

Pengaruh pH Awal Larutan dan Massa Komposit Zeolit-PbO terhadap Fotodegradasi Zat Warna Congo-Red

Effect of Initial pH of Solution and Mass of Zeolite-PbO Composite on Photodegradation of Congo-Red Dyes

¹⁾Aulia Rahma, ²⁾Suriati Eka Putri, ³⁾Muhammad Syahrir, ⁴⁾Nita Magfirah Ilyas, ⁵⁾Sumiati Side
^{1,2,3,4,5)}Jurusan Kimia, Universitas Negeri Makassar, Indonesia
Email: sumiati.side@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui morfologi komposit zeolit-PbO, pengaruh pH awal larutan dan massa komposit zeolit-PbO dalam mendegradasi zat warna congo red (CR). Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan tahapan yakni aktivasi zeolit, sintesis komposit zeolit-PbO dengan metode impregnasi, analisis morfologi zeolit-PbO menggunakan instrumen SEM-EDX, serta penentuan pH awal larutan dan massa komposit zeolit-PbO dalam mendegradasi zat warna CR menggunakan instrumen UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan morfologi zeolit yang menggumpal dengan adanya PbO yang tersebar secara acak. Komposit zeolit-PbO mampu mendegradasi zat warna CR yang diradiasi dengan sinar UV dengan pH awal larutan pada pH 5 dan massa optimum komposit zeolit-PbO yaitu 300 mg dengan persentase degradasi sebesar 93,36%.

Kata Kunci: Fotodegradasi, Komposit, Congo Red

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the morphology of the zeolite-PbO composite, the effect of the initial pH of the solution and the mass of the zeolite-PbO composite in degrading the congo red (CR) dye. This research is an experimental research with the stages of zeolite activation, synthesis of zeolite-PbO composite by impregnation method, morphological analysis of zeolite-PbO using SEM-EDX instrument, and determination of initial pH of solution and mass of zeolite-PbO composite in degrading CR dyes using UV-Vis instrument. The results showed that the zeolite morphology was agglomerated in the presence of randomly dispersed PbO. The zeolite-PbO composite was able to degrade CR dyes irradiated with UV light with an initial pH of the solution at pH 5 and the optimum mass of the zeolite-PbO composite was 300 mg with a degradation percentage of 93.36%.

Keywords: Photodegradation, Composite, Congo Red

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan saat ini terutama pencemaran limbah semakin meningkat di kawasan industri. Pembuangan limbah pada industri menyebabkan terjadinya berbagai macam polutan yang berbahaya bagi organisme dan lingkungan hidup. Salah satu polutan yang mencemari lingkungan adalah limbah cair yang berasal dari industri tekstil dimana proses pembuangannya tanpa melalui proses pengolahan dan penyaringan sehingga membahayakan makhluk hidup (Setiyawati, dkk., 2020).

Perkembangan industri tekstil berbanding lurus dengan masalah serius yang ditimbulkan bagi lingkungan, terutama masalah yang diakibatkan oleh limbah zat warna yang dihasilkan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil merupakan senyawa organik non-biodegradable, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan perairan (Wijaya, dkk., 2006).

Zat warna tekstil yang bersifat non-biodegradable, umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan senyawa benzena. Congo red (CR) merupakan salah satu zat warna azo yang banyak digunakan (Maria, dkk. 2007). Keberadaan zat warna CR dalam lingkungan perairan dapat merusak berbagai spesies makhluk hidup karena sifat zat warna CR yang mempunyai toksisitas cukup tinggi. Zat warna CR yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan fungsi hati, ginjal, dan syaraf (Wardhana, 2004).

Salah satu metode alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam mengolah limbah zat warna adalah fotodegradasi yang menggunakan

bantuan sinar UV dan katalis (Abdullohi dkk, 2011). Fotokatalis merupakan sebuah katalis yang dapat mempercepat reaksi kimia yang memerlukan sinar/cahaya (Chan et al., 2011). Beberapa faktor yang mempengaruhi aktivitas fotokatalisis yaitu jarak celah energi atau band gap dan rekombinasi pasangan electron-hole dari fotokatalis. Kedua faktor tersebut dipengaruhi oleh bahan semikonduktor. Oleh karena itu, banyak dilakukan usaha untuk membuat fotokatalis dengan distribusi ukuran partikel yang baik (Amri dan Utomo, 2017).

Salah satu bahan fotokatalis adalah timbal oksida (PbO). PbO merupakan salah satu dari semikonduktor yang memiliki band gap 1,9 - 2,6 eV yang digunakan sebagai fotokatalis pada degradasi (Yousefi et al., 2015). Penelitian sebelumnya telah mengkaji PbO sebagai katalis dalam mendegradasi zat warna Metilen Biru, dilaporkan terjadinya peningkatan jumlah gugus radikal pada permukaan katalis PbO dengan adanya penyinaran UV sehingga hasil persentase degradasi MB sebesar 92% (Lisniwari, dkk., 2015).

Penggunaan PbO akan lebih efektif dalam mendegradasi zat warna jika didispersikan pada material berpori. Banyak peneliti yang mencoba untuk membuat fotokatalis dengan distribusi ukuran yang lebih baik dengan cara mendispersikan partikel semikonduktor pada material pendukung berpori seperti silika, arang aktif, lempung dan zeolit (Tayade, et al., 2007). Zeolit digunakan sebagai material pendukung karena keberadaannya di Indonesia melimpah dan stabil dalam suhu tinggi (Wijaya

dkk., 2005). Penggunaan zeolit pada penelitian ini didasarkan atas kemampuannya dalam meningkatkan aktivitas fotokatalisis (Naimah, dkk., 2014). Pemanfaatan komposit Zeolit-TiO₂ sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna Rhodamin B menunjukkan persentase degradasi hingga 97,39% (Fauzi, dkk., 2017). Penelitian Arifin dan Utomo (2017), melaporkan dalam mendegradasi zat warna CR menggunakan komposit PbO-Zeolit alam dengan metode sol-gel menunjukkan persentase degradasi hingga 90%. Serta, komposit zeolit/TiO₂ yang disinari sinar UV mampu mendegradasi larutan fenol sebesar 98,43% (Side, dkk., 2020).

METODE

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, termometer, neraca analitik, magnetic stirrer, hot plate, oven, pH meter, botol vial, botol sentrifuge, kotak radiasi, lampu Phillips dengan panjang gelombang 253,47 nm, tanur, ayakan, Scanning Electron Microscope (SEM-EDS).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah padatan PbO asetat, padatan zeolit, larutan NaOH 0,1 M, larutan etanol 96 %, larutan H₂SO₄ 2 M, larutan CH₃COOH, larutan HCl 2 M, padatan zat warna CR, kertas saring Whatman, dan aquades.

B. Prosedur Kerja

1. Aktivasi Zeolit

100 g zeolit alam yang lolos ayakan 200 mesh dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan 1000 mL akuades, sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 3-4 jam.

Zeolit alam lalu disaring dan dipanaskan pada suhu 50°C sampai berat konstan. Ke dalam 100 g zeolit yang telah dicuci, ditambahkan 100 mL asam sulfat 2 M dan diaduk selama 14-16 jam dengan menggunakan pengaduk magnet. Zeolit kemudian dicuci dengan akuades hingga bersih dan dikeringkan pada suhu 120°C sampai mencapai berat konstan. Padatan zeolit yang telah kering dihaluskan dan diayak kembali sampai lolos ayakan 200 mesh (Dewik Setiyawati, dkk. 2020).

2. Sintesis Komposit Zeolit-PbO

Sintesis komposit dilakukan dengan cara mencampurkan zeolit yang sudah diaktivasi, PbO dan pelarut etanol dengan perbandingan massa masing-masing komposisi 4:2 yang dilarutkan dalam 15 mL etanol. Kemudian campuran dipanaskan dan diaduk pada suhu 50°C selama 2 jam. Supaya terbentuk komposit PbO-zeolit. Selanjutnya, ditambahkan larutan NaOH 0,1 M kemudian diaduk selama 1 jam, dipisahkan endapannya dan dilakukan kalsinasi pada suhu 400°C (Amri dan Utomo., 2017). Morfologi Komposit Zeolit-PbO kemudian dianalisis dengan menggunakan instrumen SEM-EDX.

3. Pengaruh pH Awal Larutan CR

Sebanyak 5 buah erlenmeyer masing-masing diisi dengan komposit zeolit-PbO sebanyak 300 mg. Selanjutnya ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut ditambahkan dengan 50 mL larutan CR 10 ppm dengan variasi pH yaitu pH 2; pH 3; pH 4; pH 5; dan pH 6. Masing-masing erlenmeyer dimasukkan ke dalam kotak radiasi kemudian diaduk menggunakan shaker dan disinari dengan sinar UV dengan waktu

penyinaran selama 120 menit. Kemudian disentrifugase dengan kecepatan 7000 rpm selama 15 menit, lalu diukur absorbansinya dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Sitepu et al., 2016).

4. Massa Optimum Komposit Zeolit-PbO

Sebanyak 5 buah erlenmeyer masing-masing diisi dengan komposit zeolit-PbO dengan massa yaitu 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg, dan 500 mg. Selanjutnya ke dalam masing-masing erlenmeyer tersebut ditambahkan dengan larutan CR 10 ppm dengan pH optimum (yang dihasilkan pada penentuan pH awal). Masing-masing erlenmeyer dimasukkan ke dalam kotak radiasi kemudian diaduk menggunakan shaker dan disinari dengan sinar ultraviolet dengan waktu penyinaran selama 120 menit. Kemudian disentrifugase dengan kecepatan 7000 rpm selama 15 menit, lalu diukur absorbansinya dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Sitepu et al., 2016).

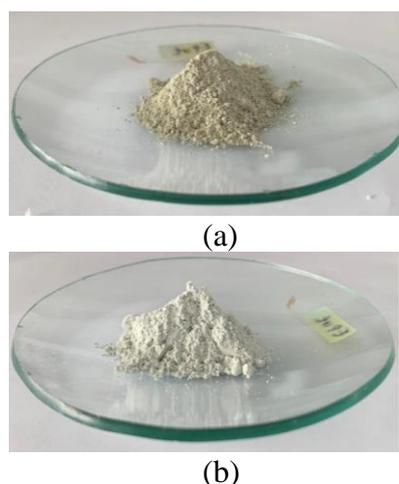
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi dan Aktivasi Zeolit

Proses aktivasi zeolit diawali dengan penggerusan dan pengayakan untuk mendapatkan zeolit dengan ukuran yang sama. Zeolit yang telah dihaluskan dan diayak kemudian diaktivasi untuk mengurangi pengotor-pengotor yang menutupi pori dan rongga. Dengan demikian diharapkan luas permukaan zeolit tersebut semakin besar. Aktivasi zeolit menggunakan larutan asam yaitu H_2SO_4 dilakukan untuk menghilangkan pengotor dan

menambah situs aktif pada zeolit, dengan adanya ion H^+ dari aktivator.

Proses aktivasi yang dibantu dengan pemanasan bertujuan untuk mempercepat reaksi dalam proses tersebut. Setelah diaktivasi zeolit disaring dan dicuci hingga netral untuk mempercepat penghilangan pengotor yang menempel pada zeolit, kemudian dikeringkan di dalam oven untuk menghilangkan kandungan air pada zeolit. Sampel kemudian digerus dan diayak kembali untuk mendapat ukuran zeolit yang sama. Setelah diaktivasi, terjadi dekolerasi karena beberapa pengotor larut pada saat proses aktivasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

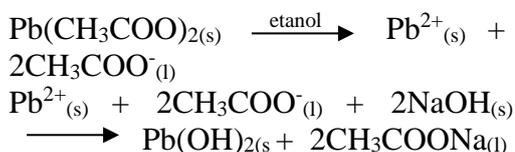


Gambar 1. Penampakan Fisik Zeolit (a) Sebelum dan (b) Setelah Teraktivasi

B. Sintesis Komposit Zeolit

Pada penelitian ini sintesis zeolit-PbO dilakukan dengan metode impregnasi. Prinsip impregnasi adalah memasukkan katalis logam ke dalam rongga material peyangga dengan cara merendam ke dalam prekursor logam aktif disertai dengan pengadukan dan pemanasan (Permana, 2020).

Komposit zeolit-PbO dibuat dengan mencampurkan antara zeolit hasil preparasi dengan Pb-asetat yang dilarutkan dengan etanol. Etanol digunakan sebagai pelarut karena sifatnya yang polar, selain itu etanol relatif tidak toksik jika dibandingkan dengan aseton dan metanol (Chen.et.al, 2020). Berdasarkan hasil penelitian Fauzi (2019), bahwa penggunaan pelarut etanol lebih efisien dan efektif dalam sintesis dan karakterisasi komposit zeolit-TiO₂. Kemudian, dipanaskan dan diaduk pada suhu 50°C selama 2 jam. Pemanasan bertujuan agar ion Pb²⁺ masuk ke dalam pori-pori zeolit dan berikatan dengan zeolit serta menggantikan ion H⁺ dari zeolit dengan menggunakan etanol sebagai pelarut. Selanjutnya dilakukan penambahan NaOH yang berfungsi agar terjadi reaksi hidrolisis yang menghasilkan spesies [Pb(OH)₄]²⁻ yang reaktif di dalam zeolit, spesies ini akan menyebabkan terjadinya reaksi kondensasi, menghasilkan ikatan oksigen-logam. Ion H⁺ juga akan berdifusi ke dalam pori-pori katalis penyangga (Latief, 2018). Mekanisme reaksinya yaitu :



Komposit yang diperoleh disaring dan dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa ion OH⁻ berlebih hingga pH cucian netral. Tahapan selanjutnya adalah proses kalsinasi pada suhu 400°C. Menurut Munnik (2015) proses kalsinasi ini bertujuan membentuk oksida logam dan meningkatkan kinerja katalis.

Dikalsinasi pada suhu 400°C karena pada suhu tersebut pembentukan kristal PbO berlangsung secara sempurna sehingga diperoleh kristal PbO berukuran nano, selain itu senyawa organik yang tertinggal pada pori zeolit akan terurai seiring dengan kenaikan suhu (Wicaksono, 2013). Reaksi yang terjadi adalah

$$\begin{aligned} \text{Pb}^{2+(s)} + 4\text{OH}^-(g) &\longrightarrow [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-(s)} \\ \text{Zeolit}(s) + [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-(s)} &\xrightarrow{400^\circ\text{C}} \text{PbO-zeolit}(s) + 2\text{OH}^-(g) + \text{H}_2\text{O}(l) \end{aligned}$$

Komposit Zeolit-PbO kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang homogen dan diperoleh komposit PbO-zeolit, yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Sintesis Komposit Zeolit-PbO

C. Karakterisasi Komposit Zeolit-PbO dengan Instrumen SEM-EDX

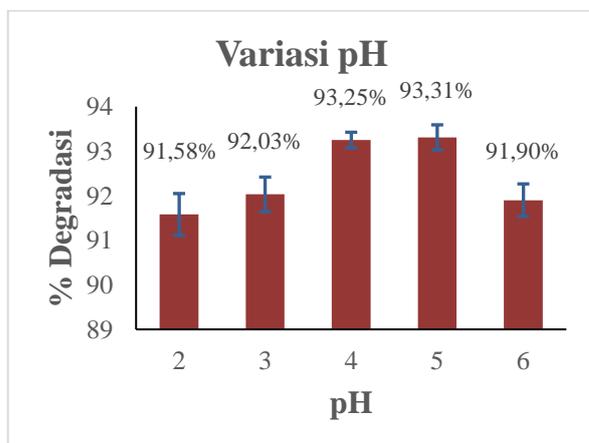
Komposit zeolit-PbO dikarakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDX bertujuan untuk melihat morfologi dari komposit yang dihasilkan dan mengetahui unsur penyusun komposit zeolit-PbO. Hasil analisis komposit menggunakan SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 3.

Analisis SEM komposit zeolit-PbO menunjukkan morfologi yang menggumpal dengan material yang tersebar secara acak di atas permukaan gumpalan.

Berdasarkan Tabel 1. unsur yang dominan dalam zeolit teraktivasi adalah unsur Si (silika) sebesar 41,98%, unsur O (oksigen) sebesar 31,77%, dan unsur Pb (Timbal) sebesar 0,08%. Kemudian untuk unsur yang dominan dalam komposit hasil sintesis adalah unsur Si (silika) sebesar 39,64%, unsur O (oksigen) sebesar 29,04%, dan unsur Pb (Timbal) sebesar 7,24%. Data-data di atas membuktikan bahwa komposit PbO-zeolit berhasil disintesis karena adanya peningkatan unsur Pb dari 0,08% meningkat menjadi 7,24%.

D. Pengaruh pH Awal Larutan Congo-Red

Data hasil degradasi zat warna CR dengan variasi pH dibuat dalam diagram yang ditunjukkan pada Gambar 5. Persentase degradasi pH 2, 3, 4, 5, dan 6 berturut-turut ialah $91,58\% \pm 0,46$, $92,03\% \pm 0,38$, $93,25\% \pm 0,17$, $93,31\% \pm 0,28$, dan $91,90\% \pm 0,36$. Dimana persentase degradasi yang diperoleh menunjukkan bahwa degradasi CR terjadi lebih efektif pada kondisi asam yaitu pada pH 5 dengan persentase 91,31%.



Gambar 5. Diagram Persentase Degradasi dengan Variasi pH

Diketahui CR pada suasana asam bermuatan negatif. Secara teori, permukaan PbO pada kondisi asam bermuatan positif sehingga lebih mudah untuk mengadsorpsi zat warna CR yang mempunyai muatan negatif. Dengan demikian, pada kondisi asam semakin banyak jumlah zat warna CR yang teradsorpsi pada permukaan PbO, semakin banyak pula CR yang terdegradasi oleh fotokatalis ini. Adanya perbedaan muatan tersebut menyebabkan meningkatnya gaya tarik menarik (gaya elektrostatik), sehingga proses degradasi dapat berlangsung (Sholikhah dan Fajriati, 2020).

Pada kondisi pH awal 2 dan pH 3 persentase degradasi sebesar $91,58\% \pm 0,46$ dan $92,03\% \pm 0,38$ lebih kecil dibandingkan persentase untuk pH 4 dan 5. Hal ini disebabkan perbedaan kekuatan muatan positif pada larutan CR, dimana pada kondisi pH 2 dan pH 3 kekuatan muatan positif pada CR lebih besar (terprotonasi) dibandingkan pada pH 4 dan 5. Dengan semakin meningkatnya muatan positif maka akan timbul gaya tolak menolak antara molekul CR dengan permukaan fotokatalis PbO yang bermuatan positif. Jumlah radikal hidroksil dipengaruhi oleh kondisi pH dari suatu larutan. Menurut Febriana (2012) pada kondisi yang sangat asam, pembentukan pasangan elektron – hole terhambat sehingga jumlah radikal hidroksi yang terbentuk mengalami penurunan.

Kondisi pH 6 dengan persentase degradasi yaitu $91,90\% \pm 0,36$ dimana mengalami penurunan persentase degradasi. Hal ini dikarenakan adanya radikal hidroksi yang bereaksi dengan ion hidroksida membentuk H₂O dan anion superoksida seiring dengan

kenaikan nilai pH. Kekuatan anion superoksida dalam mendegradasi zat warna lebih rendah daripada radikal hidroksi sehingga laju fotodegradasi CR juga lebih rendah. Sedangkan, pada pH 4 dan pH 5 diperoleh persentase degradasi yang tinggi yaitu $93,25\% \pm 0,17$ dan $93,31\% \pm 0,28$. Hal ini dikarenakan, muatan positif pada CR yang dihasilkan lebih sedikit sehingga adapun muatan negatif yang dihasilkan hampir setara dengan muatan positif pada permukaan fotokatalis PbO sehingga adanya interaksi elektrostatik.

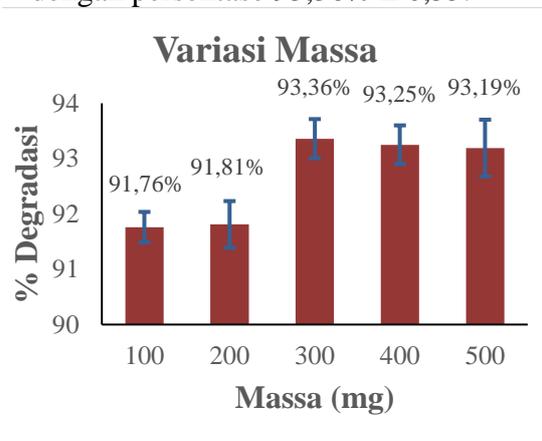
Hasil degradasi yang diperoleh kemudian dianalisis SPSS dengan menggunakan uji Anova untuk mengetahui perbandingan hasil degradasi masing-masing pH. Hasil pengujian homogenitas data dapat dilihat pada tabel lampiran, diperoleh nilai signifikansi (sig.) sebesar 0,414 (sig.>0,05), hal ini berarti data pada penelitian ini homogen, maka dapat dilanjutkan untuk uji ANOVA ($p>0,05$) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$). Pada uji Anova diperoleh nilai 0,001 (sig.<0,05), hal ini berarti data pada penelitian ini memiliki perbedaan yang bermakna atau ada perbedaan yang nyata antar kelompok data ($p<0,05$), sehingga dapat diketahui bahwa pH berpengaruh terhadap degradasi CR dan dapat dilanjutkan untuk uji lanjut BNt (LSD).

Berdasarkan hasil uji BNt (LSD) terhadap data hasil percobaan diperoleh informasi bahwa % degradasi untuk pH 2 dan pH 3 tidak berbeda nyata, dan terhadap pH 4 dan 5 berbeda sangat nyata. Adapun pH 4 dan pH 5 tidak berbeda nyata dan terhadap pH 6 berbeda sangat nyata. Oleh karena itu, % degradasi tertinggi terjadi pada pH 5 yaitu $93,31\% \pm 0,28$.

Kondisi optimum terjadi pada pH 5 akibat adanya interaksi elektrostatik antara permukaan yang bermuatan positif dengan zat warna yang bermuatan negatif (Sholikhah dan Fajriati, 2020).

E. Massa Optimum Komposit Zeolit-PbO

Data hasil degradasi zat warna CR dengan variasi massa dibuat dalam diagram yang ditunjukkan pada Gambar 6. Persentase degradasi pada massa 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg, dan 500 mg berturut-turut ialah $91,76\% \pm 0,27$, $91,81\% \pm 0,42$, $93,36\% \pm 0,35$, $93,25\% \pm 0,35$, dan $93,19\% \pm 0,51$. Dimana persentase degradasi yang diperoleh menunjukkan bahwa massa optimum untuk degradasi CR yaitu 300 mg dengan persentase $93,36\% \pm 0,35$.



Gambar 6. Diagram Persentase Degradasi dengan Variasi Massa

Persentase degradasi zat warna CR pada massa 100 mg hingga 300 mg meningkat secara signifikan, hal ini disebabkan oleh semakin banyak radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan superoksida ($\bullet\text{O}_2$) yang terbentuk seiring bertambahnya jumlah fotokatalis, sehingga jumlah molekul

zat warna yang terdegradasi semakin meningkat (Wicaksono, 2013).

Pada massa 300 mg hingga 500 mg relatif tetap dan tidak berbeda secara signifikan sehingga massa 300 mg ditetapkan sebagai massa optimum. Berdasarkan penelitian Setiyawati (2020), hal ini diduga disebabkan bahwa semakin banyak penambahan jumlah fotokatalis, justru menyebabkan proses fotodegradasi menjadi kurang efektif dalam membentuk radikal hidroksil dan ion superoksida, akibat bulk massa sehingga fotokatalis tidak mendapatkan penyinaran UV optimal dan menyebabkan semakin banyak tersuspensi.

Hasil degradasi yang diperoleh kemudian dianalisis SPSS sebagaimana yang dilakukan seperti pada bagian penentuan pH optimum sehingga dapat diketahui bahwa massa berpengaruh terhadap degradasi CR dan dapat dilanjutkan untuk uji lanjut BNt (LSD). Berdasarkan hasil uji BNt (LSD) terhadap data hasil percobaan diperoleh informasi bahwa % degradasi untuk massa 100 mg dan 200 mg tidak berbeda nyata, dan terhadap massa 300 mg berbeda sangat nyata (meningkat sangat signifikan). Tetapi untuk massa 300 mg sampai dengan 500 mg tidak berbeda nyata. Oleh karena itu untuk melanjutkan ke penentuan waktu optimum digunakan % degradasi tertinggi terjadi pada massa 300 mg yaitu $93,36\% \pm 0,35$.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Komposit zeolit-PbO menunjukkan morfologi yang menggumpal

dengan material yang tersebar secara acak di atas permukaan gumpalan.

2. Komposit zeolit-PbO mampu mendegradasi zat warna CR yang diradiasi dengan sinar UV dengan pH awal larutan CR optimum pada pH 5 dan massa optimum 300 mg dengan persentase degradasi sebesar 93,36%.

B. Saran

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

1. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut terhadap PbO yang terimpregnasi zeolite pada pH basa untuk melihat tingkat degradasinya pada pH basa.
2. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut dengan menggunakan limbah zat warna langsung dari industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullohi, Y., Abdullah, A.H., Zainal, Z., and Yuzof, N.A., 2011, "Photodegradation of m-cresol by Zinc Oxide Under Visible-light Irradiation", *International Journal of Chemistry*, 3, 3.
- Amri, S. dan Utomo, P. M. 2017. Preparation and Characterization Of ZnO-Zeolit Composite For Photodegradation Of Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2), 29–36.
- Chan, S. H. S., Yeong Wu, T., Juan, J. C., & Teh, C. Y. 2011. Recent developments of metal oxide semiconductors as photocatalysts in advanced

- oxidation processes (AOPs) for treatment of dye wastewater. *J Chem Technol Biot.* Vol. 86(9), 1130-1158.
- Colak H, dan Turkoglu O. 2012. Synthesis, Crystal Structural and Electrical Conductivity Properties of Fe-doped Zinc Oxide Powders at High Temperatures. *Journal Materials Sciens Electron*, 28(3): 268-274.
- Dewik Setiyawati, I Nengah Simpen, dan O. R. (2020). Fotodegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Pencelupan dengan Katalis Zeolit Alam/TiO₂ Dan Sinar UV. *Cakra Kimia Indonesia*, 8(1), 16–25.
- Fauzi, W. A., Simpen, I. N., & Sudiarta, I. W. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit-TiO₂ Serta Pemanfaatannya Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Kimia*, 13(1), 74.
- Febriana, I. D. 2012. Pengaruh pH awal Methyl Orange pada Degradasi zat warna Methyl Orange dengan Fotokatalis Bentonit-TiO₂. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Lisniwari., Mukhtar, A., dan Yanti, P.H. 2015. Sintesis Timbal Oksida (PbO) Serta Uji Degradasi Terhadap Metanil Kuning. *JOM FMIPA*. Vol.2, No.2.
- Maria C., Mu'nisatun., Rani, S., dan Djoko, M. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma. *Jurnal Forum Nuklir*. No.1.Vol.1.31-44.
- Munnik, P., Petra, E., Krijn, P. 2015. Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst. *American Chemical Society*, 155, 6687-6718.
- Naimah, H., Ardhanie, S., dan Jati, B.N. 2014. Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂- Zeolit. *J. Kimia Kemasan*. 36: 225- 236.
- Permana, Edwin, Icha Cristine1, S.D. Sumbogo Murti dan Fusia Mirda Yanti. Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Cu/Zno Dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H₃PO₄ Dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, Volume 13 Nomor 1, Juni 2020, 6-15.
- Side, S., Putri, S.E., dan Intan, N. 2020. Determination of the Effectiveness of Phenol Degradation Types Using Zeolites/TiO₂ Compositers. *ICSAT Journal*. ISBN : 978-623-7496-62-5.
- Solikhah, S; Utami, B. 2014. Perbedaan Penggunaan Adsorben Dari Zeolit Alam terkativasi dan zeolit alam terimobilisasi dithizon untuk penyerap ion logam tembaga (Cu²⁺). *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia VI*. ISBN: 979363174-0: 342 – 354.
- Sitepu, O. C., Ratnayani, O., & Suprihatin, I. E. (2016).

- Sintesis Komposit ZnO-Bentonit dan Penggunaannya Dalam Proses Degradasi Methyl Orange. *Jurnal Cakra*. 4, 153–160.
- Tayade R. J., R.G. Kulkarni & R.V. Jasra. (2007) Enhanced Photocatalytic Activity of TiO₂ Coated NaY and HY Zeolites for The Degradation of Methylene Blue in Water. *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 46: 369-376.
- Wardhana, W. A., 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan Cetakan Keempat*. Yogyakarta: ANDI.
- Wicaksono, A.P., Prasetya, dan Hastuti, R. 2013. Pengaruh Ion Logam Co²⁺ dan Cu²⁺ pada Proses Fotodegradasi Direct Blue 3R Menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-Karbon Aktif. *Chem Info*. 1(1): 316-327.
- Wijaya, K., Eko, S., Is, F., Sri, S., dan Dyan, K. 2006. Utilisasi TiO₂-Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Teknoin*. 11 (3).
- Yousefi, R., Sheini, F.J., Sa'aedi, A., and Cherahgizade, M. 2015. Growth and Characterization of PbO Nanorods Grown using Facile Oxidation of Lead Sheet. *Sains Malaysiana*. 44(2).