

DEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED DENGAN FOTOKATALIS ZnO-ARANG AKTIF DAN OKSIDATOR H₂O₂

A. A. Abimanyu, I. E. Suprihatin* dan I. A. R. A. Asih

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Jimbaran-Bali, Indonesia

**Email : eka_suprihatin@unud.ac.id*

ABSTRAK

Industri tekstil adalah salah satu kontributor utama limbah cair yang mengandung berbagai zat warna sintesis yang sulit untuk diuraikan, seperti *Congo red*, yang berpotensi merusak ekosistem perairan. Untuk mengatasi permasalahan ini, pendekomposisi zat warna tersebut dilakukan menggunakan sinar UV dan dipercepat melalui bantuan fotokatalis, yaitu ZnO-Arang Aktif. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum, seperti pH, massa, dan waktu iradiasi dalam proses degradasi *Congo red*, serta menganalisis pengaruh penambahan oksidator H₂O₂ terhadap efektivitas ZnO-AA dalam proses degradasi tersebut. Aktivitas fotokatalitik diukur dengan menghitung persentase degradasi larutan *Congo red* menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum degradasi *Congo red* terjadi pada massa fotokatalis sebanyak 60 mg, penambahan H₂O₂ sebanyak 0,5 mL, pH 5, dan waktu iradiasi selama 60 menit, dengan persentase degradasi sebesar $97,99 \pm 0,06\%$. Efektivitas degradasi *Congo red* juga diuji pada berbagai konsentrasi pada kondisi optimum, dan hasil percobaan menunjukkan bahwa kombinasi fotokatalis ZnO-AA dengan penambahan oksidator H₂O₂ mampu mendegradasi zat warna *Congo red* hingga konsentrasi 300 mg/L, dengan persentase degradasi sebesar $99,08 \pm 0,01\%$.

Kata kunci: *congo red*, degradasi, fotokatalis, H₂O₂, ZnO-AA.

ABSTRACT

The textile industry is one of the major contributors of wastewater containing various synthetic dyes that are difficult to degrade, such as *congo red*, which has the potential to harm aquatic ecosystems. To address this issue, the decomposition of these dyes is carried out using UV light and accelerated with the assistance of a photocatalyst, namely ZnO-Activated Carbon (ZnO-AA). This study aims to determine the optimum conditions, including pH, mass, and irradiation time in the degradation of *congo red*, and to analyze the influence of adding H₂O₂ oxidizer in enhancing the effectiveness of ZnO-AA in the degradation process. The photocatalytic activity is measured by measuring the percentage degradation of *congo red* solution using UV-Vis spectrophotometry. The research results indicate that the optimum conditions for degrading *congo red* are achieved with a photocatalyst mass of 60 mg, the addition of 0.5 mL H₂O₂, pH 5, and an irradiation time of 60 minutes, resulting in a degradation percentage of $97.99 \pm 0.06\%$. The effectiveness of *congo red* degradation was also tested at various concentrations under optimum conditions, and the experimental results show that the combination of ZnO-AA photocatalyst with the addition of H₂O₂ oxidizer can degrade *congo red* dye up to a concentration of 300 mg/L, with a degradation percentage of $99.08 \pm 0.01\%$.

Keywords: *congo red*, degradation, H₂O₂, photocatalyst, ZnO-AA.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang pesat berdampak signifikan pada sektor industri, khususnya industri tekstil. Industri tekstil seringkali menjadi penyebab pencemaran lingkungan, terutama di perairan. Pencemaran ini sering kali disebabkan oleh penggunaan bahan pewarna yang meningkat karena perubahan tren mode yang terus berlanjut

seiring dengan perkembangan zaman. Industri tekstil umumnya menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yang seringkali dibuang ke sungai atau saluran air tanpa pengelolaan yang memadai. Limbah cair ini sering mengandung zat pewarna yang sulit untuk diuraikan secara alami (Enrico, 2019).

Fotodegradasi merupakan salah satu upaya alternatif dalam mengatasi pencemaran lingkungan akibat pewarna tekstil yang lebih

efisien. Fotodegradasi sendiri merupakan suatu proses di mana senyawa kompleks akan dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana (CO_2 , H_2O dan asam-asam mineral) oleh bantuan cahaya. Dalam konteks ini, senyawa azo yang mengalami fotodegradasi akan terurai menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana yang dapat diuraikan secara alami oleh lingkungan. Untuk melaksanakan proses fotodegradasi, cahaya seperti lampu UV atau sinar matahari digunakan sebagai sumber energi untuk mengaktifkan katalis yang terlibat dalam mengurai polutan organik, menghasilkan molekul-molekul yang lebih sederhana (Nogueira & Jardim, 1993).

Proses fotodegradasi memerlukan kehadiran katalis fotokimia seperti CuO , ZnS , TiO_2 , dan ZnO karena bahan-bahan tersebut bersifat semikonduktor (Wijaya *et al.*, 2006). Oksida logam seng (ZnO) sering digunakan sebagai katalis fotokimia dalam proses fotodegradasi. Menurut teori pita energi, *band gap* yang dimiliki ZnO sebesar 3,17 eV (Ali & Siew, 2006). Namun, dalam aplikasinya, ZnO sebagai katalis memiliki kapasitas adsorpsi yang relatif terbatas, sehingga penyerapan zat warna pada permukaan katalis menjadi kurang efisien. Untuk mengatasi kendala ini, katalis ZnO tersebut dijadikan komposit dengan arang aktif. Lim *et al.* (2011) mengatakan arang aktif memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi berbagai senyawa organik sintesis, termasuk zat warna, dan secara bertahap mentransferkannya ke ZnO , sehingga proses fotodegradasi menjadi lebih efisien.

Fotokatalis ini memerlukan serapan sinar ultraviolet (UV) agar menghasilkan pasangan elektron (e_{pk}^-) dan *hole* (h_{pv}^+) (Anggraini, 2019). Elektron yang terdapat pada pita konduksi (e_{pk}^-) bereaksi dengan oksigen (O_2) akan membentuk ion radikal superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$), sedangkan *hole* (h_{pv}^+) pada pita valensi bereaksi dengan H_2O akan membentuk radikal hidroksil (OH^{\bullet}). Makin tinggi jumlah radikal hidroksil (OH^{\bullet}) maka zat warna yang terdegradasi semakin banyak (Ali & Siew, 2006). Oleh karena itu, pengaruh penambahan H_2O_2 juga perlu dipelajari dalam proses fotodegradasi, karena dapat mempengaruhi nilai konstanta laju reaksi fotodegradasi dengan bertambahnya OH^{\bullet} yang akan berikatan dengan elektron sehingga menghasilkan radikal hidroksil (OH^{\bullet}) (Sibarani *et al.*, 2016). Kemampuan fotokatalis untuk mengoksidasi senyawa organik akan meningkat

seiring dengan bertambahnya pembentukan radikal.

Dalam studi yang telah dilakukan oleh Saraswati *et al.* (2015) juga menyajikan bahwa komposit ZnO-AA yang dipadukan dengan sinar ultraviolet (UV) dapat mendegradasi konsentrasi zat warna *Congo Red* dengan presentase degradasi sebesar $(91,81 \pm 1,24)\%$. Selain itu, dalam penelitiannya Diantariani *et al.* (2016) mengungkapkan bahwa kombinasi komposit ZnO-AA dengan bantuan sinar UV mampu mendegradasi konsentrasi zat warna *Methylene Blue* dan *Congo Red* dengan persentase degradasi berturut-turut sebesar $(99,40 \pm 0,23)\%$ dan $(99,61 \pm 0,24)\%$. Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian menggunakan fotokatalis ZnO -arang aktif (ZnO-AA) serta penambahan oksidator H_2O_2 untuk mendegradasi zat warna *Congo red* yang diharapkan mampu meningkatkan efektivitas degradasi, sehingga dapat memberikan metode alternatif dalam memecahkan masalah pencemaran lingkungan oleh zat warna tekstil.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah berkualitas pro analisis (p.a) yaitu : zat warna *Congo red* ($\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$), seng asetat dihidrat [$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$], arang aktif, etanol absolut 98% , natrium hidroksida (NaOH), akuades, asam klorida (HCl) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30%.

Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan yaitu alat-alat gelas, pipet volume, pH meter model ISTEK 720, corong, desikator, seperangkat alat refluks, pipet ukur, filler, pipet tetes, aluminium foil, termometer, batang pengaduk, plastik hitam, timbangan analitik, pengaduk magnetik, kotak radiasi, lampu Philips TUV 15 W/G15 T8 dengan panjang gelombang 253,47 nm dipasang pada ketinggian 20 cm dari sampel, kertas saring Whatman No 41, Spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu, Centrifuge IEC HN-SII, Spektrofotometer Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)

Cara Kerja

Sintesis Fotokatalis ZnO-Arang Aktif (ZnO-AA)

Sintesis fotokatalis ZnO-AA sendiri mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Saraswati *et. al.* (2015).

Penentuan Massa Fotokatalis ZnO-Arang Aktif Optimum

50 mL larutan *Congo red* 100 mg/L dimasukkan ke dalam tujuh buah Erlenmeyer 250 mL. Kemudian sejumlah ZnO-arang aktif dengan variasi 0, 10, 20, 30, 40, 60 dan 70 mg ditambahkan ke dalam tiap-tiap Erlenmeyer. Selanjutnya, Erlenmeyer diiradiasi dengan lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 60 menit. Sebagai kontrol, tujuh buah Erlenmeyer disiapkan dan diberi perlakuan yang sama dengan perlakuan sebelumnya, tetapi tanpa diiradiasi dengan lampu UV (disimpan di tempat yang gelap).

Setelah tahap iradiasi, larutan suspensi dari tiap-tiap Erlenmeyer disentrifugasi pada 3200 rpm untuk memisahkan endapan dan supernatant. Supernatannya kemudian diukur absorbansinya sisa larutan dengan spektrofotometer sinar tampak dengan $\lambda_{\text{maksimum}}$ *Congo red* (498,00 nm). Perlakuan diulangi sebanyak 2 kali pada masing-masing pengujian. Nilai konsentrasi sisa dari *Congo red* kemudian digunakan untuk menentukan persentase degradasi (%D) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Degradasi (\%D)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan :

C₀ = konsentrasi awal *Congo red* (sebelum radiasi)

C_t = konsentrasi *Congo red* pada waktu 60 menit radiasi

Penentuan Volume H₂O₂ Optimum

50 mL larutan *Congo red* 100 mg/L dimasukkan ke dalam empat buah Erlenmeyer 250 mL. Lalu ke dalam tiap-tiap Erlenmeyer sejumlah ZnO-arang aktif optimum dimasukkan. Selanjutnya, Empat larutan tersebut ditambah H₂O₂ 30% sebanyak 0,5 ; 2 ; 4 ; dan 6 mL dan akuades sebanyak 5,5 ; 4 ; 2 ; 0 mL. Selanjutnya, Erlenmeyer diiradiasi dengan lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 60 menit. Sebagai

kontrol, sebuah Erlenmeyer disiapkan dan diberi perlakuan yang sama dengan empat Erlenmeyer sebelumnya, tetapi tanpa penambahan H₂O₂. Setelah tahap iradiasi, Supernatannya kemudian diukur absorbansinya sisa larutan dengan spektrofotometer sinar tampak dengan $\lambda_{\text{maksimum}}$ *Congo red* (498,00 nm). Kemudian, persentase degradasi dihitung untuk setiap perlakuan dan proses ini diulang sebanyak 2 kali pada setiap pengujian.

Penentuan pH Optimum Degradasi *Congo Red*

50 mL larutan *Congo red* 100 mg/L dimasukkan ke dalam tujuh buah Erlenmeyer 250 mL. Dimasukkan sejumlah ZnO-arang aktif optimum dan volume H₂O₂ optimum serta akuades sebanyak (6 – volume H₂O₂) mL ke dalam masing-masing Erlenmeyer kemudian ditambahkan HCl dan NaOH untuk mengatur pH larutan hingga pH yang didapatkan sebesar 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Erlenmeyer diiradiasi dengan lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 60 menit. Setelah tahap iradiasi, Supernatannya kemudian diukur absorbansinya sisa larutan dengan spektrofotometer sinar tampak dengan $\lambda_{\text{maksimum}}$ *Congo red* (498,00 nm). Kemudian, persentase degradasi dihitung untuk setiap perlakuan dan proses ini diulang sebanyak 2 kali pada setiap pengujian.

Penentuan Pengaruh Waktu Iradiasi dalam Proses Degradasi *Congo Red*

Penentuan waktu iradiasi optimum dilakukan dengan dua kondisi : (i) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, pH optimum dan sinar UV, (ii) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, H₂O₂ optimum, pH optimum dan radiasi sinar UV. 50 mL larutan *Congo red* 100 mg/L dimasukkan ke dalam lima buah Erlenmeyer 250 mL tiap kondisinya. Erlenmeyer diiradiasi dengan lampu UV dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah tahap iradiasi, Supernatannya kemudian diukur absorbansinya sisa larutan dengan spektrofotometer sinar tampak dengan $\lambda_{\text{maksimum}}$ *Congo red* (498,00 nm). Kemudian, persentase degradasi dihitung untuk setiap perlakuan dan proses ini diulang sebanyak 2 kali pada setiap pengujian.

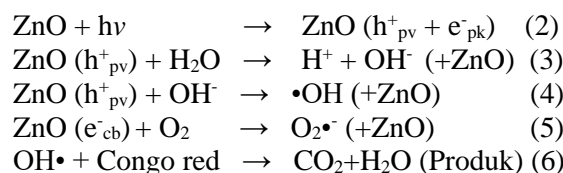
Penentuan Efektivitas Proses Degradasi Congo Red

Penentuan efektivitas degradasi Congo red dilakukan dengan dua kondisi : (i) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, pH optimum dan sinar UV, (ii) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, H₂O₂ optimum, pH optimum dan radiasi sinar UV. 50 mL larutan Congo red 100, 200, 300 dan 400 mg/L dimasukkan ke dalam empat buah Erlenmeyer 250 mL tiap kondisinya. Erlenmeyer diiradiasi dengan lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama waktu optimum. Setelah tahap iradiasi, Supernatannya kemudian diukur absorbansinya sisa larutan dengan spektrofotometer sinar tampak dengan $\lambda_{\text{maksimum}}$ Congo red (498,00 nm). Kemudian, persentase degradasi dihitung untuk setiap perlakuan dan proses ini diulang sebanyak 2 kali pada setiap pengujian. Fotodegradasi dianggap efektif apabila % degradasi lebih besar dari 80% (Madhu *et al.*, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

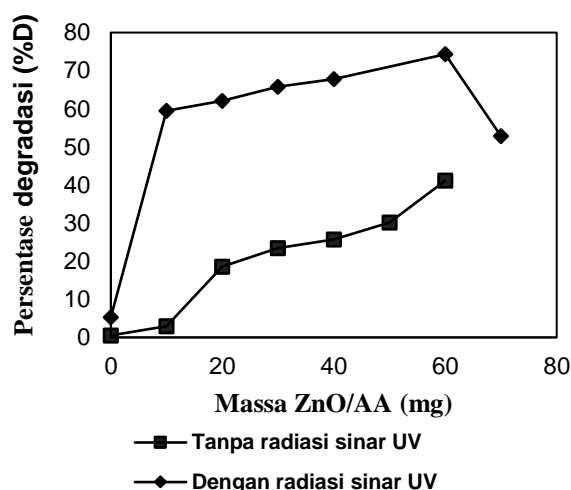
Massa Optimum Fotokatalis ZnO-AA untuk Degradasi Congo Red

Pada Gambar 1. terlihat bahwa persentase degradasi larutan Congo red 100 mg/L meningkat seiring dengan bertambahnya fotokatalis ZnO-AA. Pada kondisi dengan radiasi sinar UV pada Gambar 3 menunjukkan persentase degradasi paling besar pada larutan Congo red yang diiradiasi sinar UV pada fotokatalis sebanyak 60 mg dengan persentase degradasi sebesar 74,31%. Ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi fotokatalitik ketika ZnO yang berfungsi sebagai fotokatalis terkena sinar ultraviolet (UV). Proses ini menghasilkan lubang (*hole*) dalam pita energi valensi (h^+_{pv}) dan elektron (e^-_{pk}). Lubang ini kemudian berinteraksi dengan molekul air (H₂O) untuk membentuk radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), yang memiliki kemampuan untuk mengurai Congo red menjadi produk intermediate yang lebih sederhana dan kurang atau bahkan tidak beracun. Intermediate ini kemudian akan mengalami degradasi tahap lanjut hingga menjadi CO₂, H₂O, dan asam-asam mineral (Madhu *et al.*, 2007). Mekanisme proses fotokatalisis dengan ZnO dapat diilustrasikan dalam tahap-tahap berikut (Sibarani *et al.*, 2016):



Pada penambahan ZnO-AA sebanyak 70 mg terjadi penurunan degradasi, ini dapat menunjukkan bahwa penambahan massa fotokatalis yang terlalu banyak dapat meningkatkan kekeruhan sehingga mempersulit masuknya sinar UV yang berfungsi sebagai foton ke permukaan fotokatalis. Penghambatan oleh hal ini mencegah terbentuknya radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan ion radikal superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$) yang memiliki peran penting dalam proses degradasi senyawa Congo red.

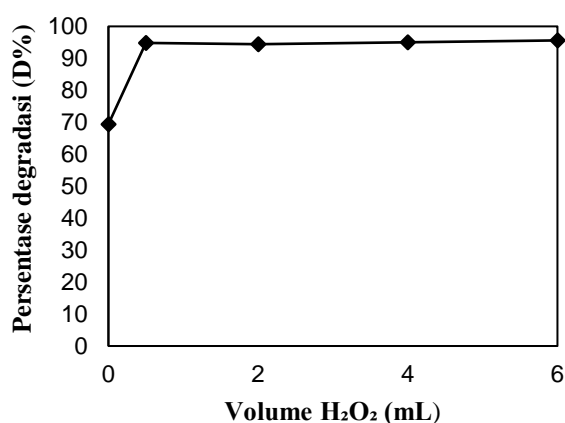
Ada kenaikan persentase degradasi seiring bertambahnya massa fotokatalis pada kondisi yang tidak diiradiasi sinar UV (Gambar 1), akan tetapi persentase degradasi yang dihasilkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang diiradiasi sinar UV. Persentase degradasi larutan Congo red tanpa radiasi sinar UV pada variasi ZnO-AA sebanyak 60 mg yaitu 41,13%. Persentase degradasi yang dihasilkan lebih rendah daripada dengan radiasi sinar UV yaitu sebesar 74,31%. Dikarenakan fotokatalis tidak efektif dalam membentuk radikal radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan ion radikal superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$) karena ketidakadaanya energi foton dari lampu UV yang mengenai permukaan fotokatalis.



Gambar 1. Pengaruh Massa ZnO-AA Pada Congo Red 100 mg/L Terhadap Persentase Degradasi (%D)

Volume H₂O₂ Optimum Fotokatalis ZnO-AA untuk Degradasi Congo Red

Berdasarkan data yang diperoleh, yang ditunjukkan pada Gambar 2. peningkatan persentase degradasi terjadi dengan penambahan oksidator H₂O₂. Persentase degradasi dengan penambahan H₂O₂ meningkat dari 74,31% (Gambar 1) menjadi 94,81% (Gambar 2). Penambahan oksidator H₂O₂ sendiri mempunyai beberapa peran dalam proses degradasi, yakni sebagai pengikat elektron sehingga terjadi pemisahan nya muatan dan berperan dalam pembentukan radikal hidroksil (Sibarani *et al.*, 2016). Dimana radikal ini bertanggung jawab dalam proses degradasi Congo red.



Gambar 2. Pengaruh Volume H₂O₂ Pada Congo Red 100 mg/L Dengan Persentase Degradasi (%D)

Penambahan H₂O₂ sebanyak 0,5 mL persentase degradasi meningkat dibandingkan dengan proses pada degradasi tanpa penambahan H₂O₂. Persentase degradasi Congo red yang hanya menggunakan fotokatalis ZnO-AA dan sinar UV sebesar 74,31%, meningkat menjadi 94,81% dengan penambahan 30% H₂O₂ sebanyak 0,5 mL. Namun pada penambahan volume H₂O₂ 2 sampai 6 mL tidak mengalami peningkatan persentase degradasi yang begitu berarti (tidak signifikan). Penambahan H₂O₂ lebih dari 0,5 mL, kinerja H₂O₂ dalam mendegradasi larutan Congo red tidak meningkat. Secara teoritis, peningkatan konsentrasi H₂O₂ seharusnya menghasilkan peningkatan sebanding dalam produksi radikal hidroksil. Namun, ketika konsentrasi H₂O₂ menjadi sangat tinggi, dapat menyebabkan reaksi antara •OH dan H₂O₂, karena H₂O₂ juga

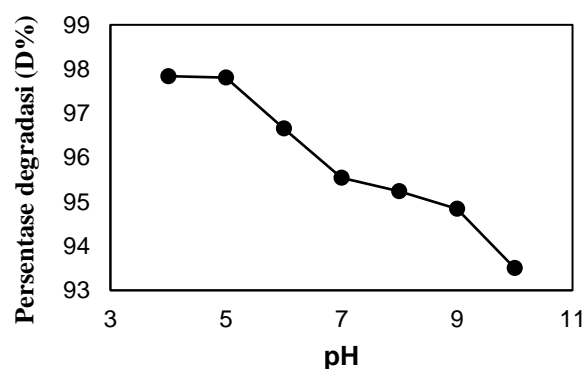
berperan sebagai akseptor elektron (Darmadi, 2014). Berikut persamaan reaksinya:



Pengikatan $h\nu$ dan radikal hidroksil oleh hidrogen peroksida (H₂O₂) yang berlebihan akan menghasilkan radikal peroksil (HO₂•) (8) yang memiliki sifat kurang reaktif kemampuannya dibandingkan •OH dan dapat menurunkan jumlah radikal hidroksil dalam prosesnya sehingga proses degradasi berjalan lambat (Wulandari & Soedjono, 2017) dan terjadi pembentukan molekul gas O₂ (9) dalam sistem dimana molekul gas ini tidak larut, sehingga menghasilkan reaksi berbalik yang menghambat transfer energi foton (Sibarani *et al.*, 2016).

pH Optimum Degradasi Congo Red oleh Fotokatalis ZnO-AA

Pengujian pH optimum dalam proses degradasi dilakukan pada berbagai tingkat pH, yaitu pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Perubahan pH dalam larutan dapat mengakibatkan pergeseran potensial reaksi fotokatalisis dan perubahan muatan permukaan, yang akan memengaruhi kekuatan ionik, proses degradasi, serta interaksi dalam proses adsorpsi. Berdasarkan data pada Gambar 3. menunjukkan bahwa lingkungan ber pH asam (<7) lebih efektif dalam mendegradasi Congo red. Hasil senada juga dicatat dalam penelitian yang dilakukan oleh Saraswati *et al.* (2015).



Gambar 3. Pengaruh pH Pada Congo Red 100 mg/L Dengan persentase Degradasi (%D)

Gambar 3. menunjukkan peningkatan persentase degradasi pada pH 4 sampai 5 yaitu 97,84% dan 97,81%. Pada pH 6 sudah mulai mengalami penurunan persentase degradasi

Congo red, sehingga pada pH 5 adalah pH optimum untuk mendegradasi zat warna tersebut karena meskipun persentase degradasi pada pH 4 agak lebih tinggi (0,03%), namun diperlukan lebih banyak asam untuk mencapai pH 4 karena larutan *Congo red* pada awalnya memiliki pH 7 serta memerlukan lebih banyak basa untuk mengembalikannya ke pH 7 jika akan dibuang ke lingkungan. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI (2019) tentang baku mutu air limbah industri tekstil, rentang pH yang diperbolehkan yaitu antara 6 – 9. Oleh karena itu pH 5 ditetapkan sebagai pH optimum dengan hasil persentase degradasi sebesar $97,81 \pm 0,16\%$. Pada suasana basa diperoleh persentase degradasi yang semakin menurun. Hasil ini lebih tinggi dari yang dilaporkan Saraswati *et al.* (2015) yakni sebesar 87,87% pada pH 4 (asam), namun sedikit lebih rendah dari Diantariani *et al.* (2016) sebesar 99,93% pada pH 5 (asam).

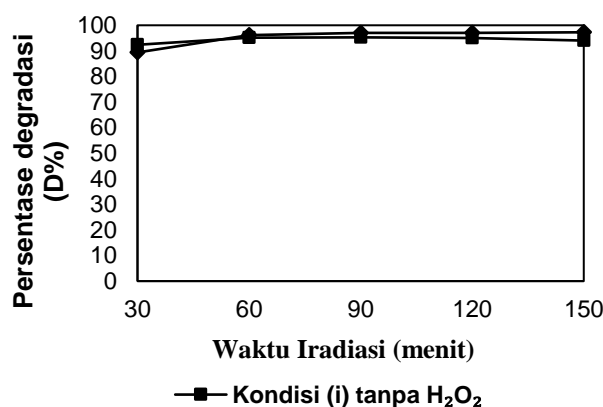
Secara teoritis, ZnO akan memiliki muatan negatif pada permukaannya dalam kondisi berpH basa (kondisi alkali). Oleh karena itu, zat warna *Congo red* yang juga bermuatan negatif (anionik) akan lebih sedikit teradsorpsi ke permukaan ZnO yang memiliki muatan serupa. Akibatnya, degradasi *Congo red* menjadi kurang efektif dalam suasana basa. (Ali & Siew, 2006; Diantariani *et al.*, 2016).

Waktu Iradiasi Optimum Degradasi *Congo Red* oleh Fotokatalis ZnO-AA

Gambar 4. menunjukkan pada awalnya terjadi peningkatan persentase degradasi *Congo red* seiring dengan peningkatan waktu penyinaran sinar UV. Kenaikan persentase degradasi dengan waktu berhubungan dengan intensitas cahaya yang diberikan pada sistem. Ini menggambarkan bahwa semakin lama waktu radiasi sinar UV berlangsung, maka semakin banyak foton atau energi yang mencapai permukaan ZnO, menghasilkan peningkatan persentase degradasi yang lebih signifikan (Kumar & Pandey, 2017; Subagio & Nurhasanah, 2011).

Pada kondisi (i) yaitu tanpa H_2O_2 terlihat peningkatan persentase degradasi pada menit ke-60 dengan persentase degradasi sebesar $95,20 \pm 0,62\%$. Kemudian pada kondisi (ii), persentase degradasi meningkat pesat dari 30 ke 60 menit. Setelah melewati menit ke-60 tidak terjadi perubahan yang signifikan. Oleh karena

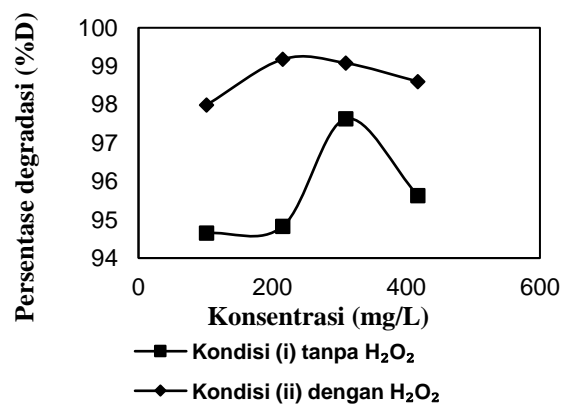
itu, interval 60 menit dipilih sebagai waktu paling efektif untuk proses degradasi *Congo red* dengan persentase degradasi sebesar $96,18 \pm 0,20\%$. Dibandingkan kondisi (i), persentase degradasi ini lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi radikal hidroksil pada proses degradasi yang dipengaruhi oleh penambahan H_2O_2 (Sibarani *et al.*, 2016).



Gambar 4. Pengaruh Waktu Iradiasi Pada *Congo Red* 100 mg/L Dengan Persentase Degradasi (%D)

Efektivitas Proses Degradasi *Congo Red* pada Kondisi Optimum

Penentuan efektivitas degradasi larutan *Congo red* dilakukan dengan fotokatalis ZnO-AA. Proses degradasi dilakukan dalam dua kondisi yaitu yaitu: (i) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, pH optimum dan sinar UV, (ii) dengan fotokatalis ZnO-AA optimum, H_2O_2 optimum, pH optimum dan radiasi sinar UV. Konsentrasi larutan *Congo red* divariasikan pada 100, 200, 300 dan 400 mg/L.



Gambar 5. Kurva Hubungan Antara Konsentrasi Zat Warna *Congo Red* Dengan Persentase Degradasi (%D) Oleh Fotokatalis ZnO-AA

Berdasarkan perbandingan hasil persentase degradasi larutan *Congo red* pada kondisi (i) dan (ii) pada Gambar 5, fotokatalis ZnO-AA terbukti efektif dalam mendegradasi larutan *Congo red* dengan konsentrasi hingga 300 mg/L. Hal ini dikarenakan arang aktif berperan sebagai absorben yang menarik molekul *Congo Red* mendekati fotokatalis, yang selanjutnya mengalami degradasi oleh radikal hidroksil (\bullet OH) yang dihasilkan oleh ZnO. Penambahan oksidator H₂O₂ mampu meningkatkan tingkat degradasi dari 94,65% (tanpa H₂O₂) menjadi 97,99% pada konsentrasi 100 mg/L. Pada konsentrasi 300 mg/L kombinasi fotokatalis dengan oksidator H₂O₂ mampu mendegradasi zat warna *Congo red* secara efektif mencapai $99,08 \pm 0,01\%$.

Terjadinya penurunan pada konsentrasi *Congo red* yang semakin tinggi, menunjukkan bahwa untuk dapat mendegradasi zat warna tersebut diperlukan radikal hidroksil (\bullet OH) yang lebih banyak, namun terbatas pada jumlah fotokatalis dan waktu penyinaran yang tetap sehingga radikal hidroksil (\bullet OH) yang terbentuk juga terbatas yang menyebabkan terjadinya penurunan persentase degradasi pada konsentrasi zat warna yang lebih tinggi. Selain itu, dengan meningkatnya konsentrasi zat warna, jumlah molekulnya juga meningkat, yang dapat menghambat interaksi antara cahaya dan katalis. Akibatnya, kemampuan elektron untuk bergerak ke tingkat energi yang diperlukan akan semakin berkurang, dan ini akan memengaruhi hasil degradasi zat warna.

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses degradasi *Congo red* secara optimal oleh fotokatalis ZnO-arang aktif sebanyak 60 mg pada pH 5 dengan waktu iradiasi 60 menit. Pada kondisi optimum persentase degradasi larutan *Congo red* 100 mg/L mencapai $97,99 \pm 0,06\%$. Serta Penambahan H₂O₂ berpengaruh dalam proses degradasi *Congo red* dengan meningkatnya persentase degradasi dari $94,65 \pm 0,01\%$ menjadi $97,99 \pm 0,06\%$. Kombinasi fotokatalis ZnO-AA, sinar UV serta penambahan oksidator H₂O₂ pada kondisi optimumnya efektif dalam mendegradasi larutan *Congo red* hingga konsentrasi 300 mg/L dengan persentase konsentrasi sebesar $99,08 \pm 0,01\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R., & Siew, O. B. 2006. Photodegradation of New Methylen Blue N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst. *Jurnal Teknologi*. 45(1): 1–14.
- Anggraini, P. D. 2019. *Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil Batik Dengan Menggunakan Metode Fotokatalis TiO₂ – Karbon Aktif Tempurung Kelapa*. Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- Darmadi, D. 2014. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Pupuk Urea Menggunakan Advanced Oxidation Processes. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*. 10(1): 6–11.
- Diantariani, N. P., Suprihatin, I. E., & Widihati, I. A. G. 2016. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Methylene Blue dan Congo Red Menggunakan Komposit ZnO-AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*, 10(1): 133–140.
- Enrico. 2019. Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah. *Moda*. 1: 5–13.
- Kumar, A., & Pandey, G. 2017. A review on the factors affecting the photocatalytic degradation of hazardous materials. *Material Sci & Eng Int J*, 1(3): 106–114.
- Lim, T.-T., Yap, P.-S., Srinivasan, M., & Fane, A. G. 2011. TiO₂/AC Composites for Synergistic Adsorption-Photocatalysis Processes: Present Challenges and Further Developments for Water Treatment and Reclamation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 41(13): 1173–1230.
- Madhu, G. M., Lourdu, A. R. M. A., Vasanta, K. P. K., & Rao, S. 2007. Photodegradation of methylene blue dye using UV/BaTiO₃, UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/BaTiO₃. *Indian Journal of Chemical Teknologi*. 14: 139–144.
- Nogueira, R. F., & Jardim, W. F. 1993. Photodegradation of Methylene Blue. *J. Chem. Educ.*, 70(10): 861–862.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2019. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi*

- Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tekstil. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.*
- Saraswati, I., Diantariani, N., & Suarya, P. 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red Dengan Fotokatalis Zn-Arang Aktif Dan Sinar Ultraviolet (Uv). *Jurnal Kimia*. 9(2): 175–182.
- Sibarani, J., Purba, D. L., Suprihatin, I. E., & Manurung, M. 2016. Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan ZnO/UV/Reagen Fenton. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 4(1): 84–94.
- Subagio, F. A. A., & Nurhasanah, I. 2011. Sintesis Nanokomposit TiO₂-Carbon Nanotubes Menggunakan Metode Sol-Gel untuk Fotodegradasi Zat Warna Azo Orange 3R. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*. 29(2): 63–72.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., & Kurniaysih, D. 2006. Utilisasi TiO₂-Zeolit Dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Berkala MIPA*. 3: 27–35.
- Wulandari, W., & Soedjono, E. 2017. Penurunan COD dan Deterjen pada Saluran Kalidami Kota Surabaya dengan Oksidator H₂O₂ dan KMnO₄. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2): 445–450.