnO-N

Sampel	Elemen	Berat%	Atom%	Zn : O
ZnO-A	Zn	77,99	46,45	1 : 1,15
	O	22,01	53,55	
ZnO-N	Zn	78,13	46,65	1 : 1,14
	O	21,87	53,35	

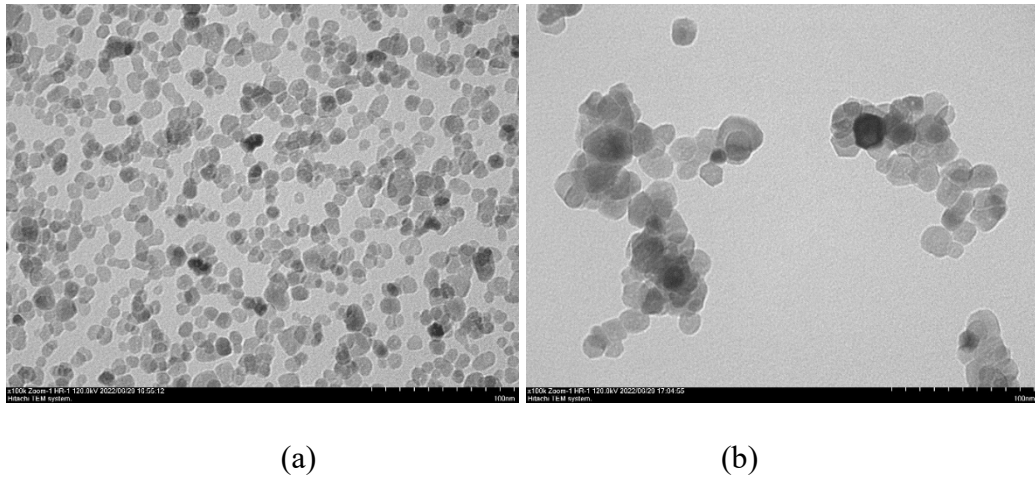


Gambar 3. Spektrum hasil karakterisasi XRD.

Tabel 2. Ukuran kristal material ZnO-A dan ZnO-N

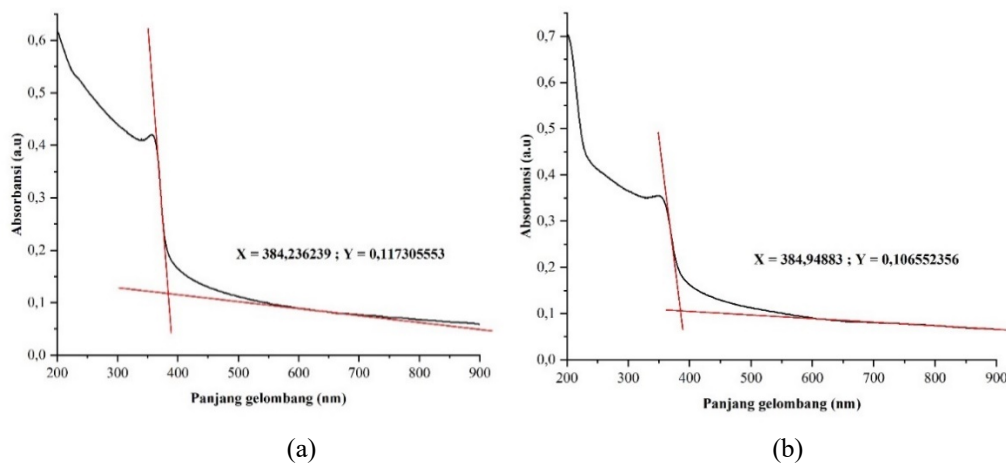
Sampel	hkl	Posisi Puncak ($2\theta^\circ$)	FWHM ($^\circ$)	B (rad)	D (nm)
ZnO-A	(1 0 0)	31,79	0,85201	0,007455	19,34
	(0 0 2)	34,45	0,80712	0,007062	20,56
	(1 0 1)	36,21	0,84173	0,007365	19,81
ZnO-N	(1 0 0)	31,79	0,66871	0,005851	24,64
	(0 0 2)	34,43	0,67214	0,005881	24,69
	(1 0 1)	36,28	0,67936	0,005944	24,55

Dari spektrum XRD yang terlihat pada Gambar 3, menunjukkan bahwa material yang telah disintesis sudah membentuk material ZnO dengan struktur *hexagonal wurtzite*. Ukuran kristal dari kedua material dapat dilihat pada Tabel 2, dan terlihat bahwa ukuran kristal untuk material ZnO-N sedikit lebih besar daripada material ZnO-A.



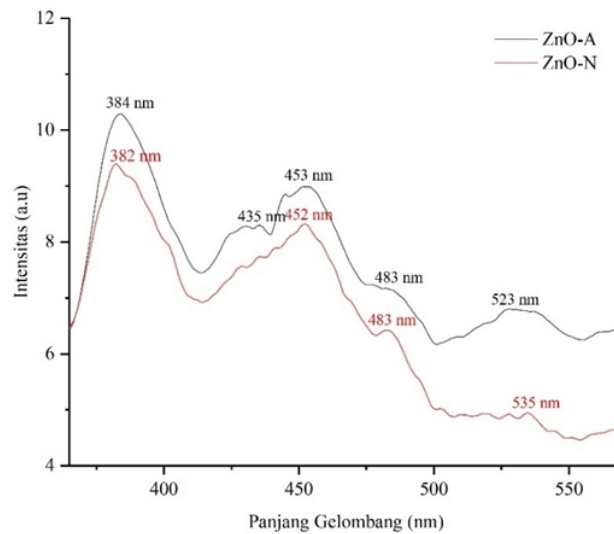
Gambar 4. Hasil karakterisasi TEM dengan perbesaran 100.000 kali (a) ZnO-A (b) ZnO-N.

Hasil karakterisasi TEM pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kedua material memiliki morfologi yang sama, yaitu *spherical*. Keduanya telah berukuran nano, namun ukuran partikel pada material ZnO-A jauh lebih kecil daripada material ZnO-N, sehingga luas permukaannya pun jauh lebih besar.



Gambar 5. Spektrum hasil karakterisasi UV-Vis (a) ZnO-A (b) ZnO-N.

Spektrum absorbansi ditunjukkan pada Gambar 5 dengan puncak absorbansi pada 356 nm untuk material ZnO-A dan 350 nm untuk material ZnO-N. Panjang gelombang *cut-off* untuk material ZnO-A adalah 384,24 nm dengan *band gap* 3,23 eV, sedangkan untuk material ZnO-N adalah 384,95 nm dengan *band gap* 3,22 eV.



Gambar 6. Spektrum hasil karakterisasi *photoluminescence*.

Spektrum hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi fotoluminesensi dapat dilihat pada Gambar 6. Puncak dominan pertama untuk material ZnO-A memiliki intensitas yang cukup tinggi dan berada pada daerah emisi sinar UV, yaitu pada panjang gelombang 384 nm. Sedangkan puncak dominan pertama untuk material ZnO-N berada pada panjang gelombang 382 nm. Panjang gelombang ini mengalami pergeseran dari panjang gelombang literatur untuk material ZnO, yaitu sebesar 368 nm yang bersesuaian dengan energi *band gap* sebesar 3,37 eV dari Pita Konduksi (CD) ke Pita Valensi (VB). Hal ini mengindikasikan adanya *defect* berupa *zinc interstitial* (Zn_i) yang menyebabkan besar energi yang diemisikan dari peristiwa rekombinasi elektron tidak maksimal, yaitu sebesar 3,23 eV untuk ZnO-A dan 3,25 eV untuk ZnO-N dari $Zn_i \rightarrow VB$. Adanya puncak pada panjang gelombang 435 nm juga mengindikasikan adanya *defect* pada material ZnO-A yang diakibatkan oleh *Zinc Vacancies* (V_{Zn}) dengan energi transisi sebesar 2,85 eV dari tingkatan energi $Zn_i \rightarrow V_{Zn}$.

Terdapat pula puncak pada panjang gelombang 453 nm untuk ZnO-A dan 452 nm untuk ZnO-N yang mengindikasikan adanya *extended zinc interstitial defect* ($ex-Zn_i$) dengan energi transisi sebesar 2,74 eV dan 2,75 eV dari tingkatan energi $ex-Zn_i \rightarrow VB$. Puncak yang terbentuk pada panjang gelombang 483 nm untuk kedua material ZnO-A dan ZnO-N mengindikasikan adanya elektron bergerak dari CB yang diakibatkan oleh *oxygen vacancies* dan menyebabkan ketidakstabilan pada tingkatan energi tersebut, sehingga terjadi rekombinasi dengan *hole* yang berada pada VB dengan energi sebesar 2,57 eV. Puncak yang terbentuk pada panjang gelombang 523 nm untuk ZnO-A dan 535 nm untuk ZnO-N mengindikasikan adanya *oxygen antisite defect* (O_{Zn}) dengan energi transisi sebesar 2,37 eV dan 2,32 eV dari $CB \rightarrow O_{Zn}$. Intensitas dari spektrum yang terbentuk untuk material ZnO-N cenderung lebih rendah daripada material ZnO-A meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sehingga proses rekombinasi elektron yang berlangsung pada material ZnO-N lebih lambat daripada proses rekombinasi pada material ZnO-A.

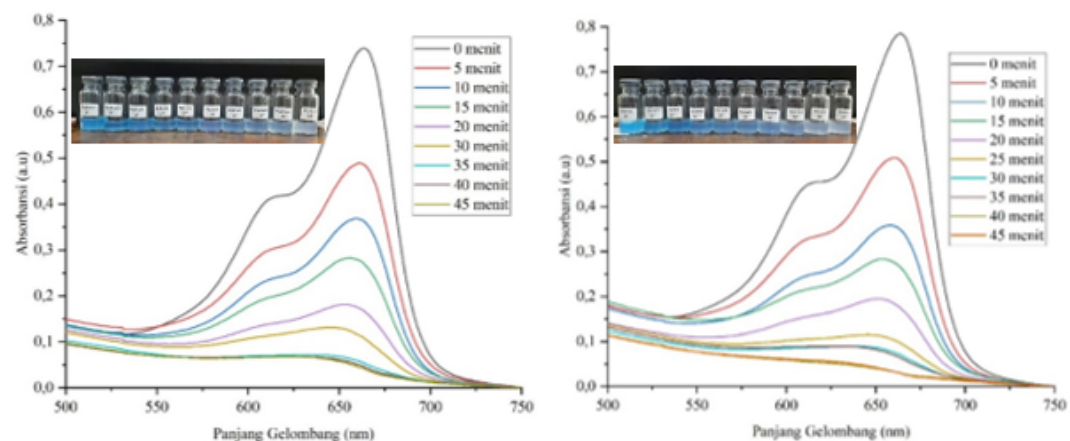
Nilai *zeta potential* merepresentasikan stabilitas dari suatu material dalam medium pendispersi, semakin besar nilai potensial zeta maka akan semakin stabil pula keadaan suatu material di dalam medium pendispersi. Sebaliknya, semakin kecil nilai potensial zeta maka suatu material akan

semakin tidak stabil dan cepat beraglomerasi. Dari spektrum yang terbentuk dapat ditentukan nilai potensial zeta, yaitu sebesar 18,2 mV untuk ZnO-A dan 12,4 mV untuk ZnO-N. Nilai potensial zeta yang positif menunjukkan bahwa permukaan kedua material ZnO bermuatan positif, dan nilai yang berada pada rentang ± 10 mV hingga ± 30 mV menunjukkan bahwa kedua material memiliki stabilitas yang rendah.

Tabel 3. Hasil karakterisasi BET dari material ZnO-A dan ZnO-N

Sampel	Luas Permukaan Spesifik (m ² /gr)	Diameter Pori-Pori (nm)	Volume Pori-Pori Spesifik (cm ³ /gr)
ZnO-A	28,3953	2,0766	0,008369
ZnO-N	14,6238	2,1857	0,005181

Luas permukaan spesifik material ZnO-A dari hasil pengukuran BET pada Tabel 3 bernilai jauh lebih besar daripada luas permukaan material ZnO-N. Hal ini selaras dengan hasil karakterisasi menggunakan TEM di mana material ZnO-A memiliki ukuran partikel yang jauh lebih kecil daripada material ZnO-N. Selain itu, volume pori-pori dari kedua material pun cukup memengaruhi. Terlihat bahwa volume dari pori-pori material ZnO-A lebih besar daripada material ZnO-N, yang memungkinkan ZnO-A untuk memiliki luas permukaan yang semakin besar lagi. Diameter pori-pori dari kedua material tidak terlalu berbeda jauh dan termasuk ke dalam jenis *mesopores* karena diameternya berada pada rentang 2 nm hingga 50 nm.



(a)

(b)

Gambar 7. Spektrum hasil uji aktivitas fotokatalitik pada larutan uji metil biru oleh fotokatalis (a) ZnO-A (b) ZnO-N.

Hasil pengujian aktivitas fotokatalitik dapat dilihat pada Gambar 7. Perubahan puncak absorbansi pada spektrum, bersesuaian dengan banyaknya metil biru yang terkandung pada larutan uji dalam

selang waktu per 5 menit selama 45 menit pengujian. Semakin sedikit kandungan metil biru dalam larutan uji, maka puncak spektrum yang terbentuk akan semakin rendah. Jika diperhatikan, puncak absorbansi dari spektrum yang terbentuk semakin lama semakin bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek, hal ini mengindikasikan adanya proses degradasi polutan oleh material fotokatalis berupa pemutusan rantai pada senyawa metil biru oleh radikal-radikal hidroksil. Konstanta laju degradasi untuk fotokatalis ZnO-A sebesar 0,0604/menit dengan efisiensi 94%, sedangkan untuk fotokatalis ZnO-N sebesar 0,0763/menit dengan efisiensi 97%.

4. Simpulan

Sintesis partikel ZnO dengan dua prekursor yang berbeda, yaitu *Zinc Acetate Dihydrate* dan *Zinc Nitrate Hexahydrate* tidak memiliki perbedaan yang signifikan jika dilihat dari struktur, komposisi, absorbansi, morfologi, dan dispersitas. Hasil pengujian menggunakan fotoluminesensi menunjukkan adanya sedikit perbedaan, di mana pada material ZnO-A terbentuk puncak pada panjang gelombang 435 nm yang menunjukkan adanya *defect* berupa *zinc vacancies*. Luas permukaan spesifik material ZnO-A jauh lebih besar daripada material ZnO-N, bersesuaian dengan hasil pengukuran TEM di mana ZnO-A memiliki ukuran partikel yang lebih kecil. Sifat fotokatalitik dari material ZnO-A dan ZnO-N dalam mendegradasi senyawa metil biru tidak memiliki perbedaan yang signifikan, baik dilihat dari konstanta laju degradasi (0,0604/menit untuk ZnO-A dan 0,0763/menit untuk ZnO-N) maupun besar efisiensi (94% untuk ZnO-A dan 97% untuk ZnO-N).

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi (DRPMI) Universitas Padjadjaran yang telah memfasilitasi dan memberikan dukungan dana penelitian dalam skema Hibah Riset Unpad (HRU)-RPLK (Riset Percepatan Lektor Kepala) tahun anggaran 2022.

Daftar Pustaka

- [1]. Dawud, M., dkk., (2016). *Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat, Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [2]. Ohtani B. (2014). *Photocatalyst*, In: Kreysa G., Ota K., Savinell R.F. (eds) *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*. Springer, New York, NY.
- [3]. Johar, M. A., et al. (2015). *Photocatalysis and Bandgap Engineering Using ZnO Nanocomposites. Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2015 pp. 01-22
- [4]. Ganguly, P., et al. (2019). *Chapter 23 - Recent Advances in Photocatalytic Detoxification of Water. Nanoscale Materials in Water Purification*, Elsevier. pages 653-688.
- [5]. Raganata, T. C., dkk. (2019). *Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. Jurnal of Chemistry Progress*. Vol. 12, pp 54-58.
- [6]. Popov, A., et al. (2010). *Designing Inorganic Light-Protective Skin Nanotechnology Products. Journal of biomedical nanotechnology*. Vol. 6, pp 432-51.
- [7]. Blazeka, D., et al. (2020). *Photodegradation of Methylene Blue and Rhodamine B Using Laser-Synthesized ZnO Nanoparticles. MDPI Journals Materials*. Vol. 13, No. 19: 4357.
- [8]. Hanavi, D. P., dkk. (2019). *Sintesis ZnO Serbuk dan Penggunaannya sebagai Fotoanoda Pada Sel Surya Tersensitisasi Warna. Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Vol. 9, No. 1 halaman 44-52.
- [9]. Budiharti, G. dan Supardi, Z. A. I. (2015). *Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel Synthesis of Silica Nanoparticles with Sol-Gel Method. Jurnal Inovasi*

- Fisika Indonesia*, Vol. 04 Nomor 03, hal 22 – 25.
- [10]. Ghassan, A. A., Mijan, N., and Taufiq-Yap, Y. H. (2019). *Nanomaterials: An Overview of Nanorods Synthesis and Optimization, Nanorods and Nanocomposites*. IntechOpen, 2019, Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/67093>