

## Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Photodegradation of *Rhodamine B* Dye Using Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>1)</sup>Rial Tangaran, <sup>2)</sup>Suriati Eka Putri, <sup>3)</sup>Hasri

<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Email: [ekaputri\\_chem@unm.ac.id](mailto:ekaputri_chem@unm.ac.id)

#### ABSTRAK

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam mendegradasi zat warna *Rhodamin B*. Tahapan penelitian terdiri dari sintesis komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode impregnasi, karakterisasi komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menggunakan XRD dan SEM serta uji fotodegradasi zat warna *Rhodamin B*. Fotodegradasi zat warna *Rhodamin B* dilakukan dengan variasi massa komposit, dan waktu radiasi. Pengukuran hasil degradasi zat warna *Rhodamin B* menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 555 nm. Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD menunjukkan puncak khas pada  $2\theta = 24,54^\circ$ ;  $33,52^\circ$ ;  $54,39^\circ$ ;  $57,90^\circ$ ;  $62,74^\circ$ ;  $64,34^\circ$ ; dan  $72,24^\circ$  yang mengindikasikan adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Karakterisasi morfologi menggunakan instrumen SEM menunjukkan ukuran butir komposit yang beragam dan tersebar merata. Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu mendegradasi zat warna *Rhodamin B* dengan massa optimum 250 mg pada waktu radiasi 180 menit dengan presentase degradasi sebesar 54,23 %.

**Kata Kunci:** Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Rhodamin B*, Fotodegradasi

#### ABSTRACT

This research is experimental research that aimed to determine the ability of Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to degrade Rhodamin B dye. The stages of the research consisted of synthesis of the Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite using the impregnation method, characterization of the Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite using XRD and SEM and photodegradation test of Rhodamin B dye. Photodegradation of Rhodamin B dyes was carried out by varying the mass of the composite and the irradiation time. The results of the degradation of Rhodamine B dye were measured using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 555 nm. The Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite was characterized using the XRD instrument showing a typical peak at  $2\theta = 24.54^\circ$ ;  $33.52^\circ$ ;  $54.39^\circ$ ;  $57.90^\circ$ ;  $62.74^\circ$ ;  $64.34^\circ$ ; and  $72.24^\circ$  which indicates the presence of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Morphological characterization using SEM instruments showed that the grain sizes of the composites were varied and evenly distributed. The Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite was able to degrade Rhodamine B dye with an optimum mass of 250 mg at 180 minutes of irradiation time with a degradation percentage of 54.23%.

**Keywords:** Chitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite, *Rhodamin B*, Photodegradation

## PENDAHULUAN

Zat warna yang digunakan dalam produksi tekstil dan kertas dapat berupa zat warna alami maupun sintetis/buatan. Zat warna sintetis merupakan zat warna yang sengaja dibuat melalui pengolahan industri. Zat warna sintetis biasanya digunakan karena komposisinya lebih stabil, menghasilkan warna yang menarik, harganya murah, dan mudah diperoleh. Zat warna Rhodamin B merupakan salah satu zat warna sintetis yang sering digunakan sebagai bahan zat warna dasar dalam tekstil. Rhodamin B merupakan zat warna dari golongan kationik (cationic dyes) berbentuk serbuk kristal, berwarna hijau atau ungu kemerahan, tidak berbau, dan dalam larutan akan berwarna merah terang berpendar/berfluoresensi (Anggraini, 2019).

Limbah zat warna Rhodamin B merupakan polutan organik yang bersifat karsinogenik dan mutagenik yang sulit didegradasi sehingga apabila dibuang ke ekosistem air akan merusak estetika dan meracuni biota air di dalam ekosistem air. Pengelolaan limbah zat warna dapat dilakukan secara biologi, kimia, maupun fisika (rahmahmukti dkk, 2017). Namun penggunaan metode biologi tidak mampu mendegradasi zat warna secara maksimal, sehingga metode ini belum efisien digunakan. Sedangkan metode fisik dan kimia seperti adsorpsi, penukar ion, ozonasi, elektrokimia, koagulasi dan sedimentasi lebih baik dalam mendegradasi zat warna. Namun pengolahan limbah dengan metode koagulasi dan sedimantasi (Rahmah, dkk., 2015) menimbulkan limbah baru yaitu koagulan yang tidak dapat digunakan lagi sedangkan metode adsorpsi (dekadewi, dkk. 2013), zat warna yang diadsorpsi terakumulasi dalam adsorben tanpa menguraikan sifat toksik dan karsinogenik

dari limbah zat warna sehingga menimbulkan permasalahan baru.

Saat ini sedang dikembangkan suatu metode pengolahan limbah zat warna yaitu metode fotodegradasi. Metode fotodegradasi yaitu suatu proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan energi foton dan radiasi sinar UV. Metode fotodegradasi merupakan metode yang efektif karena diketahui dapat menguraikan senyawa zat warna menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan aman untuk lingkungan serta menghasilkan limbah sekunder yang lebih sedikit (Mukti, dkk. 2013).

Proses fotodegradasi dapat dipercepat dengan katalis. Teknologi fotokatalisis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalis yang terintegrasi untuk melangsungkan suatu reaksi transformasi kimia. Reaksi transformasi kimia pada proses fotodegradasi berlangsung pada permukaan bahan katalis semikonduktor yang terinduksi oleh sinar UV sehingga dihasilkan radikal hidroksil yang akan mendegradasi polutan organik. Reaksi yang terjadi pada proses fotokatalis adalah reaksi oksidasi-reduksi yaitu reaksi pelepasan dan penerimaan elektron karena energi foton  $h\nu$  dari lampu UV (Deka, 2019).

Metode fotodegradasi dapat menggunakan katalis berupa semikonduktor seperti ZnO, TiO<sub>2</sub>, CdS, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnS dan fotokatalis lain seperti H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Di antara katalis semikonduktor, yang memiliki potensi besar sebagai fotokatalis adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dimana memiliki kelebihan yakni, mempunyai energi band gap yang lebih kecil, yakni ~2.1 eV sehingga dapat mempercepat reaksi oksidasi oleh cahaya (Khoormortezaei, dkk. 2021; Wardhani,

dkk. 2017). Selain itu Sifat magnet dari fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjamin pemisahan yang efisien dan dapat digunakan kembali (Dewi, dkk. 2017).

Untuk meningkatkan kinerja katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, maka dapat diimbangkan dalam suatu material berpori, salah satunya adalah kitosan. Kitosan dapat memperbanyak sisi aktif katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang biasa disebut metode impregnasi. Namun, salah satu kelemahan dari penggunaan katalis serbuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah memiliki efisiensi yang rendah (Riskiani, E. Dkk. 2019). Selain itu kemampuan fotokatalitik oksida logam akan meningkat jika ukuran partikel sangat kecil, karena semakin kecil ukuran partikel, maka nilai energi celah pita (Eg) akan semakin besar. Karena itu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> perlu diimbangkan ke dalam kitosan yang merupakan suatu material berpori sehingga dapat meningkatkan efisiensi fotokatalis (Deka P. T. 2019). Kitosan memiliki kapasitas dan potensi yang besar sebagai material pengemban untuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dibandingkan dengan biopolimer lainnya karena adanya gugus fungsi aktif seperti amina dan hidroksil dalam strukturnya yang dapat bertindak sebagai pengikat sekaligus agen pengkelat (Guo, dkk. 2014). Penelitian terkait penggunaan kitosan sebagai material pendukung katalis dalam fotodegradasi-adsorpsi telah dilakukan sebelumnya menggunakan katalis TiO<sub>2</sub> (Muniroh, 2014). Hasil yang diperoleh menunjukkan komposit kitosan-TiO<sub>2</sub> dapat menurunkan konsentrasi zat warna Methyl orange sebesar 93,08% (Muniroh, 2014). Penelitian terkait fotodegradasi menggunakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang teremban didalam bentonit dengan bantuan sinar UV pada kondisi optimumnya dapat mendegradasi zat warna remazol brilliant blue sebesar 98,20% (Riskiani, 2019).

Berdasarkan hal tersebut, maka komposit kitosan- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berpotensi untuk

mendegradasi zat warna Rhodamin B. Sejauh penelusuran peneliti, pemanfaatan kitosan sebagai material pendukung katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> belum banyak dilakukan. Sehingga peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang fotodegradasi zat warna Rhodamin B menggunakan komposit kitosan- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## METODE PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, alat-alat gelas, reaktor UV, botol vial, botol semprot, lumpang, alu, oven, thermometer, hot plate, magnetik stirer, alat sentrifugasi, pH meter, Scanning Electron Microscopy (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), dan Spektrofotometer UV-Vis.

Bahan-bahan yang digunakan yaitu serbuk kitosan, larutan asam klorida (HCl) 0,1 N, larutan natrium hidroksida (NaOH) 0,1 N, kristal Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, akuades, aquabides, padatan zat warna Rhodamin B, dan aluminium foil.

### B. Sintesis Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

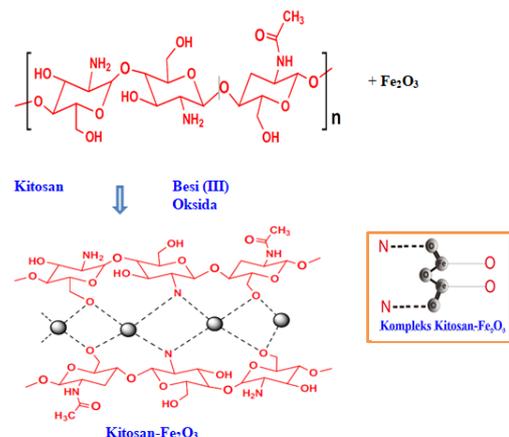
Kitosan sebanyak 6 g ukuran 200 mesh ditimbang dan dicampurkan dengan 300 mL HCl 0,1 N pada suhu 30 °C. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet stirer selama 1 jam. Sebanyak 6 g Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dicampurkan 300 mL HCl 0,1 N dan ditambah ke dalam suspensi kitosan. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet stirer selama 12 jam sambil ditambahkan larutan NaOH 0,1 N sebanyak 100 mL tetes demi tetes. Komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan sentrifugasi dan dicuci dengan aquabides sampai pH netral. Komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Selanjutnya komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dikarakterisasi dengan SEM dan XRD.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Sintesis Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Sintesis kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan dengan metode impregnasi yaitu metode preparasi dengan memasukkan katalis logam ke dalam rongga material penyangga dengan cara merendam ke dalam prekursor logam aktif disertai dengan pengadukan dan pemanasan (Rofi'ah, 2016).

Komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disintesis menggunakan kitosan dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:1. Kitosan disuspensikan ke dalam asam klorida kemudian diaduk menggunakan magnetik stirer selama 1 jam pada suhu 30 °C dan diperoleh larutan keruh berwarna putih kekuningan. Pencampuran ini bertujuan untuk memperkecil berat molekul kitosan sehingga rongga kitosan lebih besar yang nantinya diisi oleh katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Adhiatama, dkk., 2012). Selanjutnya kedalam suspensi kitosan ditambahkan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah dicampur dengan asam klorida dan diaduk menggunakan magnetik stirer selama 12 jam. Selama proses pengadukan, campuran ditambahkan dengan larutan natrium hidroksida tetes demi setetes untuk menurunkan suasana asam campuran. Mekanisme interaksi antara kitosan dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Mekanisme interaksi antara kitosan dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

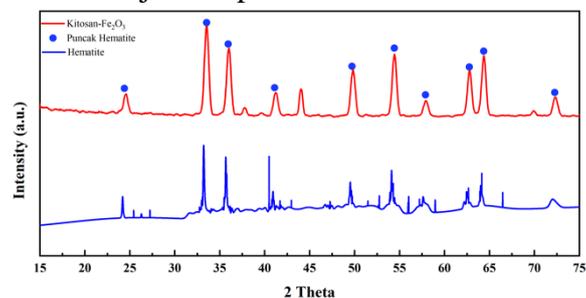
Komposit yang diperoleh berupa endapan dari hasil sentrifugasi dicuci menggunakan akuabides untuk menghilangkan sisa ion berlebih hingga pH cucian netral. Sehingga komposit yang diperoleh terbebas dari ion Cl. Komposit kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air, dan diperoleh padatan berwarna coklat. Hasil yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian Zia, dkk. (2021) yang memperoleh endapan coklat penampakan komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

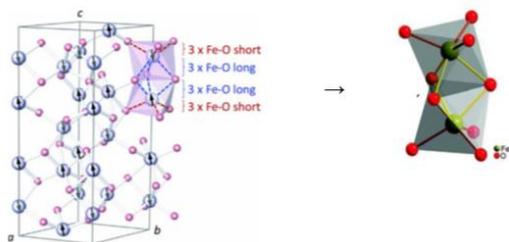
**B. Karakterisasi Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan XRD dan SEM**

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui fasa kristal Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan melihat intensitas pada sudut 2θ yang karakteristik untuk setiap senyawa. Hasil analisis menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 3.** Difraktogram hasil XRD Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Berdasarkan difraktogram pada Gambar 2 terdapat puncak 2θ dengan intensitas yang tajam pada daerah 2θ = 24.52°; 33.52°; 54.39°; 57.90°; 62.74°; 64.34°; dan 72.24°. Puncak-puncak tersebut dapat mengindikasikan adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menurut data aligin (2015) yakni puncak 2θ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada daerah: 24,13°; 33,15°; 54,09°; 57,59°; 62,41°; 63,99°; dan 72,26°. Dari hasil penelitian fasa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit diperoleh fasa hematite, dengan parameter kisi yaitu a=5,0329Å, b=5,0329Å, c=13,743 Å dan sudut α = 90°, β = 90°, γ = 120° sehingga Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dihasilkan mengkristal dalam sistem kisi khususnya scalenohedral trigonal-heksagonal sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.



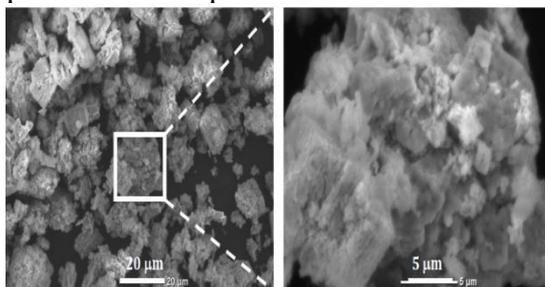
**Gambar 4.** Struktur kristal scalenohedral trigonal-heksagonal Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Difraktogram yang ditampilkan pada Gambar 3 juga terdapat puncak 2θ dengan intensitas yang lemah pada daerah 2θ = 16.8°; 17.4°; 18.35°; 19.17°; dan 19.73°. Puncak-puncak tersebut dapat mengindikasikan adanya kitosan sesuai dengan penelitian Mukhopadhyaya (2016), yakni puncak 2θ kitosan dapat diamati di sekitar 10° sampai 20°. Berdasarkan data tersebut tidak spesifik menunjukkan keberadaan puncak 2θ kitosan didalam komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karena adanya penurunan ikatan hidrogen antar molekul kitosan sehingga Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih mendominasi dibandingkan kitosan yang menunjukkan ikatan permukaan

yang baik antar matriks Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke kitosan (Badry, dkk., 2021).

Dengan struktur scalenohedral trigonal-heksagonal ukuran kristal rata-rata dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer. Hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan ukuran rata-rata komposit yang berhasil disintesis dengan 2 theta yang berhasil di input yakni 24,56; 33,54; 36,01; 41,23; 44,05; 49,83; 54,43; 57,93; 62,79; 64,38; 72,33 mendapatkan nilai sebesar 19,99 nm.

Komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen SEM yang bertujuan untuk menganalisis morfologi dari komposit. Hasil analisis menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 4.5. Ukuran butiran komposit hasil sintesis menunjukkan ukuran yang beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan sampel.



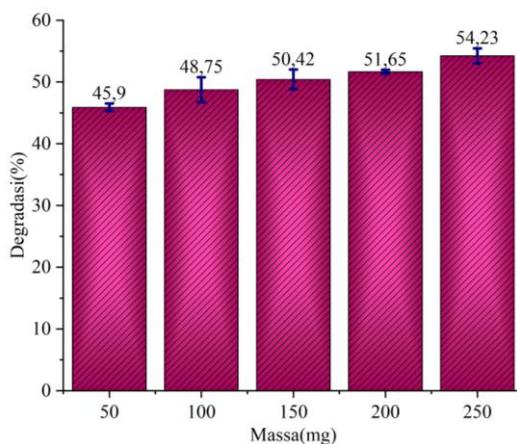
**Gambar 5.** Hasil SEM (a) Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> perbesaran 1000x (b) Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> perbesaran 5.000x

### C. Uji Aktivitas Fotodegradasi Komposit Kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Uji aktivitas fotodegradasi dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik dari degradasi zat warna Rhodamin B.

#### 1. Penentuan massa degradasi zat warna Rhodamin B

Data hasil degradasi zat warna Rhodamin B dengan variasi massa komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dibuat dalam diagram yang ditunjukkan pada Gambar 6.

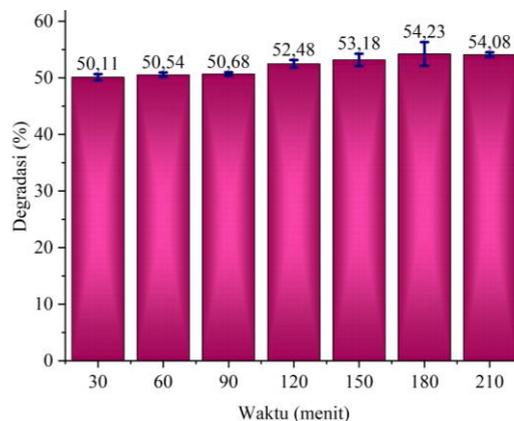


**Gambar 6.** Variasi Massa Komposit Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Hasil yang diperoleh terlihat bahwa persentase degradasi Rhodamin B meningkat seiring bertambahnya massa komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan pada penelitian persentase degradasi tertinggi zat warna Rhodamin B terdapat pada massa 250 mg yaitu sebesar 54,23±0,92 %. Hal tersebut dikarenakan komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai fotokatalis membantu proses degradasi Rhodamin B dan menyebabkan degradasi berlangsung lebih cepat seiring bertambahnya jumlah komposit yang digunakan (Bemis, dkk., 2019).

## 2. Penentuan Waktu Optimum Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Kemampuan degradasi zat warna Rhodamin B oleh komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selain dipengaruhi oleh massa komposit, juga dipengaruhi oleh lamanya waktu degradasi. Penentuan waktu penyinaran optimum dilakukan bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam mendegradasi Rhodamin B dalam jumlah optimum. Data hasil degradasi zat warna Rhodamin B dengan variasi waktu dibuat dalam diagram yang ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Variasi Massa Komposit Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Berdasarkan Gambar 7 seiring bertambahnya waktu persentase degradasi semakin bertambah dari menit ke 30, 60, 90, 120, 150, hingga pada menit 180. Sehingga hasil yang diperoleh terlihat bahwa persentase degradasi Rhodamin B terbesar diperoleh pada menit ke 180 dengan persentase degradasi yaitu 54,23±0,92%. Hal ini dikarenakan semakin lama radiasi menyebabkan semakin lama waktu kontak antara foton dengan fotokatalis sehingga semakin banyak elektron yang mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga akan lebih banyak terbentuknya superoksida (O<sup>2•-</sup>) dan radikal hidroksil (OH•) yang berfungsi sebagai oksidator dalam proses degradasi molekul Rhodamin B (Melysa, 2017).

Persentase degradasi pada menit 210 mengalami penurunan menjadi 54,08 %. Penurunan persentase degradasi ini terjadi disebabkan karena fotokatalis yang digunakan telah melewati kemampuan optimum untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH•) yang berperan sebagai agen pendegradasi molekul Rhodamin B. Menurunnya kemampuan tersebut dapat disebabkan akibat terjadinya proses rekombinasi elektron yaitu proses kembalinya elektron yang telah mengalami loncatan ke pita konduksi

kembali ke pita valensi sehingga tidak dihasilkan spesies (pasangan h<sup>+</sup> dan e<sup>-</sup>) pemicu reaksi pembentukan OH• (Wu, 1998).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa komposit kitosan-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu mendegradasi zat warna Rhodamin B yang diradiasi sinar UV dengan massa 250 mg pada waktu radiasi 180 menit dengan presentase degradasi sebesar 54,23 %.

### B. Saran

Adapun hal-hal yang disarankan dengan penyempurnaan penelitian ini sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut terhadap Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terimpregnasi kitosan untuk pada pH basa.
2. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut dengan menggunakan limbah zat warna langsung dari industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhiatama I., Muhamad Z. dan Nur R. 2012. Hidrolisis Kitosan Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 1, No. 1, Hal. 245-251.
- Anggraini, N. 2019. Identifikasi Zat Pewarna Rhodamin B Pada Lipstik Dan Perona Pipi Yang Di Pasarkan Di Pasar Tengah Bandar Lampung. Skripsi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan: Lampung.
- Badry, M. D., Wahba, M. A., Khaled, R. , Ali, M. M . 2021. Hydrothermally Assited Synthesis Of Magnetic Iron Oxide-Chitosan Nanocomposites . *Journal of Electrical and Biological Evaluation*. Vol. 12 No. 2. **ISSN:** 2232-2233.
- Bemis, R., Nelson, Ngatijo, Nurjanah, S. dan Maghviroh, N. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Zno/Karbon Aktif dan Aplikasinya Pada Degradasi Rhodamin B. *Journal of Chempublish*, Vol. 4 No. 2. **ISSN:** 101–113.
- Deka, P. T. 2019. Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Hingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zeolit dan Sinar UV. *Journal of Pharmacy and Science*. Vol. 4, No. 2.
- Dewi, M. A. K., Iryanti Eka Suprihatin, & James Sibarani. 2014. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue Dengan Bentonit Terimpregnasi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Kimia*. Vol. 11, No. 1, **ISSN** 1907-9850.
- Guo S., Gaoke Zhang & Jiquan Wang. 2014. Photo-Fenton degradation of rhodamine B using Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kaolin as heterogeneous catalyst: Characterization, process optimization and mechanism. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol 433, No. 1-8.
- Husna, Niki Rachmanur., Hasri., dan Sudding. 2017. Pengaruh Ph Terhadap Degradasi Pewarnadirect Blue Menggunakan Jamur Pelapuk Kayu (Pleurotus Flabellatus). *Jurnal Kimia Riset*. Vol. 2 No. 2.
- Khoomortezaei S., Hossein Abdizadeh, & and Mohammad Reza Golobostanfard. 2021. Ferrophotocatalytic Enhancement of Photoelectrochemical Water Splitting Using the WO<sub>3</sub>/BiFeO<sub>3</sub>

- Heterojunction. *Journal of Energy Fuels*. Vol. 35, No. 9623–9634.
- Melysa, Abrar, Dani G. S. 2017. Green Synthesis Dan Karakterisasi Fotokatalitik Nanopartikel ZnO. *Jurnal e-Proceeding of Engineering*. Vol. 4, No.1. ISSN : 2355-9365.
- Mukti, K. H., Hastiawan, I., Rakhmawaty, D., dan Noviyanti, A. R. 2013. Preparasi Fotokatalisis Barium Titanat TerProtonasi (HBBT) untuk Fotodegradasi Metilen Biru. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*: Bandung.
- Mukhopadhyaya P., Subhajit M., Sandipan C., Ruchira R., Hiral G., Manisha S., Abhay S. C., A. K. Prajapatia dan P. P. Kundu. 2016. Oral delivery of quercetin to diabetic animals using novel pH responsive carboxypropionylated chitosan/alginate microparticles. *Journal of Department of Chemistry Faculty of Science*. Vol. 1, no. 35.
- Muniroh, W. 2014. Studi Fotodegradasi-Adsorpsi Methyl Orange Menggunakan Komposit TiO<sub>2</sub>-Kitosan. Skripsi program studi kimia UIN sunan kalijaga: Yogyakarta.
- Mutiq, A. N., 2021. Studi Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Spektrofotometri Sinar Tampak Memanfaatkan TiO<sub>2</sub>/Zeolit-A Sebagai Katalis. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung: Lampung.
- Rahmah, & Surahma Asti Mulasari. 2015. Pengaruh Metode Koagulasi, Sedimentasi dan Variasi Filtrasi terhadap Penurunan Kadar TSS, COD dan Warna pada Limbah Cair Batik. *Chemica Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 2, No. 1. ISSN : 2355-875X.
- Riskiani E., Iryanti Eka Suprihatin, & James Sibarani. 2019. Fotokatalis Bentonit-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. Vol. 7 No. 1, ISSN 2302-7274.
- Rofi'ah, Faizatur. 2016. Adsorpsi Zat Warna Indigo Carmine Menggunakan Silika Gel Berbasis Fly Ash Batubara Terimpregnasi Aluminium. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Wardhani, S., Akhmad B. & Misbah K. 2017. Aktivitas Fotokatalitik Beads Tio<sub>2</sub>-N/Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar Dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. Vol. 03 No. 02.
- Zia, J., Ufana Riaz & Elham S. Aazam. 2021. Synthesis and characterization of chitosan-supported Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanohybrids for rapid sonophotocatalytic degradation of 2,4,6-trichlorophenol. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 28, No. 36.