

DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B MENGGUNAKAN SINTESIS FOTOKATALIS $ZnO/NiFe_2O_4$ DAN DIAPLIKASIKAN PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PULP DAN KERTAS

DEGRADATION OF RHODAMIN B USING $ZnO/NiFe_2O_4$ PHOTOCATALYS AND APPLIED TO INDUSTRIAL LIQUID WASTE PULP AND PAPER

Tri Mawarni*¹, Fadarina, H.C.¹, Martha Aznury¹, Muhammad Taufik¹

¹(Program Studi Teknologi Kimia Industri/Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)
Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang, Telp. (0711) 353414,116/ Fax (0711) 355918
e-mail : *trimawarni0@gmail.com

ABSTRACT

$ZnO/NiFe_2O_4$ nanoparticles were synthesized by chemical co-precipitation method and were calcied at 500 °C for 5 h. The Composites synthesis within ratios of zinc oxide to nickel ferrite of 1:0,1, 2:0,1 and 3:0,1. The adsorption and photocatalytic activity of The removal of $ZnO/NiFe_2O_4$ were systematically investigated using Rhodamine B and waste water pulp and paper industry solution as a model contaminant. Rhodamine B (10 mg/L) and waste water pulp and paper industry solution by $ZnO/NiFe_2O_4$ (2:0.1) after 2 h reached 98,71% under LED lamp and 91,85% under solar light irradiation for Rh, and after 3 h reached 28,03% under LED lamp for lignin . •OH and h^+ play important roles in the decolorization of RhB solution by $NiFe_2O_4/ZnO$ under simulated LED lamp and solar light irradiation. The adsorption kinetics pattern under conditions of LED lamp and sunlight follows first order kinetic adsorptions.

Keywords: Photocatalysis, Co-Precipitation, $ZnO/NiFe_2O_4$, Rhodamin B

1. PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri terpenting di dunia. Produksi kertas terutama bergantung pada tiga proses yaitu pembuatan pulp, pemutihan (*bleaching*), dan *finishing* (produk kertas). Pembuatan kertas yang menghasilkan sejumlah air limbah yang mengandung lignin dengan konsentrasi tinggi menyebabkan warna coklat dan nilai COD yang tinggi. Limbah ini memiliki dampak negatif bagi kehidupan akuatik. Warna gelap yang dihasilkan dapat meningkatkan suhu air, menurunkan oksigen terlarut, dan membatasi jumlah sinar matahari yang menembus permukaan air, sehingga dapat menurunkan proses fotosintensis (Singh dkk., 2016).

Di antara berbagai kontaminan limbah yang dihasilkan kandungan senyawa organik dan intensitas warna yang paling besar. Warna pada air limbah pulp dan kertas merupakan senyawa organik di alam yang terdiri dari ekstraktif kayu, resin tannin, pewarna sintesis lignin dan produk degradasi yang terbentuk karena khlorin pada lignin (Zainith dkk., 2018). Zat wana Rhodamin B merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai bahan pewarna dasar dalam tekstil dan kertas. Di dalam Rhodamin B terdapat ikatan dengan khlorin (Cl) yang menyebabkan senyawa ini reaktif dan berbahaya. Ditemukannya bahaya yang sama antara Rhodamin B dan khlorin membuat adanya kesimpulan bahwa atom khlorin yang ada pada

Rhodamin B yang menyebabkan terjadinya efek toksik bila masuk ke dalam tubuh manusia (Masthura, 2019).

Sebagai alternatif, telah dikembangkan suatu metode fotodegradasi dalam pengolahan limbah zat warna. Metode ini menguraikan zat warna organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan cahaya (foton). Metode fotodegradasi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis berupa semikonduktor. Contoh semikonduktor oksida logam yang sering digunakan untuk katalis yaitu TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , dan $SrTiO_3$ (Deka, 2019).

Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa nanopartikel ZnO sebagai fotokatalis yang lebih unggul daripada TiO_2 (Rahmayeni dkk., 2017). ZnO adalah semikonduktor tipikal dengan celah pita lebar 3,37 eV, energi pengikat eksitasi besar 60 meV pada suhu kamar, biaya yang sangat rendah dibandingkan dengan oksida logam lainnya, fotosensitivitas tinggi dan stabilitas lingkungan sehingga banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk mengurangi polutan organik yang ada dalam air dan udara (Kumari dkk., 2019). Namun, celah pita lebar membatasi penyerapan sinar matahari yang hanya membutuhkan sekitar 3–5% dari spektrum matahari. Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis, berbagai upaya telah dilakukan untuk memodifikasi celah pita ZnO yaitu dengan doping elemen lain atau dengan bahan semikonduktor yang memiliki celah pita sempit (Su dkk., 2014)

Penelitian tentang degradasi limbah cair organik dan zat warna menggunakan fotokatalis ZnO dan NiFe₂O₄ telah lama berkembang diantaranya pada penelitian Kansal dkk., (2008) yang mempelajari efektifitas degradasi limbah lignin dari proses kraft industri pulp dan kertas menggunakan katalis TiO₂ dan ZnO, menghasilkan %degradasi lignin sebesar 15% dengan fotokatalis TiO₂ dan 84% menggunakan fotokatalis ZnO dengan kondisi di bawah sinar matahari dengan waktu kontak 5 jam. Pada tahun 2016 Zhu dkk., melakukan penelitian degradasi zat warna congo red menggunakan fotokatalis NiFe₂O₄/ZnO dengan metode sintesis hidrotermal diperoleh %degradasi optimum sebesar NiFe₂O₄ 7,84%, ZnO 64,69%, dan NiFe₂O₄/ZnO sebesar 94,55% pada kondisi dibawah sinar matahari. Begitupun dengan penelitian yang dilakukan oleh Adeleke dkk (2018), mengenai degradasi zat warna metilen biru menggunakan fotokatalis NiFe₂O₄/ZnO dengan metode sintesis *solid state*, diperoleh %degradasi metilen biru sebesar 98% pada kondisi dibawah sinar matahari. Pada tahun 2019 Qu dkk., melakukan penelitian degradasi zat warna Rhodamin B menggunakan fotokatalis NiFe₂O₄@SiO₂ dengan metode *hydrothermal synthesis*, diperoleh %degradasi Rhodamin B sebesar 72,8% dengan waktu kontak 8 jam pada kondisi lingkungan netral. Pada tahun 2016 Rahmayeni dkk., melakukan penelitian degradasi zat warna Rhodamin B menggunakan fotokatalis ZnO/NiFe₂O₄ dengan metode solvothermal pada rasio 1:0,01, diperoleh % degradasi Rhodamin B sebesar 99%, dengan konsentrasi Rhodamin B 10 mg/L, dan waktu kontak 3 jam dengan sinar matahari, pada penelitian dan perlakuan yang sama %degradasi Rhodamin B menggunakan fotokatalis ZnO dan NiFe₂O₄ didapat sebesar 68% dan 19%.

Maka berdasarkan paparan di atas, dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan %efektifitas degradasi optimum menggunakan fotokatalis ZnO/NiFe₂O₄ yang disintesis dengan metode ko-presipitasi, dengan variasi konsentrasi Rhodamin B dan waktu kontak fotokatalis pada kondisi penyinaran lampu LED dan sinar matahari (pukul 11.00-14.00).

Fotokatalis

Seng Oksida (ZnO) merupakan fotokatalis yang ramah lingkungan yaitu yang sesuai untuk organisme, dengan kata lain dapat digunakan untuk pengolahan air dan air limbah. Kemampuan fotokatalitik ZnO mirip dengan TiO₂ karena mempunyai celah pita energi (*band gap energy*) yang hampir sama. Kelebihannya, ZnO biayanya lebih rendah dibandingkan TiO₂ (Ma dkk., 2011). Namun demikian, penyerapan cahaya dari ZnO juga terbatas di daerah sinar ultraviolet disebabkan celah pita energi yang besar. Untuk meningkatkan efisiensi fotodegradasi ZnO, doping logam adalah strategi yang umum digunakan salah satunya yaitu dengan Nikel Ferrit Oksida (NiFe₂O₄).

Beberapa penelitian telah berhasil mensintesis NiFe₂O₄ dengan metode sintesis, seperti *sol-gel*, *sonochemical*, *auto-combustion*, *hydrothermal*, *wet*

chemistry route, *sol-gel auto combustion* dan metode ko-presipitasi (Bashir dkk., 2020). Doping antara ZnO dan NiFe₂O₄ membentuk semikonduktor fotokatalis yang meningkatkan aktivitas di bawah cahaya tampak. Secara teoritis, ketika bahan ferit digabungkan dengan ZnO, heterojungsi terbentuk dan kemudian elektron dan *hole* yang mengalami fotogenerasi dipisahkan secara efisien, yang mengarah pada peningkatan aktivitas fotokatalitik (Su dkk., 2014).

Metode Ko-Presipitasi

Metode ko-presipitasi merupakan suatu metode sintesis senyawa yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama ketika senyawa tersebut melewati titik jenuh. Produk dari metode kopresipitasi memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan lebih homogen (Nasution dan Fitri, 2018). Metode kopresipitasi merupakan metode yang paling efektif karena dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang normal dan dalam sintesisnya metode ini menggunakan pasangan asam dan basa, dimana asam berfungsi sebagai pelarut dan basa membawa zat terlarut ke bawah sehingga terbentuk endapan yang dikehendaki. Sintesis nanomagnetik dengan metode kopresipitasi diharapkan memiliki sifat monodispersif, dimana partikel terdistribusi secara merata atau seragam (Mairoza dan Astuti, 2016). Selain itu, metode kopresipitasi juga merupakan metode yang sederhana dan murah dalam biaya operasional, sehingga metode ini menjadi salah satu teknik pembuatan nanomagnetik yang sering digunakan (Perdana dkk., 2014).

Fotodegradasi

Metode fotodegradasi merupakan proses penguraian suatu senyawa dengan bantuan fotokatalis dan sinar ultraviolet (Widihati dkk., 2011). Metode fotodegradasi merupakan metode yang efektif karena dapat menguraikan senyawa zat organik berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya, seperti H₂O dan CO₂. Metode fotodegradasi dilakukan dengan menggunakan fotokatalis yang umumnya berupa bahan semikonduktor. Pada oksidasi fotokatalisis, cahaya UV memberikan energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan pasangan elektron dan lubang (*hole*). Pasangan elektron-hole akan berdifusi ke permukaan partikel oksida yang mengoksidasi polutan (Titdoy dkk., 2015).

Kinetika Fotodegradasi

Kinetika fotodegradasi digunakan untuk mengetahui laju yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat dan dipengaruhi oleh waktu. Pengujian laju dilakukan dengan menduga orde reaksinya. Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama orde pertama dan orde kedua. Orde reaksi adalah jumlah pangkat konsentrasi-konsentrasi yang menghasilkan suatu garis lurus. Model kinetika orde 1 dan orde 2 dinyatakan oleh persamaan (Ho, 2004) :

$$\ln C_t = -k \cdot t + C_0 \quad (\text{Orde 1})$$

(Ho, 2004)

$$\frac{1}{C_t} = k \cdot t + \frac{1}{C_0} \quad (\text{Orde 2})$$

(Ho, 2004)

Model kinetika reaksi orde 1 dan orde 2 masing-masing parameter dihitung dengan menggunakan grafik $\ln C_t$ terhadap t dan $(1/C_t)$ terhadap t , Model yang sesuai dengan hasil penelitian adalah model kinetika dengan harga R^2 paling tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan alat yang digunakan

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat laboratorium (Iwaki Pyrex), sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $ZnCl_2$ *p.a* (Merck, Germany), Aquades (Sumber Kimia, Indonesia), NaOH *p.a* (Merck, Germany), Etanol absolut 96% *p.a* (Merck, Germany), PEG-4000 *p.a*, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ *p.a* (Merck, Germany), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ *p.a* (Merck, Germany), dan Rhodamin B ($C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$).

Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO)

Nanopartikel ZnO disintesis menggunakan metode ko-presipitasi. Secara singkat, membuat larutan 1 M $ZnCl_2$ dan 2 M NaOH masing-masing dilarutkan dalam 100 ml aquadest. Pada suhu ruang, NaOH secara bertahap ditambahkan ke dalam larutan $ZnCl_2$ dengan pengadukan konstan untuk membentuk endapan putih hingga larutan mencapai pH 12. Setelah pengadukan campuran pada kondisi 300 rpm selama 2 jam, campuran yang diperoleh dicuci menggunakan air deionisasi hingga pH netral dan terakhir dicuci dengan alkohol absolut. Selanjutnya, endapan yang diperoleh di oven pada suhu $100^\circ C$ selama 6 jam, setelah itu dihaluskan dan diayak pada 200 mesh, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 2 jam. Nanopartikel ZnO yang diperoleh pada tahap ini digunakan untuk membuat nanokomposit ZnO/NiFe₂O₄.

Sintesis Nanopartikel Nikel Ferrit (NiFe₂O₄)

Nanopartikel NiFe₂O₄ diperoleh dengan melarutkan 5,406 gram $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,4 M, 2,373 gram $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 0,2 M, masing-masing dilarutkan dalam 50 ml aquadest, selanjutnya ditambahkan 2 gram PEG-4000 larutan dicampur di bawah pengaduk magnet selama 60 menit pada suhu $80^\circ C$. Kemudian, larutan NaOH (2 M) ditambahkan tetes demi tetes ke dalam campuran dengan pengadukan terus menerus hingga pH 12. Suspensi yang terbentuk disaring kemudian dicuci menggunakan air deionisasi hingga pH netral dan terakhir dicuci dengan alkohol absolut. Selanjutnya, endapan yang diperoleh di oven pada suhu $100^\circ C$ selama 6 jam, setelah itu dihaluskan dan diayak pada 200 mesh, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 2 jam.

Sintesis nanokomposit ZnO/NiFe₂O₄

Nanokomposit ZnO/NiFe₂O₄ disintesis dengan metode ko-presipitasi menggunakan ZnO yang telah disintesis sebelumnya dengan rasio nanopartikel ZnO terhadap NiFe₂O₄ yaitu 1:0,1, 2:0,1, dan 3:0,1 berturut-turut diberi label ZNi-1, ZNi-2, dan ZNi-3. Komposit dengan perbandingan 1:0,1 terlebih dahulu mencampurkan ZnO (1 gr) dan PEG-4000 (1 gr) dalam 50 ml aquadest dengan pengadukan 300 rpm pada suhu $80^\circ C$ selama 1 jam. Selanjutnya larutan ditambahkan dengan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (1,335 gr), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (0,587 gr) yang telah dilarutkan dalam 50 ml aquadest dan dihomogenkan. NaOH (2 M) ditambahkan secara bertahap hingga mencapai pH 12 dan membentuk endapan berwarna coklat. Endapan kemudian dipisahkan dan dicuci menggunakan air deionisasi hingga pH netral dan terakhir dicuci dengan alkohol absolut. Selanjutnya, endapan yang diperoleh di oven pada suhu $100^\circ C$ selama 6 jam, setelah itu dihaluskan dan diayak pada 200 mesh, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 2 jam.

Aktivitas Fotokatalitik

Aktivitas fotokatalitik nanokomposit diamati pada degradasi Rhodamin B (RhB) di bawah kondisi suhu ruang menggunakan lampu LED dan cahaya matahari. Prosedur ini diadopsi dari penelitian sebelumnya (Rahmayeni., dkk 2016). Untuk setiap percobaan, 100 mg fotokatalis didispersikan dalam 25 mL zat warna RhB (10, 20, 30 mg/L) dalam larutan. Campuran diaduk pada 300 rpm di bawah penyinaran lampu LED dan cahaya matahari (dari pukul 11:00 - 14:00). Dengan variasi waktu 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Degradasi RhB diamati dengan mengukur absorbansi spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang 554 nm. Persentase efektivitas degradasi RhB dihitung menurut menggunakan persamaan berikut (Rahmayeni., dkk 2016).

$$\text{Efektivitas Degradasi (\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

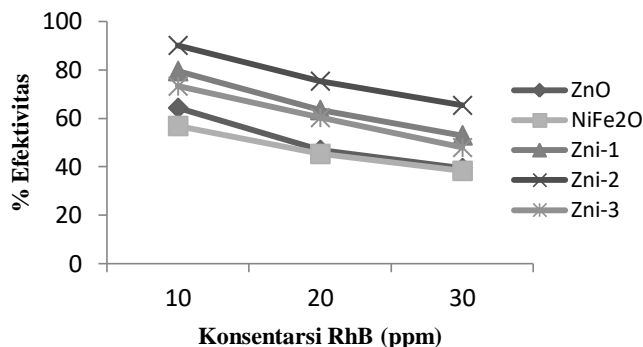
dimana C_0 dan C masing-masing adalah konsentrasi zat warna awal dan zat warna terdegradasi dalam larutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Fotokatalitik

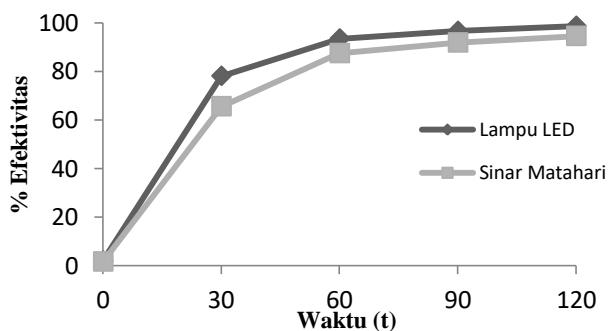
Aktivitas fotokatalitik dari sampel yang disintesis diuji dengan degradasi zat warna Rhodamin B. berdasarkan Gambar 1. bahwa pada konsentrasi Rhodamin B 10, 20, dan 30 mg/L mengalami efektivitas penurunan konsentrasi zat warna. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi dari zat warna Rhodamin B yang digunakan maka semakin sedikit zat warna yang terdegradasi. Dari Gambar 1. terlihat bahwa fotokatalis ZNi-2 menunjukkan fotokatalitik yang berbeda. Fotodegradasi dari larutan Rhodamin B (10 mg/L) di bawah cahaya lampu LED setelah 1 jam dengan komposit ZNi-1, ZNi-2, ZNi-3 masing-masing mencapai 79,48%, 90,07%, dan 73,23%. Sedangkan

untuk fotokatalis ZnO dan NiFe₂O₄, mencapai 64,27%, dan 56,83%. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan NiFe₂O₄ dalam ZnO dapat menggeser daerah penyerapan dan meningkatkan aktivitas fotokatalis pada cahaya tampak. Aktivitas fotokatalitik terbaik diperoleh dengan menggunakan sampel ZNi-2 sebagai katalis.



Gambar 1. Grafik %Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna Terhadap Konsentrasi Rhodamin B

Berdasarkan Gambar 2. aktivitas fotokatalitik Rhodamin B dengan konsentrasi 10 mg/L dan berat fotokatalis ZNi-2 100 mg. Degradasi Rhodamin B meningkat seiring dengan peningkatan lama penyinaran lampu LED dan sinar matahari. Pada kondisi penyinaran diperoleh sinar lampu LED memberikan hasil degradasi yang lebih tinggi dibandingkan sinar matahari. Peningkatan degradasi pada sinar lampu LED mencapai hingga 98,71% sedangkan pada sinar matahari sebesar 94,56% selama 120 menit, hal tersebut menunjukkan bahwa energi foton dari lampu LED dan sinar matahari mampu menyebabkan fotokatalis menghasilkan radikal •OH lebih banyak serta adanya doping NiFe₂O₄ dalam ZnO dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik di daerah sinar tampak.



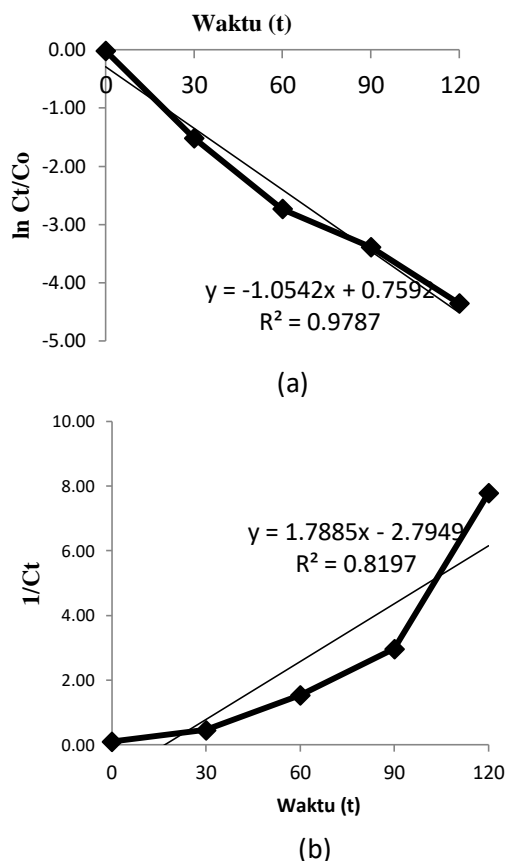
Gambar 2. Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna Rhodamin B terhadap Pengaruh Waktu Kontak

Kinetika Fotodegradasi

Kinetika fotodegradasi dapat diketahui dengan membuat grafik. Grafik untuk orde satu dibuat dengan memplot antar Ln Ct/Co dengan variasi waktu kontak (menit) dan untuk orde dua dibuat dengan memplot antara 1/Ct dengan variasi waktu kontak (menit).

a. Kinetika fotodegradasi pada penyinaran Lampu LED

Grafik orde satu dan orde dua pada penyinaran lampu LED dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Orde Satu (b) Orde Dua Kinetika Fotodegradasi Penyinaran Lampu LED

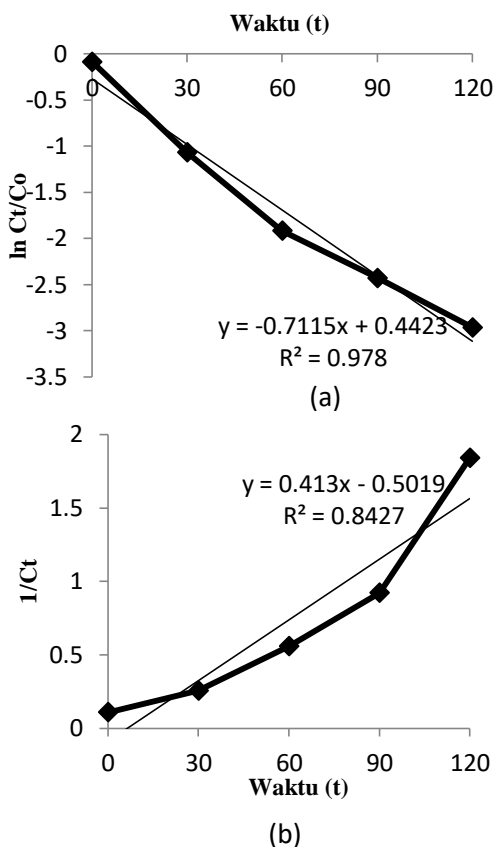
Berdasarkan Gambar 3. dapat ditentukan parameter kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Parameter Kinetika Fotodegradasi Penyinaran Lampu LED

Kondisi penyinaran	Orde Reaksi	K (menit) ⁻¹	R ²
Penyinaran Lampu LED	1	1,0542	0,9787
Lampu LED	2	1,7885	0,8197

Berdasarkan grafik yang dihasilkan dapat diketahui bahwa fotodegradasi fotokatalis ZNi-2 pada kondisi penyinaran lampu LED mengikuti kinetika orde satu dengan nilai K=1,0542 m⁻¹ dan R²=0,9787.

- b. Kinetika fotodegradasi pada penyinaran Sinar Matahari
 Grafik orde satu dan orde dua pada penyinaran Sinar Mataharidapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Orde Satu (b) Orde Dua Kinetika Fotodegradasi Penyinaran Sinar Matahari

Berdasarkan Gambar 4. di atas, dapat ditentukan parameter kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

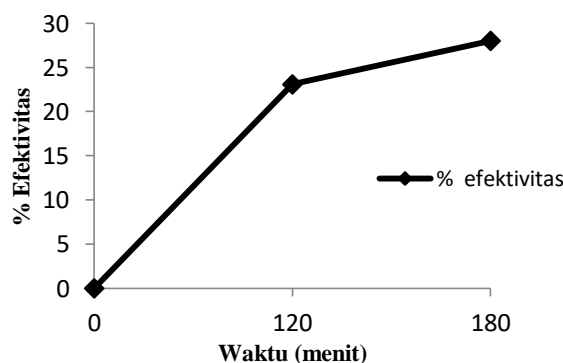
Tabel 2. Parameter Kinetika Fotodegradasi Penyinaran Sinar Matahari

Kondisi penyinaran	Orde Reaksi	K (menit) ⁻¹	R ²
Penyinaran Sinar Matahari	1	0,7115	0,9780
	2	0,4130	0,8427

Berdasarkan grafik yang dihasilkan dapat diketahui bahwa fotodegradasi fotokatalis ZNi-2 pada kondisi penyinaran sinar matahari mengikuti kinetika orde satu dengan nilai $K=0,7115 \text{ m}^{-1}$ dan $R^2=0,9780$. Orde reaksi yang diperoleh dapat diartikan sebagai kecepatan terjadinya suatu reaksi. Reaksi orde satu adalah reaksi yang lajunya berbanding langsung dengan konsentrasi reaktan. Sedangkan reaksi orde dua yang merupakan reaksi yang lajunya berbanding langsung dengan kuadrat konsentrasi suatu reaktan.

Degradasi Lignin Menggunakan Fotokatalis ZNi-2

Pengujian dilakukan menggunakan sampel limbah cair industri pulp dan kertas dimana untuk mengetahui kualitas perbandingan sampel awal dengan hasil akhir untuk mendapatkan nilai penurunan kadar dari hasil analisis. Kadar lignin dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 280 nm (Alen dkk., 1988). Dapat dilihat pada Gambar 8. berdasarkan data absorbansi didapatkan peningkatan degradasi warna lignin pada waktu 120 menit sebesar 23,10% dan pada waktu 180 menit sebesar 28,03%. Efektivitas fotodegradasi yang tinggi dapat dicapai ketika konsentrasi lignin lebih rendah. Ketika konsentrasi larutan lignin rendah, maka laju laju produksi radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) meningkat yang memungkinkan degradasi lebih cepat (Kansal dkk., 2008).



Gambar 5. Grafik %Efektivitas Penurunan Kadar Lignin Limbah Cair Pulp dan Kertas Menggunakan Fotokatalis ZNi-2

Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai adsorpsi telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, sehingga dapat dijadikan refensi untuk penelitian yang akan dilakukan.

Dari Tabel 3. dengan penelitian fotokatalis nanopartikel sebelumnya dapat dilakukan perbandingan dengan jenis metode sintesis yang digunakan dan hasil efektivitas fotodegradasi zat warna yang dihasilkan berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahmayeni, dkk (2016,2017), Hitkari, dkk (2017), Adeleke, dkk (2018), dan Zhu, dkk (2016) didapatkan efektivitas fotodegradasi pada zat warna RhB, MB, dan Congo Red masing-masing sebesar 99%; 96,7%; 50%; 98%; dan 94,55% dengan penyinaran cahaya matahari. Penelitian yang dilakukan saat ini dengan penyinaran cahaya matahari didapatkan nilai efektivitas fotodegradasi sebesar 91,85%.

Pada penelitian Chandel, dkk (2019), menggunakan fotokatalis ZnO/ZF/NG dan ZnO/CF/NG pada degradasi zat warna MG dan MO didapatkan hasil efektivitas degradasi 92 % dan 98% pada zat warna MG,

serta 94% dan 99% pada zat warna MO dengan masing-masing kondisi penyinaran menggunakan lampu halogen dengan waktu kontak 140 menit. Penelitian yang dilakukan saat ini dengan penyinaran lampu LED didapatkan nilai efektivitas fotodegradasi RhB sebesar 98,71% dengan waktu kontak 2 jam. Berdasarkan hasil perbandingan masing-masing penelitian, nilai efektivitas fotodegradasi zat warna RhB, pada penelitian saat ini cukup tinggi sehingga nanopartikel yang disintesis menggunakan metode ko-presipitasi cukup menjanjikan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kansal, dkk (2008), efektivitas fotodegradasi yang

didapatkan sebesar 84% dengan waktu degradasi 5 jam, sedangkan pada penelitian yang dilakukan sekarang dengan menggunakan penyinaran lampu LED dan waktu degradasi selama 3 jam didapatkan efektivitas fotodegradasi sebesar 28,03%. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dapat dikatakan efektivitas fotodegradasi terhadap kadar lignin kurang efektif. Dari perbandingan efektivitas fotodegradasi lignin penelitian tersebut, penelitian saat ini dinilai kurang efektif dalam fotodegradasi lignin menggunakan penyinaran lampu LED dan waktu degradasi yang tidak terlalu lama.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Nanopartikel	Zat Warna	Metode Sintesis	Sumber Cahaya	Efektivitas Fotodegradasi	Waktu Degradasi	Referensi Penelitian
ZnO/NiFe ₂ O ₄	RhB	Solvothermal	Cahaya Matahari	99%	3 jam	Rahmayeni, dkk 2016
ZnO/MnFe ₂ O ₄	RhB	Hidrotermal	Cahaya Matahari	96,7%	3 jam	Rahmayeni, dkk 2017
ZnO/ γ -Fe ₂ O ₃	RhB	Ko-Presipitasi	Cahaya Matahari	50%	2 jam	Hitkari, dkk 2017
	MB			30%		
ZnO/ZF/NG	MG	Hidrotermal	Lampu	92%	140 menit	Chandel, dkk 2019
	MO		Halogen	94%		
ZnO/CF/NG	MG		Lampu	98%		
	MO		Halogen	99%		
ZnO/NiFe ₂ O ₄	MB	Ko-Presipitasi	Cahaya Matahari	98%	80 menit	Adeleke, dkk 2018
NiFe ₂ O ₄ /ZnO	Congo Red	Hidrotermal	Cahaya Matahari	94,55%	10 menit	Zhu, dkk 2016
TiO ₂ /ZnO	Lignin	Ko-Presipitasi	Cahaya Matahari	84%	5 jam	Kansal, dkk 2008
ZnO/NiFe ₂ O ₄	RhB	Ko-Presipitasi	Lampu LED	98,71%	2 jam	Penelitian ini
			Cahaya Matahari	91,85%	2 jam	
	Lignin		Lampu LED	28,03%	3 jam	

DAFTAR PUSTAKA

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Kondisi optimum pada fotodegradasi zat warna Rhodamin B yaitu pada fotokatalis ZNi-2, konsentrasi Rhodamin B 10 mg/L, dan waktu kontak pada 60 menit sebesar 90,07%. Kondisi optimum efektivitas penurunan konsentrasi zat warna Rhodamin B dengan variasi waktu kontak menggunakan penyinaran lampu LED sebesar 98,71% sedangkan penyinaran sinar matahari sebesar 91,85%.
2. Kinetika fotodegradasi pada penyinaran lampu LED mengikuti kinetika orde satu dengan nilai k sebesar 1,0542, begitupun pada penyinaran sinar matahari mengikuti kinetika orde satu dengan nilai k sebesar 0,7715.

- Adeleke, J. T., Theivasanthi, T., Thirupathi, M., Swaminathan, M., Akomolafe, T., & Alabi, A. B. (2018). Applied Surface Science Photocatalytic degradation of methylene blue by ZnO / NiFe₂O₄ nanoparticles. *Applied Surface Science*, 455(April), 195–200.
- Alen, Raimo dan Timo Hartus. (1988). *UV Spectrophotometric Determination of Lignin From Alkaline Pulping Liquors*. Journal Cellulose Chem. Technology. Vol 22, 613-618.
- Bashir, A. K. H., Matinise, N., Sackey, J., Kaviyarasu, K., Madiba, I. G., Kodseti, L., Ezema, F. I., & Maaza, M. (2020). Investigation of electrochemical performance, optical and magnetic properties of NiFe₂O₄ nanoparticles prepared by a green chemistry method. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 119(December 2019), 114002.

- Chandel, N., Sharma, K., Sudhaik, A., Raizada, P., Hosseini-bandegharai, A., Kumar, V., & Singh, P. (2019). Magnetically separable ZnO / ZnFe₂O₄ and ZnO / CoFe₂O₄ photocatalysts supported onto nitrogen doped graphene for photocatalytic degradation of toxic dyes. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Deka, P. T. (2019). *Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe₂O₃-Zeolit dan Sinar UV The Comparison Of Methyl Orange Photodegradation Using Zeolite, Fe₂O₃-Zeolite Catalyst and UV light*. 4(2), 71–76.
- Hitkari, Gaurav, Sandhya Singh dan Gajanan Pandey. (2017). *Synthesis, Characterization and Visible Light Degradation of Organic dye by Chemically Synthesized ZnO/γ-Fe₂O₃ Nanocomposites*. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 4, Issue 5, 3960-3955.
- Ho, Y. S. (2004). *Citation Review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions*. *Scientometrics* 59(1), 171- 177.
- Kansal, S. K., Singh, M., & Sud, D. (2008). *Studies on TiO₂ / ZnO photocatalysed degradation of lignin*. *Journal of Hazardous Materials* (153). 412–417.
- Kumari, V., Mittal, A., Jindal, J., Yadav, S., & Kumar, N. (2019). S-, N- and C-doped ZnO as semiconductor photocatalysts: A review. *Frontiers of Materials Science*, 13(1).
- Ma, H., Han, J., Fu, Y., Song, Y., Yu, C., & Dong, X. (2011). Synthesis of visible light responsive ZnO-ZnS/C photocatalyst by simple carbothermal reduction. *Applied Catalysis B: Environmental*, 102(3–4), 417–423.
- Mairoza, A., & Astuti, A. (2016). Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand*, 5(3), 283–286.
- Masthura. (2019). Identifikasi Rhodamin B dan methanyl Yellow Pada Manisan Buah Yang Beredar Di Kota Banda Aceh Secara Kualitatif. *Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*, 1(1), 39–44.
- Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopersipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 18–25.
- Perdana, N. D., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2014). Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) Terhadap Degradasi Methylene Blue Dengan Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Kimia Student Journal*, 2(2), 576–582.
- Qu, J., Che, T., Shi, L., Lu, Q., & Qi, S. (2019). A novel magnetic silica supported spinel ferrites NiFe₂O₄ catalyst for heterogeneous Fenton-like oxidation of rhodamine B. *Chinese Chemical Letters*, 30(6), 1198–1203.
- Rahmayeni, Zulhadjri, Novesar Jamarun, Emiriadi, dan Syukri Arief. 2016. Synthesis of ZnO-NiFe₂O₄ Magnetic Nanocomposites by Simple Solvothermal Method for Photocatalytic Dye Degradation under Solar Light. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(3), 1411–1419.
- Rahmayeni, Arief, S., Jamarun, N., Emriadi, & Stiadi, Y. (2017). Magnetically separable ZnO-MnFe₂O₄ nanocomposites synthesized in organic-free media for dye degradation under natural sunlight. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(6), 2758–2765.
- Singh, C., Chowdhary, P., Singh, J. S., & Chandra, R. (2016). *Pulp and paper mill wastewater and coliform as health hazards: A review*. 4(September), 28–39.
- Su, N. R., Lv, P., Li, M., Zhang, X., Li, M., & Niu, J. (2014). Fabrication of MgFe₂O₄-ZnO heterojunction photocatalysts for application of organic pollutants. *Materials Letters*, 122(3), 201–204.
- Titdoy, S., Wuntu, A. D., & Kamu, V. S. (2015). Kinetika Fotodegradasi Remazol Yellow Menggunakan Zeolit A Terimpregnasi TiO₂. *Jurnal MIPA*, 4(2), 10.
- Widihati, I. A. G., Ni, P. D., dan Yuliana, F. N. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃. *Jurnal Kimia*. 5(1): 31-42.
- Zainith, S., Chowdhary, P., & Bharagava, R. N. (2018). Recent advances in physico-chemical and biological techniques for the management of pulp and paper mill waste. *Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management*, 271–297.
- Zhu, H., Jiang, R., Fu, Y., Li, R., & Yao, J. (2016). Applied Surface Science Novel multifunctional NiFe₂O₄ / ZnO hybrids for dye removal by adsorption, photocatalysis and magnetic separation. *Applied Surface Science*, 369, 1–10.