

DOI: doi.org/10.21009/03.1301.FA21

PENGARUH LAMA PERLAKUAN HIDROTERMAL TERHADAP KINERJA FOTOKATALIK *ZINC OXIDE (ZNO) NANORODS* UNTUK PEMURNIAN AIR LIMBAH

Muhammad Fajar Setiawan^{1, a)}, Iwan Sugihartono^{2, b)}, Nurfina Yudasari^{3, c)}¹Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka No. 01, Rawamangun 13220, Indonesia²Pusat Penelitian Fotonik, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Banten 15314, IndonesiaEmail: ^{a)}mfajars2001@gmail.com, ^{b)}iwan-sugihartono@unj.ac.id, ^{c)}Nurfina.yudasari@brin.go.id

Abstrak

Zinc Oxide (ZnO) telah banyak dikembangkan dalam bidang pengolahan air limbah sebagai fotokatalis untuk mendegradasi kontaminan pewarna. Efisiensi fotokatalitik ZnO dapat ditingkatkan dengan memodifikasi nanostrukturnya, terutama dengan mensintesis ZnO dalam bentuk *nanorod*. Dalam penelitian ini, metode hidrotermal sederhana digunakan untuk mensintesis nanorod ZnO dan mengevaluasi efektivitasnya dalam mendegradasi air limbah pewarna tekstil, menggunakan rhodamine B (RhB) dan methylene blue (MB) sebagai polutan model. Lembaran seng dengan ketebalan 0,1 mm, diolah secara hidrotermal dalam sebuah autoklaf yang berisi 50 ml air deionisasi pada suhu 95°C selama 8, 16, dan 24 jam. Setelah itu, setiap sampel diperiksa untuk karakteristik morfologi dan struktural sebelum direndam dalam larutan RhB dan MB dengan konsentrasi 5 ppm, dan terpapar cahaya UV dengan panjang gelombang 352 nm dan intensitas 900-1000 mW/cm². Tingkat degradasi RhB ditemukan sebesar 63,4% untuk ZnO-8, 94% untuk ZnO-16, dan 79,9% untuk ZnO-24, sedangkan untuk MB adalah 74,3% untuk ZnO-8, 75% untuk ZnO-16, dan 68% untuk ZnO-24. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ZnO yang disintesis secara hidrotermal selama 16 jam menunjukkan kinerja degradasi yang lebih baik terhadap kedua rhodamine B dan methylene blue dibandingkan dengan perlakuan selama 8 dan 24 jam.

Kata-kata kunci: ZnO, nanorod, fotokatalis, hidrotermal, *rhodamine B*, *methylene blue*.

Abstract

Zinc Oxide (ZnO) has been extensively developed in the field of wastewater treatment as a photocatalyst to degrade dye contaminants. The photocatalytic efficiency of ZnO can be enhanced by modifying its nanostructure, particularly by synthesizing ZnO in the form of nanorods. In this study, a simple hydrothermal method was used to synthesize ZnO nanorods and evaluate their effectiveness in degrading textile dye wastewater, using rhodamine B (RhB) and methylene blue (MB) as model pollutants. Zinc sheets with a thickness of 0.1 mm were treated hydrothermally in an autoclave containing 50 ml of deionized water at 95°C for 8, 16, and 24 hours. Subsequently, each sample was analyzed for its morphological and structural characteristics before being immersed in RhB and MB solutions with a concentration of 5 ppm and exposed to UV light at a wavelength of 352 nm and an intensity of 900–1000 mW/cm². The degradation rates of RhB were found to be 63.4% for ZnO-8, 94% for ZnO-16, and 79.9% for ZnO-24, while for MB, they were 74.3% for ZnO-8, 75% for ZnO-16, and 68% for ZnO-24. These results indicate that ZnO synthesized hydrothermally for 16 hours exhibited superior degradation performance for both rhodamine B and methylene blue compared to the 8-hour and 24-hour treatments.

Keywords: ZnO, nanorod, photocatalyst, hydrothermal, rhodamine B, methylene blue.

PENDAHULUAN

Perkembangan pada sektor industri tekstil berbanding lurus dengan semakin banyaknya limbah pewarna yang dihasilkan. Dalam pembuatan pewarna tersebut banyak bahan yang bersifat racun. Limbah pewarna tersebut jika tidak diolah terlebih dahulu dan langsung dibuang maka akan berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas air bersih [1]. Jenis limbah pewarna tersebut diantaranya ada metilen biru, metil jingga, rhodamin B dan rodhamin 6G [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah pewarna tersebut guna menjaga kualitas dan kuantitas air bersih tetap terjaga.

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang pengolahan limbah tersebut. Dari beberapa cara yang dapat dilakukan, penggunaan fotokatalis merupakan salah satu cara yang efektif dalam pengolahan limbah cair [3]. Fotokatalis menggunakan prinsip pemanfaatan cahaya yang dikenakan pada semikonduktor sesuai dengan serapan optisnya lalu menghasilkan ion-ion radikal yang nantinya

berperan dalam mendegradasi limbah cair [1]. Beberapa material semikonduktor yang digunakan untuk fotokatalis adalah ZnO dan TiO₂, dikarenakan kedua material semikonduktor tersebut mudah didapatkan dan ramah lingkungan [4]. Penelitian ini menggunakan ZnO sebagai material fotokatalis. ZnO merupakan semikonduktor dengan sifat stabilitas kimia, non toksisitas, biokompatibilitas, dan kemampuan menyerap sinar UV yang tinggi dikarenakan mempunyai celah pita sebesar 3,37eV[5].

Metode yang digunakan untuk menumbuhkan struktur nanorod pada substrat Zn foil adalah metode hidrotermal. Metode ini merupakan metode dengan menggunakan air sebagai mediumnya dalam suhu yang cukup tinggi [6]. Tujuan penumbuhan substrat Zn foil menjadi ZnO nanorod adalah untuk memperluas bidang permukaan material secara mikroskopik. Sehingga akan menyerap foton dari sinar UV yang lebih banyak. Hal ini akan memperkuat efek fotokatalis untuk mendegradasi polutan. Terdapat beberapa medium yang dapat digunakan untuk menumbuhkan nanorod di atas permukaan substrat. Tetapi karena dalam penelitian ini fokus utama adalah mendegradasi polutan, oleh karena itu medium yang akan digunakan adalah medium yang aman dan bebas dari bahan kimia. Dalam penelitian ini medium yang digunakan hanya aquades, sehingga tidak memunculkan masalah lingkungan yang baru akibat penggunaan bahan kimia yang tidak tepat.

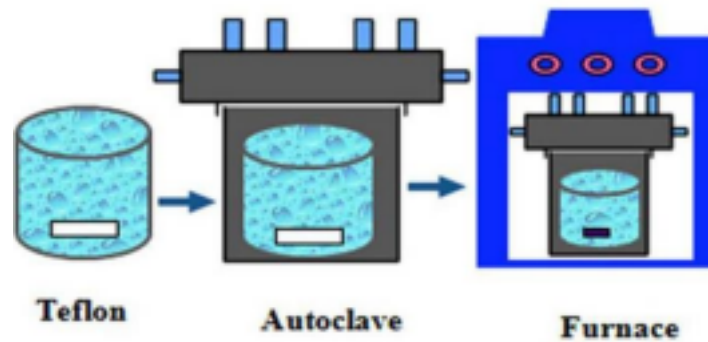
METODE

Preparasi Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini di steril menggunakan aquades. Seng (Zn) Foil kemudian dibentuk menjadi berukuran 2x2 cm menggunakan gunting. Zn foil yang sudah dibentuk kemudian dibilas lagi dengan aquades dan dikeringkan menggunakan tissue. Kemudian disimpan kedalam cawan petri plastik. Dalam penelitian ini menggunakan methylene blue dan rodhamin B sebagai contoh limbah pewarna, yang kemudian keduanya di preparasi dengan diencerkan menggunakan aquades.

Sintesis ZnO Menggunakan Metode Hidrotermal

Zn foil yang telah di preparasi akan digunakan untuk substrat dalam metode hidrotermal ini, tahap hidrotermal ini dilakukan untuk menumbuhkan nanorod pada permukaan substrat agar memperluas bidang penyerapan ketika nantinya dilakukan proses dengan sinar UV. Metode ini dilakukan dengan merendam substrat Zn foil dengan larutan prekursor, dan larutan prekursor yang digunakan kali ini sebagai medium penumbuhan nanorod adalah aquades. Substrat Zn foil dimasukkan kedalam teflon yang berukuran 50 ml lalu teflon tersebut diisi dengan larutan aquades sebanyak 50 ml. Kemudian teflon tersebut dimasukkan kedalam autoklaf untuk menghindari adanya penguapan, setelahnya tutup rapat autoklaf dan masukkan dalam oven dengan suhu 95°C lalu tutup oven dan diamkan selama waktu yang diinginkan, dalam penelitian ini dibutuhkan variasi waktu selama 8, 16, dan 24 jam.



Figur 1 Skema metode hidrotermal [7]

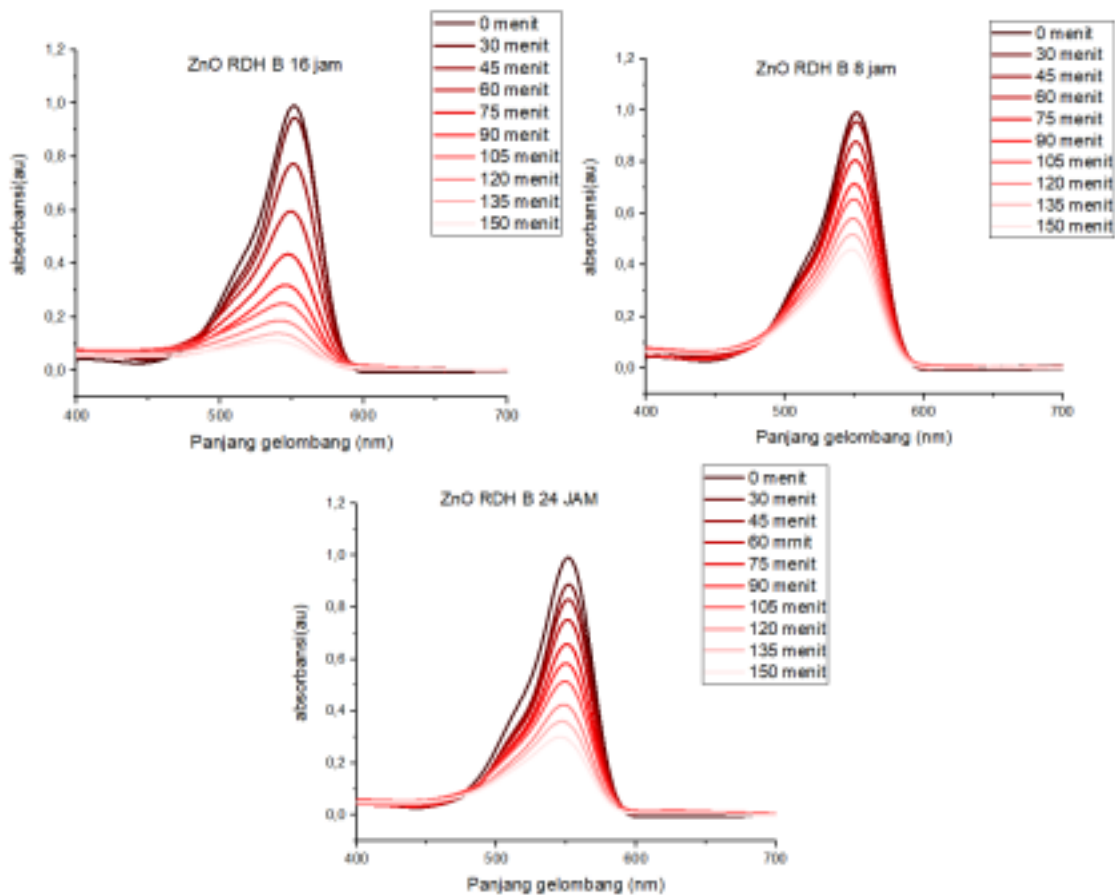
Proses Fotokatalis

Sampel yang telah di sintesis menggunakan metode hidrotermal tadi baru akan dilakukan proses fotokatalis dengan memanfaatkan sinar UV. Sampel ZnO 8 jam, 16 jam, dan 24 jam kemudian diletakan

dalam cawan petri yang masing masing diberi perlakuan yang sama untuk masing-masing pewarna methylene blue dan rodhamin b yaitu dengan limbah pewarna sebanyak 20 ml lalu diletakkan masing - masing sampel 8, 16, dan 24 jam. Kemudian cawan yang sudah berisi sampel dan limbah pewarna tersebut dimasukkan kedalam UV light box. Dilakukan lah proses degradasi selama 2 jam 30 menit, yang dimana 30 menit pertama dilakukan dengan lampu UV mati dan 2 jam selanjutnya dilakukan dengan lampu UV menyala, dan di setiap 15 menit dilakukan pengukuran absorbansi nya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat untuk mengukur absorbansi, transmitasi, dan reflektansi yang ketiganya merupakan bagian dari sifat optik suatu sampel, pada rentang antara sinar ultraviolet sampai *visible* (sinar tampak). Jika cahaya dilewatkan pada suatu bahan, maka sebagian akan diserap (*absorbed*), sebagian akan diteruskan (*transmitted*), dan sebagian akan dipantulkan (*reflected*). Semua sifat optik tersebut diperlukan untuk membandingkan energy gap yang dimiliki oleh ZnO pada panjang gelombang visible, sehingga mampu memprediksi berapa panjang gelombang yang dibutuhkan untuk mengeksitasi electron dari pita valensi ke pita konduksi. Selain itu pengukuran juga dilakukan untuk melihat degradasi warna dalam proses fotokatalis setelah dipaparkan UV [8].

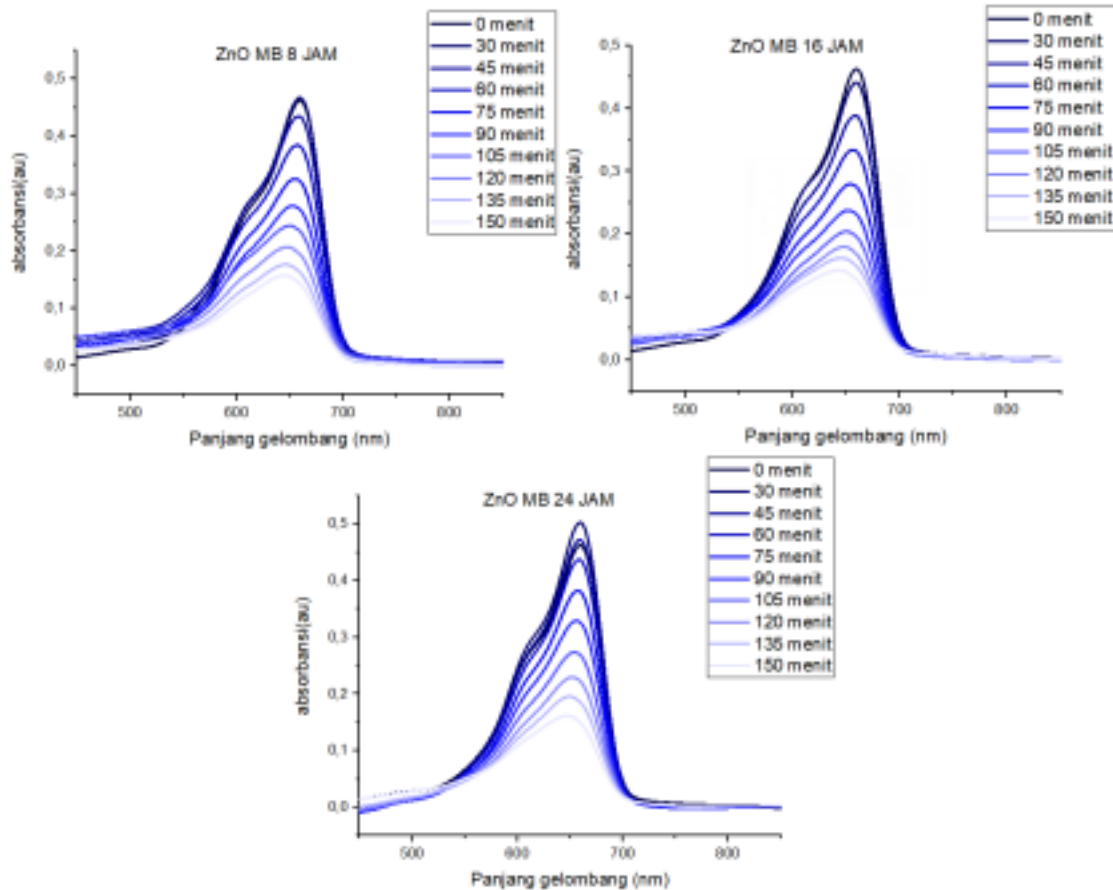
HASIL



Gambar 2 Degradasi ZnO terhadap limbah pewarna rhodamin b

Grafik absorbansi ZnO pada interval 8 jam, 16 jam, dan 24 jam terhadap rodhamin B menunjukkan tren penurunan absorbansi secara berkala setiap 15 menit. Dalam eksperimen ini, sampel diukur dalam periode waktu yang sama untuk melihat efektivitas degradasi rodhamin B oleh ZnO. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi penurunan absorbansi yang signifikan setiap 15 menit, mengindikasikan bahwa ZnO mampu mendegradasi rodhamin B secara efisien. Di antara ketiga sampel, ZnO yang diproses selama 16 jam menunjukkan hasil degradasi terbaik, dengan penurunan absorbansi paling tajam dibandingkan dengan sampel yang diproses selama 8 jam dan 24 jam. Hal ini menunjukkan

bahwa durasi proses 16 jam menghasilkan ZnO dengan kemampuan fotokatalitik yang optimal untuk mendegradasi rodhamin B.



Gambar 3 Degradasi ZnO terhadap limbah pewarna *methylene blue*

Grafik absorbansi ZnO dengan waktu sintesis 8 jam, 16 jam, dan 24 jam terhadap methylene blue menunjukkan tren penurunan yang konsisten setiap 15 menit selama periode pengukuran. Dalam setiap interval 15 menit, absorbansi methylene blue mengalami penurunan, yang mengindikasikan proses degradasi oleh ZnO. Di antara ketiga sampel, ZnO dengan waktu sintesis 16 jam menunjukkan efisiensi degradasi terbaik. Meskipun demikian, selisih hasil degradasi dengan sampel lainnya, yaitu ZnO 8 jam dan 24 jam, tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun semua sampel ZnO efektif dalam mendegradasi methylene blue, kondisi sintesis selama 16 jam memberikan hasil yang sedikit lebih optimal dibandingkan dengan durasi sintesis lainnya.

Kemudian dilakukan uji untuk mengetahui seberapa efisien dan efektif sampel. Pengujian dilakukan hanya terhadap sampel dengan kemampuan terbaik yaitu sampe ZnO 16 jam untuk pewarna rodhamin b dan methylene blue.

Sebelum dapat menentukan maka harus dilakukan perhitungan degradasi di tiap pengukuran dengan menggunakan rumus

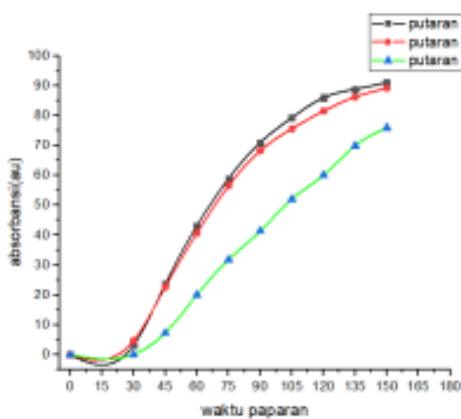
$$D\% = \frac{A_0 - A_T}{A_0} 100\% \tag{1}$$

Dimana A adalah puncak absorbansi dan D adalah persentasi degradasi.

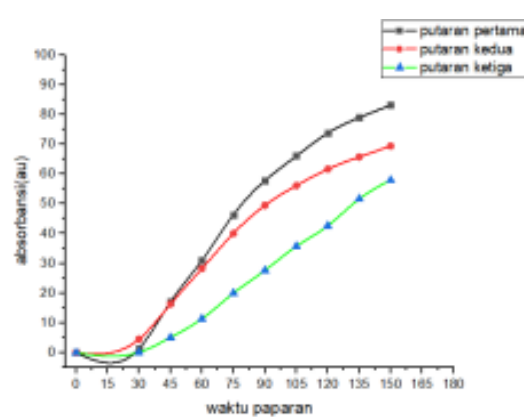
TABEL 1. Data sampel

WAKTU	PERSEN			DEGRDASI (%)		
	ZNO RDH	B 16 JAM		ZNO MB	16 JAM	
	1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	0	0
30	3,16456	4,69208	0,10604	1,33333	4,49679	0,15015
45	23,62869	22,6784	7,31707	17,03704	16,27409	5,10511
60	43,14346	40,66471	20,04242	30,96296	28,26552	11,41141
75	58,96624	56,50049	31,81336	46,37037	40,04283	19,96997
90	70,99156	68,23069	41,35737	57,77778	49,46467	27,62763
105	79,32489	75,56207	52,06787	66,07407	56,10278	35,73574
120	85,97046	81,52493	60,02121	73,77778	61,67024	42,64264
135	88,81857	86,21701	69,88335	78,96296	65,73876	51,65165
150	91,03376	89,14956	75,92789	83,11111	69,37901	57,95796

Dari data diatas dibuatlah grafik untuk melihat hasil nya dan agar kita dapat menentukan berapa penurunan yang terjadi di tiap putarannya



Gambar 4 Hasil uji efisiensi dan konsistensi rhodamin b 16



Gambar 5 Hasil uji efisiensi dan konsistensi methylene blue 16 jam

KESIMPULAN

Dapat diketahui bahwa variasi waktu hidrotermal terhadap kemampuan fotokatalis berpengaruh, aktu hidrotermal yang pas akan menghasilkan kemampuan yang bagus untuk sampel. tingkat degradasi zno rdh b 8 jam 54,6%, zno rdh b 16 jam 89,1 %, zno rdh b 24 jam 70,3%. lalu zno mb 8

jam 67,4%, zno mb 16 jam 69,4%, zno mb 24 jam 68 %. Pengurangan tingkat degradasi pada sampel dengan kemampuan terbaik yaitu zno rdh b 16 jam dan z|no mb 16 jam diperlukan untuk mengetahui konsistensi sampel untuk kembali digunakan sebagai bahan fotokatalis. pengurangan tingkat degradasi sekitar 2- %20, selama 3 putaran pengujian fotokatalis, sehingga sampel terbukti masih konsisten sebagai material fotokatalis setelah 3 kali penggunaan.

REFERENSI.

- [1] N. Hindryawati, *Fotokatalisis Dalam Pengolahan Limbah Tekstil*, Deepublish, 2020.
- [2] B. Kamyab Moghadas, H. Esmaeili, S. Tamjidi, and A. Geramifard, "Advantages of nanoadsorbents, biosorbents, and nanobiosorbents for contaminant removal," in *Nano Biosorbents for Decontamination of Water, Air, and Soil Pollution*, Elsevier, 2022, p. 107.
- [3] M. Miyak et al., "Water treatment efficacy of various metal oxide semiconductors for photocatalytic ozonation under UV and visible light irradiation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 2015, pp. 221–229.
- [4] D. Sistesya and H. Sutanto, "Sifat optis lapisan ZnO:Ag yang dideposisi di atas substrat kaca menggunakan metode chemical deposition (CSD) dan aplikasinya pada degradasi zat warna methylene blue," *Youngster Physics Journal*, vol. 2013, pp. 71–80.
- [5] G. K. Weldegebrerial, "Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: A review," *Inorganic Chemistry Communications*, vol. 120, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.108140>.
- [6] R. A. Azeti, I. Sugihartono, V. Fauzia, and M. Manawan, "Sintesis nanorods seng oksida (ZnO) di atas substrat silikon (111) menggunakan metode hidrotermal," *Jurnal PPI KIM Ke-42*, vol. 111, pp. 262–271, 2016.
- [7] S. Alfarisa, D. A. Rifai, and P. L. Toruan, "Studi difraksi sinar-x struktur nano seng oksida (ZnO)," *Risalah Fisika*, vol. 2, no. 2, pp. 53–57, 2018.
- [8] F. Adam, "Sintesis dan karakterisasi zinc oxide (ZnO) nanopartikel doping magnesium (Mg) dan aluminium (Al) untuk aplikasi fotokatalitik," Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin, 2019.