

Pengaruh Pengadukan Pada Degradasi *Methylene Blue* Menggunakan Fotokatalis ZnO Terdoping Cu

Nafika Nurullita¹, Rahadian Zainul*²

^{1,2}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Indonesia

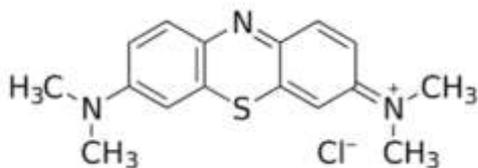
*rahadianzmsiphd@fmipa.unp.ac.id

Abstract — Methylene blue is one of the heterocyclic synthetic dyes used in textile industry, but has a negative impact on water quality and the surrounding environment. This study aims to degrade methylene blue using the photocatalytic method. The catalyst used for degradation is nano ZnO doped Cu 10%. In this study, the degradation process applies sunlight using a hexagonal mobile reactor and the light intensity is a measured used a luxmeter. The degradation process was carried out with variation of stirring at 1500 rpm and without stirring at 1,2,3, and 4 hours. Degradation results were measured using UV-Vis spectrophotometer to see adsorption before and after degradation. Results of this study obtained that the degradation using stirring has a higher percentage of degradation than without stirring. The maximum percentage of degradation obtained in study was 64,4% with a stirring speed of 1500 rpm for 4 hours irradiation.

Keywords — *Methylene blue*, *ZnO doped Cu 10%*, *photocatalytic*, *percentage degradation*

I. PENDAHULUAN

Industri tekstil menghasilkan limbah seperti zat warna cair beracun dan berbahaya bagi organisme air serta kesehatan manusia. Zat warna tekstil ini sebagian besar memuat senyawa azo serta turunannya ialah gugus benzen [1].



Gambar 1. Struktur *methylene blue*

Satu dari zat warna dipergunakan di industri tekstil ialah *methylene blue*, senyawa ini memiliki struktur benzena yang susah terurai secara alamiah, bersifat toksik, karsinogenik, serta mutagenik [2].

Methylene blue di industri tekstil merupakan zat warna thiazine yang umumnya dipakai, sebab harganya ekonomis serta praktis didapatkan. Zat rona ini ialah pewarna dasar yang dipakai dalam pewarnaan kain dan kulit. Pemakaian *methylene blue* ini membawa dampak negatif berupa iritasi saluran pencernaan bila tertelan dan kerusakan kulit akibat iritasi [3] *Methylene blue* mempunyai rumus kimia $C_{16}H_{18}ClN_3S$. Biasanya, *methylene blue* dipakai untuk zat warna sutra, wol, tekstil, kertas, alat-alat tulis kantor, serta produk kosmetik. *Methylene blue* seperti kristal warnanya hijau gelap [4].

Berdasarkan keputusan Menteri Lingkungan Hidup serta Kehutanan RI Nomor P.68/MENLHSetjenKum1/8/2016 mengenai kualitas air limbah do, konsentrasi maksimum *methylene blue* yang dibolehkan diperairan adalah 5,0-10 mg/L. Limbah cair yang langsung dibuang ke perairan, bisa merusak kesehatan serta mengurangi penetrasi cahaya di perairan yang tercemar [5]

Berdasarkan dampak yang ditimbulkan dari penggunaan *methylene blue* ini, menjadikan alasan mengapa pentingnya menghilangkan zat warna ini dari perairan. Terdapat beberapa metode yang bisa di terapkan dalam mengatasi masalah limbah cair zat warna ini seperti teknik klorinasi, biodegradasi, dan ozonasi. Semua cara itu perlu biaya yang relatif mahal, akibatnya kurang efisien digunakan. Suatu metode yang murah dan cukup praktis untuk digunakan adalah dengan menggunakan metode fotodegradasi, metode ini dapat digunakan untuk menguraikan zat warna menjadi komponen yang lebih sederhana sehingga bisa dibuang ke lingkungan. Proses ini dibantu dengan katalis seperti : TiO_2 , ZnO, Fe_2O_3 , CdS dan lainnya[6].

Penelitian ini menggunakan katalis ZnO, sebab ZnO memiliki daya absorpsi yang lebih baik dan lebih efisien sebagai fotokatalis pada larutan berair. ZnO merupakan semikonduktor anorganik yang tidak berbahaya serta stabilitas termal baik. Energi celah (band gap) ZnO adalah 3,37 eV [7]. Energi ikatan disuhu ruang yaitu 60 meV, struktur ZnO yang stabil yaitu wurtzite. Oleh sifatnya yang

multifungsi, praktis pada proses produksi, dan biaya yang digunakan relatif rendah, banyak penelitian yang telah dilakukan logam dengan logam maupun di doping dengan senyawa non logam [8]. *Band gap* energi yang memiliki energi tinggi, sehingga eksitasi elektron pada ZnO dapat terjadi ketika menyerap cahaya dengan panjang gelombang <368 nm. Eksitasi elektron yang terjadi akan menghasilkan radikal hidroksida ($\bullet\text{OH}$) sebagai agen pendeградasi *methylene blue*, sehingga dalam pemakaian ZnO dalam menguraikan *methylene blue* dilangsungkan dengan cahaya UV.

Degradasi *methylene blue* dengan menggunakan cahaya UV memiliki beberapa kelemahan yakni biaya yang relatif mahal, serta cahaya UV yang berbahaya ketika terpapar kulit. Pada penelitian ini, kami mencoba mendeградasi *methylene blue* dengan menggunakan cahaya matahari. Cahaya matahari memiliki kelebihan yaitu tidak berbahaya apabila terpapar dan dapat diperoleh dengan mudah serta tidak menggunakan biaya[9]. Untuk mendeградasi *methylene blue* menggunakan cahaya matahari, maka ZnO harus memiliki *band gap* energi yang lebih rendah.

Upaya menurunkan nilai energi celah pita dari ZnO yaitu didoping dengan ion logam. Dengan meningkatkan konsentrasi doping ZnO, tingkat energi akan berubah, akibatnya dapat meningkatkan sifat fisik dan sifat optik dari semikonduktor ZnO. Pada penelitian ini, ZnO didoping dengan ion logam tembaga (Cu^{2+}), ion logam tembaga (Cu^{2+}) diketahui dapat menurunkan band gap energi ZnO [10]. Logam Cu memiliki konduktivitas yang tinggi, murah, dan banyak tersedia [11]

Teknik sol gel merupakan cara sederhana untuk mensintesis nanopartikel. Prosesnya melibatkan dua tahap, pembentukan sol dan gel. Proses gel dimulai menggunakan pembentukan koloid yang mempunyai padatan tersuspensi didalam larutannya. Kemudian sol ini berubah fase menjadi gel, ialah koloid yang mempunyai fraksi padat yang lebih besar dari pada sol. Gel akan mengeras yang jika di panaskan hingga membentuk serbuk [12].

Nanopartikel yang sudah dipreparasi diuji kristalinitasnya dengan XRD dan UV-Vis DRS untuk melihat energi celah pita [13].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang dipakai yaitu peralatan gelas, *magnetic stirrer*, cawan porselen, neraca analitik, oven, *furmance*, desikator, fotoreaktor *mobile hexagonal*, xrd, spektrofotometri UV-Vis, dan UV-Vis DRS

Bahan yang dipakai yaitu Zink (II) asetat dihidrat $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, isopropanol, aluminium foil, tembaga (II) asetat monohidrat $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, MEA (monoethanolamine).

B. Prosedur Kerja

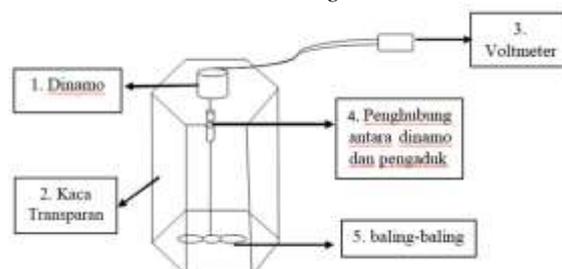
1) Preparasi katalis ZnO-Cu menggunakan metode sol-gel

2,743 gram zink (II) asetat dihidrat dilarutkan pada 50 mL isopropanol digelas kimia 100 mL, ditutup menggunakan kertas aluminium foil, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sekitar 40 menit. Selanjutnya 0,9568 gram tembaga (II) asetat monohidrat ditambahkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sekitar 40 menit. Ditambahkan *monoethanolamine* 1,4 mL, pengadukan diteruskan sekitar 90 menit. Kemudian didapatkan sol, dan dibiarkan 1 malam, kemudian dipindahkan kedalam cawan penguap, dioven suhu 110°C. Selanjutnya dikalsinasi disuhu 500°C selama 2 jam. Hasil diletakkan didesikator dan digerus sehingga berbentuk serbuk. ZnO-Cu yang sudah dipreparasi, diuji dengan XRD dan UV-Vis DRS

2) Preparasi larutan methylene blue 10 ppm

Methylene blue diambil sebesar 0,01 gram, dilarutkan dengan aquades pada gelas kimia 250 mL, kemudian diencerkan pada labu ukur sampai tanda batas 1000 mL. Kemudian *methylene blue* yang sudah dipreparasi dianalisa menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk melihat panjang gelombang maksimum dan absorbansi awal larutan tersebut.

3) Desain Reaktor Mobile Hexagonal



Gambar 2. Desain Reaktor *mobile hexagonal* [14]

Gambar 2 merupakan desain reaktor *mobile hexagonal* yang digunakan untuk tempat degradasi methylenen blue yang dibuat dengan bentuk segi enam dilengkapi dengan pengaduk dengan variasi kecepatan pengadukan (500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm). Reaktor *mobile hexagonal* ini terbuat dari kaca transparan sehingga memudahkan cahaya matahari masuk kedalam *reactor* ini yang berguna dalam mendeградasi *methylene blue*.

4) Degradasi methylene blue memakai katalis ZnO-Cu 10% pengadukan 1500 rpm

Degradasi *methylene blue* dilakukan menambahkan 0,06 gram ZnO-Cu 10% kedalam reaktor. Ditambahkan sebanyak 200 mL larutan metilen biru 10 ppm, kemudian disinari dengan cahaya matahari menggunakan variasi lama waktu penyinaran selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Intensitas cahaya diukur menggunakan *luxmeter*. Hasil degradasi dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis untuk melihat absorbansi hasil degradasi dan dicari %D (degradasi).

5) Degradasi methylene blue menggunakan fotokatalis ZnO-Cu 10% tanpa pengadukan

Degradasi *methylene blue* memakai katalis ZnO-Cu 10% dilakukan menambahkan 0,06 gram ZnO-Cu 10% kedalam reaktor. Ditambahkan sebanyak 200 mL larutan metilen biru 10 ppm, kemudian disinari dengan cahaya matahari menggunakan variasi lama waktu penyinaran selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Intensitas cahaya diukur menggunakan luxmeter. Hasil degradasi dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis untuk melihat absorbansi hasil degradasi dan dicari %D (degradasi).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

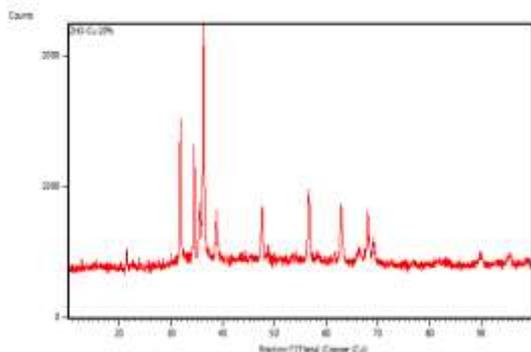
A. Preparasi ZnO terdoping Cu Menggunakan Teknik Sol-Gel.

Seng oksida (ZnO) terdoping tembaga (Cu) dipreparasi dengan $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ sebagai prekursor serta $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ sebagai bahan pendoping. $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ dilarutkan dengan 50 ml isopropanol dan diaduk dengan *magnetic stirrer* sekitar 40 menit. Ditambahkan MEA 1,4 ml kemudian dilanjutkan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* sekitar 90 menit dan didapatkan sol yang berwarna biru, rona biru diperoleh dari Cu yang terdistribusi pada ZnO. Sol didiamkan satu malam dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C, tujuannya yaitu untuk menguapkan pelarut yang nantinya akan membentuk gel yang berwarna biru pekat. Gel yang terbentuk kemudian dikalsinasi menggunakan *furnance* selama 2 jam pada suhu 500°C, tujuannya untuk mendapatkan *powder* dari nanopartikel ZnO-Cu dan untuk menghilangkan pengotor organik. ZnO-Cu yang didapatkan dikarakterisasi dengan XRD dan Spektrofotometri UV-DRS.

B. Karakterisasi Katalis ZnO doped Cu

1) XRD (X-ray diffraction)

Karakterisasi dengan XRD bertujuan untuk mendapatkan memperoleh struktur nano ZnO-Cu. Pola difraksi nano ZnO-Cu 10% bisa diperhatikan di Gambar 4 berikut:



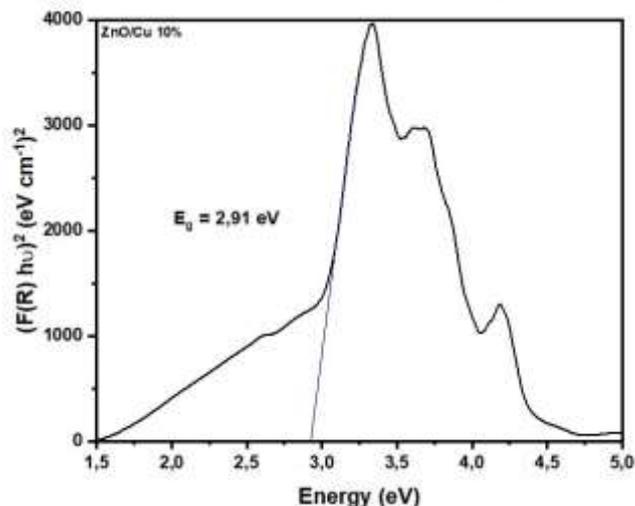
Gambar 1 Difaktogram nano ZnO-Cu 10%

Pengujian XRD ukuran partikel ZnO-Cu 10% didapatkan sebesar 11,34- 31,47 nm, ukuran ini akan memaksimalkan peranan katalis, sebab katalis yang berskala nanometer bisa

memperbesar luas permukaan katalis yang kontak dengan sampel. Ukuran kristal yang diperoleh ini, termasuk dalam kristal ukuran nano, sebab ukuran kristal berkisar antara 0-100 nm, ini membuktikan bahwa katalis ZnO sudah tercapai didoping menggunakan Cu.

2) UV-Vis DRS (UV-Vis Reflectance Spectroscopy)

Pengujian UV-Vis DRS bertujuan mendapatkan *band gap* dari ZnO-Cu 10%. Nilai *band gap* semikonduktor memiliki pengaruh terhadap kerja dari semikonduktor dalam menghasilkan elektron dan *hole* (lubang).

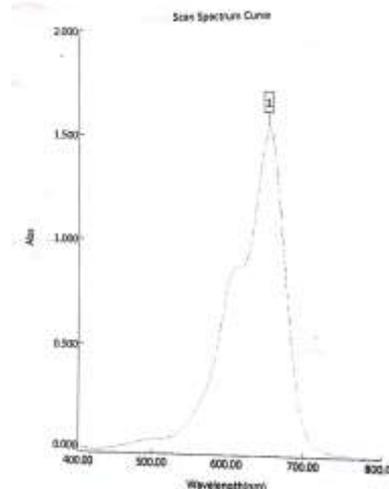


Gambar 2. Grafik nilai band gap nano ZnO-Cu 10%

Nilai energi celah pita bisa dihitung memakai persamaan kubelka-Munk. Nilai *band gap* ZnO-Cu 10% yang didapatkan adalah 2,91 eV.

C. Preparasi larutan methylene blue 10 ppm

Methylene blue di preparasi dengan konsentrasi 10 ppm. Karakterisasi memakai spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan panjang gelombang maksimum *methylene blue*, diperoleh pada 664 nm.



Gambar 3. Spektrum panjang gelombang methylene blue 10 ppm

Panjang gelombang maksimum dipakai untuk menentukan absorbansi sebelum dan sesudah didegradasi. Hasil pengukuran didapatkan % degradasi dari *methylene blue* dengan rumus sebagai berikut:

$$\% D = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\%$$

A_0 (cm^{-1}) adalah absorbansi awal dan A_t (cm^{-1}) adalah absorbansi setelah degradasi diwaktu t [7]

D. Degradasi methylene blue menggunakan ZnO-Cu 10% tanpa pengadukan

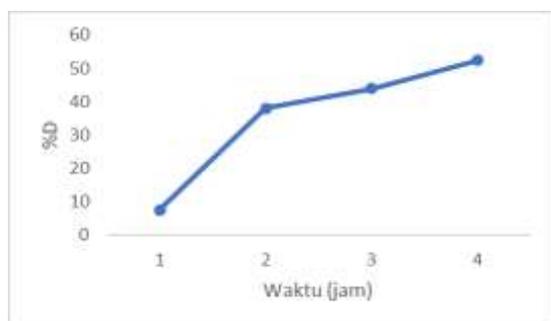
Degradasi *methylene blue* menggunakan ZnO-Cu 10% tanpa pengadukan dengan bantuan cahaya matahari variasi waktu penyinaran 1, 2, 3, dan 4 jam. Intensitas cahaya matahari diukur menggunakan *luxmeter* pada bagian depan dan belakang reaktor *mobile hexagonal*. Sebelum didegradasi (0 jam) larutan *methylene blue* diukur terlebih dahulu absorbansi nya, didapatkan adsorbansi sebesar 1.483. Tujuan pengukuran ini untuk melihat perbandingan absorbansi larutan *methylene blue* sebelum dan sesudah degridasi, sehingga didapatkan persentase degradasi *methylene blue*. Adapun hasil degradasi *methylene blue* yang didapatkan dengan tanpa pengadukan pada tabel 1 berikut :

TABEL 1.

DEGRADASI METHYLENE BLUE TANPA PENGADUKAN

Waktu (Jam)	Abs	% Degradasi	Lux Cahaya Depan	Lux Cahaya Belakang
1	1.371	7.55	25678	13689
2	0.907	38	29789	17568
3	0.832	43.89	32556	15690
4	0.707	52.32	31567	15121

Degradasi *methylene blue* tanpa pengadukan (0 rpm) untuk melihat adanya pengaruh pengadukan pada degradasi. Tabel 1 diatas menunjukkan persentase yang didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan pengadukan 1500 rpm. Persen degradasi yang didapatkan pada waktu 1, 2, 3, 4 jam adalah sebesar 7.55%, 38%, 43,89%, dan 52,32%.



Gambar 4 Grafik degradasi *methylene blue* tanpa pengadukan

Gambar 7 memperlihatkan grafik degradasi *methylene blue* tanpa pengadukan menjelaskan bahwa, degradasi

menggunakan variasi lama waktu penyinaran (1, 2, 3, 4 jam) memberikan persentase degradasi yang meningkat. Hasil degradasi *methylene blue* dipengaruhi oleh lama waktu penyinaran dan juga intensitas cahaya pada proses degradasi. Proses reaksi degradasi berkaitan dengan jumlah radikal hidroksida yang dihasilkan oleh fotolisis air, serta eksitasi elektron berasal dari pita valensi ke pita konduksi dari katalis yang digunakan dalam proses degradasi *methylene blue*.

E. Degradasi methylene blue menggunakan ZnO-Cu 10% dengan pengadukan 1500 rpm.

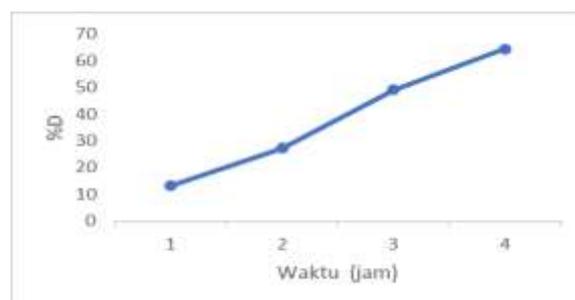
Degradasi *methylene blue* menggunakan pengadukan 1500 rpm dengan bantuan cahaya matahari memberikan hasil yang berbeda dengan degradasi yang tidak menggunakan pengadukan (0 rpm). Degradasi dengan menggunakan pengadukan akan bereaksi cepat dengan radikal hidroksida yang berperan sebagai memutus ikatan dari *methylene blue* sehingga akan terurai. Reaksi degradasi secara sempurna akan menghasilkan H_2O dan CO_2 [15]. Sebelum didegradasi (0 jam) larutan *methylene blue* diukur terlebih dahulu absorbansi nya, didapatkan adsorbansi sebesar 1.483. Tujuan pengukuran ini untuk melihat perbandingan absorbansi larutan *methylene blue* sebelum dan sesudah degridasi, sehingga didapatkan persentase degradasi *methylene blue*. Adapun hasil degradasi yang didapatkan dengan menggunakan pengadukan 1500 rpm pada tabel 2 berikut :

TABEL 2.

DEGRADASI METHYLENE BLUE DENGAN PENGADUKAN 1500 RPM

Waktu (Jam)	Abs	% Degradasi	Lux Cahaya Depan	Lux Cahaya Belakang
1	1.280	13.14	238172	22961
2	1.078	27.31	24689	24975
3	0.754	49.16	25480	17608
4	0.523	64.4	25715	17668

Tabel 2 diatas menunjukkan hasil degradasi dari *methylene blue* memberikan persentase degradasi yang relatif besar dibandingkan dengan tanpa pengadukan (0 rpm). Untuk hasilnya bisa dilihat pada Gambar 8 berikut :



Gambar 5. Grafik degradasi *methylene blue* dengan pengadukan 1500 rpm

Gambar 8 menunjukkan grafik degradasi *methylene blue*, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan persentase degradasi dengan menggunakan pengadukan yaitu 1500 rpm. Pengaruh Pengadukan dalam proses degradasi memberikan radikal hidroksil yang lebih merata. Proses degradasi memakai fotokatalis baik dengan pengadukan ataupun tanpa pengadukan mempunyai prinsip yang sama. Proses fotokatalis ini terjadi di waktu cahaya mengenai bagian atas (permukaan) katalis yang menyebabkan terbentuknya *hole* (lubang) dipita valensi dan elektron akan terletak dipita konduksi yang kemudian dikenal dengan *photo excitation state*. Hasil akhir didapatkan yaitu terbentuknya senyawa superoksida yang melepaskan O₂ dan (•OH) yang bisa mendegradasi polutan organik [16].

Pengaruh dari pengadukan ini juga sesuai dengan teori tumbukan partikel yang merupakan salah satu faktor kerja katalis yang memberikan pengaruh terhadap performa katalis dalam menguraikan suatu senyawa [17]. Pengadukan dalam proses degradasi berperan dalam menghomogenkan campuran reaksi [18].

Perbandingan hasil degradasi menunjukkan bahwa ada pengaruh pengadukan dalam proses degradasi *methylene blue*. Degradasi menggunakan pengadukan memberikan hasil persentase degradasi yang lebih besar yaitu 64,4%, sedangkan tanpa pengadukan menghasilkan hasil terbaik sebesar 52,32%.

IV. KESIMPULAN

- 1) Pengadukan memberikan pengaruh terhadap degradasi *methylene blue* menggunakan *reactor mobile hexagonal*.
- 2) Persentase degradasi *methylene blue* tertinggi menggunakan katalis ZnO-Cu 10% dengan pengadukan 1500 rpm yaitu sebesar 64,4 %.
- 3) Persentase degradasi *methylene blue* tertinggi menggunakan katalis ZnO-Cu 10% tanpa pengadukan yaitu sebesar 52,32%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang memberikan saran dan ikut serta pada penulisan artikel ini.

REFERENSI

- [1] Saptaji, R. *Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA*. in *Jurnal Forum Nuklir*. 2007.
- [2] Ljubas, D., L. Ćurković, and S. Dobrović, *PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF AN AZO DYE BY UV IRRADIATION AT 254 AND 365 nm*. Transactions of FAMENA, 2010. **34**(1).
- [3] Hamdaoui, O. and M. Chiha, *Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran*. Acta Chimica Slovenica, 2007. **54**(2).
- [4] Palupi, E., *Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂*. 2006.
- [5] Hadayani, L.W., I. Riwayati, and R.D. Ratnani, *Adsorpsi pewarna metilen biru menggunakan senyawa xanthat pulpa kopi*. Jurnal Ilmiah MOMENTUM, 2015. **11**(1).
- [6] Wijaya, K., et al., *Utilisasi TiO₂-zeolit dan sinar uv untuk fotodegradasi zat warna congo red*. Teknoin, 2006. **11**(3).
- [7] Sanjaya, H., *Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO₂ Secara Fotosonolisis*. Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA (E-ISSN: 2549-7464), 2018. **19**(1): p. 91-99.
- [8] Natori, H., K. Kobayashi, and M. Takahashi, *Preparation and photocatalytic property of phosphorus-doped TiO₂ particles*. Journal of oleo science, 2009. **58**(7): p. 389-394.
- [9] Mandar, S., D. Purnamsari, and R. Zainul. *Chatalytic activity of nano ZnO/Cu for degradation humic acid under illumination outdoor light*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. IOP Publishing.
- [10] Shirzad-Siboni, M., et al., *Enhancement of photocatalytic activity of Cu-doped ZnO nanorods for the degradation of an insecticide: kinetics and reaction pathways*. Journal of environmental management, 2017. **186**: p. 1-11.
- [11] Ahmad, I., et al., *SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SILVER DOPED ZnO NANOPARTICLES FOR HYDROGEN PRODUCTION*. Journal of Ovonic Research, 2018. **14**(6).
- [12] Yeatman, E. and E. Dawnay, *Doped sol-gel films for silica-on-silicon photonic components*. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 1997. **8**(1): p. 1007-1011.
- [13] Abdullah, M., K. Khairurrijal, and K. Khairurrijal, *Karakterisasi nanomaterial*. Jurnal Nanosains & Nanoteknologi, 2009. **2**(1): p. 1-9.
- [14] Zilla, R., D. Purnamasari, and R. Zainul. *Design of rotary photoreactor using nano Cu/TiO₂ for degradation humic acid in outdoor visible light*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. IOP Publishing.
- [15] Ong, C.B., L.Y. Ng, and A.W. Mohammad, *A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **81**: p. 536-551.
- [16] Naimah, S., et al., *Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂-Zeolit*. Jurnal Kimia Dan Kemasan, 2014. **36**(2): p. 225-236.
- [17] Twigg, M.V., *Catalyst handbook*. 2018: Routledge.
- [18] Zainul, R., J. Effendi, and M. Mashuri, *Phototransformation of Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Surfactant Using ZnO-CuO Composite Photocatalyst*. KnE Engineering, 2019: p. 235-247-235-247.