

DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B SECARA SONOLISIS MENGUNAKAN KATALIS $ZnO-H_2O_2$

Fitrah Amelia

Dosen Tetap Prodi pendidikan Matematika Universitas Riau Kepulauan Batam

ABSTRAK

Rhodamin B merupakan zat warna sintetis yang bersifat toksik. Untuk mengurangi tingkat toksisitasnya maka dilakukan degradasi terhadap Rhodamin B secara sonolisis menggunakan katalis $ZnO-H_2O_2$. Metoda sonolisis menggunakan gelombang ultrasonik yang beroperasi pada frekuensi 47 kHz. Hasil sonolisis disentrifus untuk memisahkan zat warna dengan katalisnya. Selanjutnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400-600 nm. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil degradasi dari Rhodamin-B 2 mg/L dengan penambahan ZnO efektif 0,3 g sebesar 35,44 % yang didegradasi selama 60 menit, suhu 40 ± 1 °C, pH 5. Pada kondisi yang sama untuk penambahan 3 ml H_2O_2 30 % didapatkan persen degradasi 42,67 % dan dengan penambahan $ZnO-H_2O_2$ diperoleh degradasi sebesar 88,83 %. Persentase degradasi dari Rhodamin B mencapai 91,99 % dengan penambahan ZnO 0,3 g dan H_2O_2 3 ml pada pH 5, suhu 40 ± 1 °C setelah disonolisis selama 90 menit.

Kata Kunci: Degradasi, Rhodamin B, TiO_2 -anatase, $ZnO-H_2O_2$, Sonolisis

I. PENGANTAR

Penelitian ini dilakukan untuk mendegradasi polutan organik dalam hal ini zat warna Rhodamin B menggunakan metoda sonolisis. Metoda sonolisis menggunakan gelombang ultrasonic yang beroperasi pada frekuensi antara 20-500 kHz. Gelombang ultrasonic dalam air limbah memiliki efisiensi yang besar dalam mendegradasi senyawa yang sukar terurai. Sonolisis mampu mengubah polutan tersebut menjadi senyawa yang kurang berbahaya dibandingkan polutan awal. ZnO merupakan katalis yang efektif digunakan untuk mendegradasi senyawa-senyawa organik toksik seperti pestisida dan zat warna.

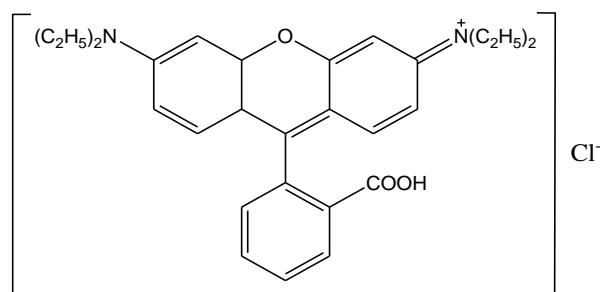
Rhodamin B merupakan zat warna sintetis yang berbentuk serbuk. Umumnya digunakan untuk keperluan pabrik tekstil dan kertas yaitu untuk merubah warna, misal dari warna putih menjadi merah. Rhodamin B adalah zat kimia yang berbahaya sama sekali tidak boleh dicampurkan didalam makanan, minuman dan kosmetik. Rhodamin B mudah larut dalam air dan alkohol, sedikit larut dalam HCl dan NaOH. Titik leleh 165 °C.¹ Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan λ_{maks} dalam air 553 nm untuk senyawa netral dan 556 nm dalam bentuk kationnya.²

Seng (Zn) merupakan jenis logam yang cukup tahan terhadap serangan udara dan air pada temperatur ruang, namun pada suhu tinggi logam ini dapat bereaksi dengan oksigen diudara menghasilkan oksida dalam bentuk ZnO.³ Semikonduktor ZnO merupakan pilihan yang sesuai untuk alternatif pengganti TiO₂ karena disamping tahan terhadap korosi, mempunyai energi celah yang tidak begitu besar, serta rendah dalam pembiayaan. Sebab, walau bagaimanapun dalam aplikasinya suatu metoda penanganan masalah lingkungan, rendah biaya juga merupakan prioritas utama. ZnO lebih efisien daripada TiO₂ terutama dalam menghasilkan H₂O₂ (radikal) yang menjadi pentransformasi senyawa-senyawa kontaminan bahkan ZnO lebih ramah terhadap lingkungan dari pada TiO₂ sehingga ZnO dapat diaplikasikan sebagai sumber H₂O₂ dalam fototransformasi senyawa-senyawa kontaminan.⁴

Penggunaan H₂O₂ pada penelitian ini termasuk pada salah satu metoda *Advanced oxidation processes* (AOP). AOP adalah satu atau kombinasi dari beberapa proses seperti *ozone, hydrogen peroxide, Ultraviolet light, titanium oxide, photo catalyst, sonolysis, electron beam, electrical discharges* (plasma) serta beberapa proses lainnya untuk menghasilkan hidroksil radikal

Salah satu keuntungan hidrogen peroksida dibandingkan dengan oksidator yang lain adalah sifatnya yang ramah lingkungan. Ia tidak meninggalkan residu, hanya air dan oksigen. Kekuatan oksidatornya pun dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Sebagai contoh dalam industri pulp dan kertas, penggunaan hidrogen peroksida biasanya dikombinasikan dengan NaOH atau soda api. Semakin basa, maka laju dekomposisi hidrogen peroksida pun semakin tinggi.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka akan dilakukan penelitian degradasi zat warna Rhodamin B dengan penambahan ZnO-H₂O₂ secara sonolisis. Dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kemampuan katalis ZnO-H₂O₂ bisa mendegradasi zat warna Rhodamin.



Gambar 1. Struktur Rhodamin B¹

II. METODOLOGI

1. Spektrum Serapan Rhodamin B.

Sebanyak 1,000 g Rhodamin B dilarutkan dalam 1000 mL akuades untuk mendapatkan larutan induk Rhodamin B 1000 mg/L. Kemudian larutan induk Rhodamin B 1000 mg/L diencerkan menjadi empat variasi konsentrasi yaitu 1, 2, 3 dan 4 mg/L. Keempat variasi konsentrasi larutan tersebut masing-masing diukur spektrum serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400-600 nm.

2. Penentuan pemakaian efektif ZnO.

Larutan Rhodamin B 2 mg/L pada pH 5 dimasukkan ke dalam 8 buah botol sebanyak 25 mL. Kemudian ke dalam masing-masing botol ditambahkan ZnO dengan variasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; dan 0,8 g dan ditutup, selanjutnya dilakukan sonolisis pada suhu 40 ± 1 °C selama 60 menit. Hasil sonolisis disentrifus untuk memisahkan ZnO dari larutan. Spektrum serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400-600 nm.

3. Pemakaian efektif H₂O₂ 30%.

Larutan Rhodamin B 2 mg/L pada pH 5 dimasukkan ke dalam 7 buah botol sebanyak 25 mL. Kemudian ditambahkan ke dalam masing-masing botol 0,3 g ZnO dan H₂O₂ 30 % dengan variasi 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; dan 3,5 mL dan ditutup, selanjutnya dilakukan sonolisis pada suhu 40 ± 1 °C selama 60 menit. Hasil sonolisis disentrifus untuk memisahkan ZnO dari larutan. Spektrum serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400-600 nm.

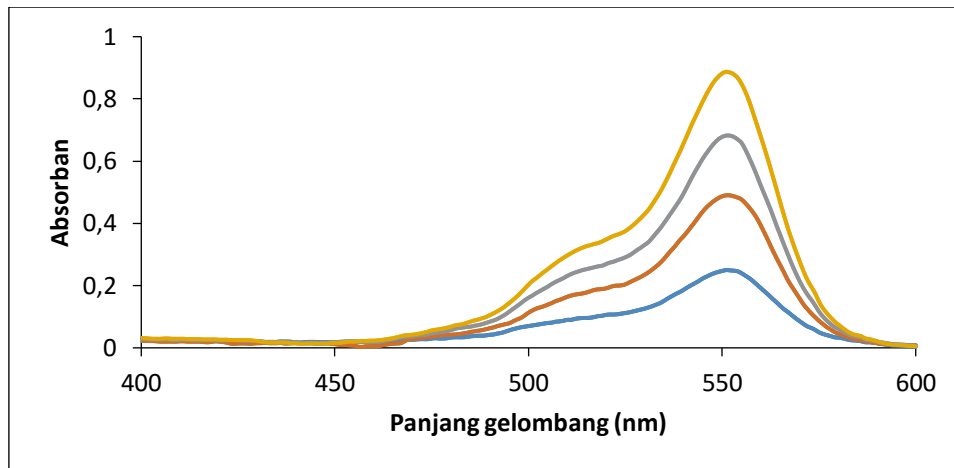
4. Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis.

Larutan Rhodamin B 2 mg/L pada pH 5 dimasukkan ke dalam 6 buah botol sebanyak 25 mL. Kemudian ditambahkan ke dalam masing-masing botol 0,3 g ZnO dan 3 mL H₂O₂ 30 % dan ditutup. Larutan disonolisis pada suhu 40 ± 1 °C dengan variasi waktu 0, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil sonolisis disentrifus untuk memisahkan ZnO dari larutan. Spektrum serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400-600 nm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Spektrum Serapan Rhodamin B

Pengukuran spektrum serapan rhodamin B pada konsentrasi 1, 2, 3, dan 4 mg/L dalam pelarut air menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Secomam 1000 memperlihatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 551 nm. Dimana panjang gelombang yang didapatkan hampir mendekati yang seharusnya, yaitu λ_{maks} dalam air 553 nm untuk senyawa netral dan 556 nm dalam bentuk kationnya.²

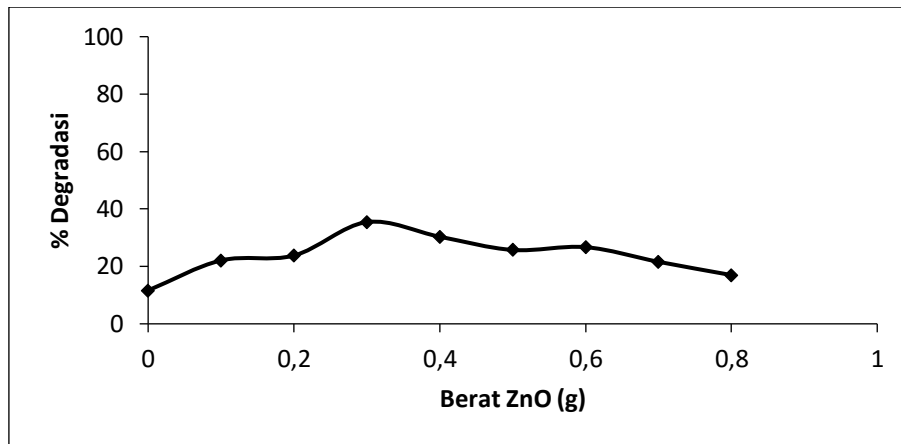


Gambar 2. Spektrum serapan Rhodamin B pada variasi konsentrasi
 Ket : (—) Rhodamin B 1 mg/L, (—) Rhodamin B 2 mg/L, (—) Rhodamin B 3 mg/L, (—) Rhodamin B 4 mg/L

2. Pemakaian efektif ZnO

Efek dari ultrasonik menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai kavitasi akustik. Proses kavitasi tersebut terdiri dari pembentukan, pertumbuhan dan mengembang mengempisnya gelembung pada larutan. Kavitasi tersebut memberikan efek fisik dan kimia tertentu yang berperan dalam proses degradasi senyawa. Efek fisik yang ditimbulkan oleh proses kavitasi adalah meningkatnya reaktivitas katalis melalui perluasan permukaan, sedangkan efek kimia yang terjadi adalah meningkatnya kecepatan reaksi pembentukan spesies aktif yang berperan dalam degradasi senyawa. Untuk meningkatkan efisiensi degradasi sonolisis ditambahkan katalis yang dapat meningkatkan produksi radikal OH sehingga mempercepat proses degradasi senyawa organik.

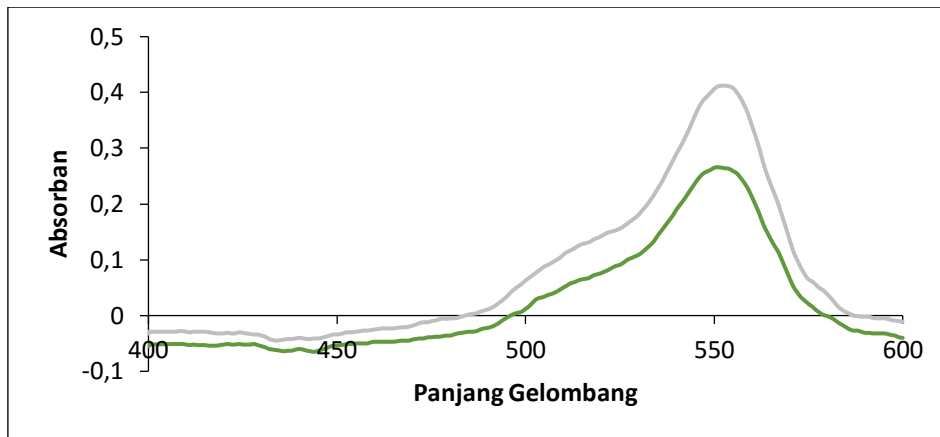
Penambahan ZnO berfungsi sebagai katalis yang membantu proses degradasi dari Rhodamin B. Dengan adanya katalis maka degradasi dari Rhodamin B akan berlangsung lebih cepat dari pada tanpa menggunakan katalis. Sifat katalis yang dapat mempercepat reaksi dan tidak ikut bereaksi memudahkan kita untuk memisahkan kembali ZnO dari zat aktifnya. Pemisahan dapat dilakukan dengan menggunakan sentrifus.



Gambar 3. Kurva pengaruh penambahan ZnO terhadap persen degradasi Rhodamin B setelah disonolisis
Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, pH 5, Suhu 40 ± 1 °C, sonolisis selama 60 menit

Gambar 3 menunjukkan bahwa persentase degradasi dari Rhodamin B meningkat saat dilakukannya penambahan ZnO, namun terjadi penurunan persentase degradasi pada saat penambahan ZnO mulai dari 0,4 gram sampai 0,8 gram. Ini disebabkan karena adanya intermediet dari Rhodamin B yang ikut terukur pada saat pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis, serta akibat terjadinya reaksi antara intermediet dengan oksidan yang tersedia sehingga menghalangi zat aktif bereaksi dengan oksidan (OH^\bullet , O_2^\bullet , HO_2^\bullet).⁵ Senyawa intermediet terbentuk akibat rusaknya senyawa organik. Senyawa intermediet merupakan senyawa antara dari hasil reaksi zat aktif dengan OH^\bullet sebelum diperoleh hasil akhir berupa CO_2 dan H_2O .⁶ Dari hasil pengukuran menunjukkan pemakaian ZnO 0,3 gram yang efektif. Dengan penambahan 0,3 gram ZnO sudah terjadi penurunan nilai absorban yang cukup berarti (Lihat gambar 4) dan diperoleh persentasenya 35,44 %. Untuk perlakuan selanjutnya dipakai ZnO efektif yaitu 0,3 gram.

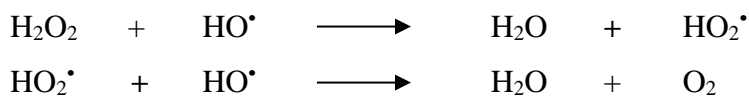
Degradasi Rhodamin B menggunakan katalis TiO_2 diperoleh persen degradasinya sebesar 40,81 %. Sedangkan dengan ZnO hanya 35,44 % Rhodamin B yang terdegradasi. Dapat dilihat bahwa perbedaan persentase degradasi Rhodamin B menggunakan TiO_2 dengan menggunakan ZnO tidak begitu signifikan. Ini berarti ZnO dapat digunakan sebagai katalis alternatif pengganti TiO_2 .



Gambar 4. Spektrum serapan Rhodamin B sebelum dan sesudah disonolisis Variasi penambahan ZnO
Ket : (—) Rhodamin B sebelum disonolisis, Rhodamin B setelah disonolisis (—)

3. Pemakaian efektif H₂O₂ 30 % dengan dan tanpa penambahan ZnO

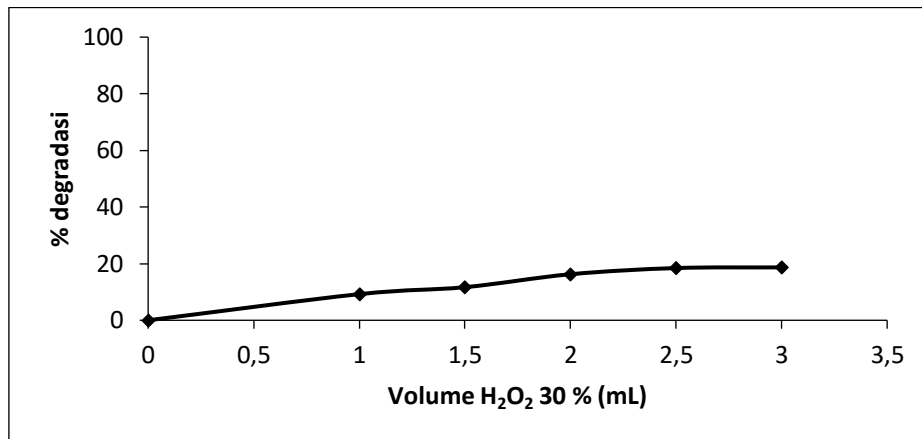
Penambahan H₂O₂ membantu dalam mempercepat proses degradasi. Penambahan hidrogen peroksida yang berlebihan dapat bertindak sebagai Pengurai OH[•]. Karena itu penambahan yang tepat dari hidrogen peroksida bisa mempercepat laju degradasi. Agar dapat menjaga efisiensi dari penambahan H₂O₂, dibutuhkan untuk memilih takaran yang tepat dari H₂O₂ menurut jenis dan konsentrasi dari polutan. Penambahan H₂O₂ akan menghasilkan air (H₂O) dan oksigen (O₂) seperti yang dapat dilihat pada reaksi berikut :



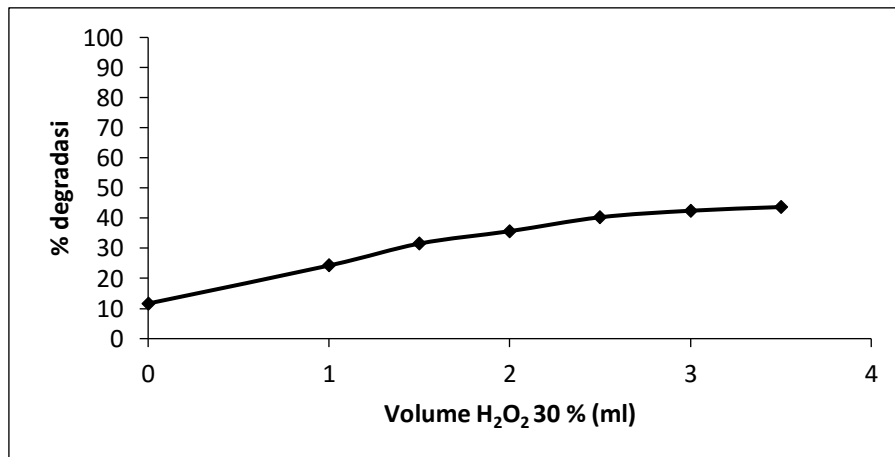
Pada saat konsentrasi hidrogen peroksida rendah akan meningkatkan laju dari formasi radikal hidroksil, pada konsentrasi hidrogen peroksida sangat tinggi akan dihasilkan penurunan laju degradasi.⁷ Persentase degradasi Rhodamin B tanpa sonolisis dapat dilihat pada gambar 5 dimana hasil degradasi yang di dapatkan tidak terlalu besar, sehingga dapat dikatakan bahwa yang mempengaruhi perubahan persen degradasi dari Rhodamin B hanya radikal OH dari H₂O₂ saja.

Persentase degradasi Rhodamin B yang ditambahkan H₂O₂ dan tanpa katalis ZnO dihasilkan lebih kecil dibandingkan setelah dikombinasikan dengan ZnO. Ini dapat dilihat pada Gambar 6. Dimana pada saat penambahan 3 ml H₂O₂ hanya 42,67 % Rhodamin B yang terdegradasi. Ini disebabkan karena kombinasi dari katalis dengan H₂O₂ berperan penting untuk meningkatkan laju degradasi. Pada konsentrasi tinggi radikal hidroksil dihasilkan dari efek sinergi semikonduktor dengan hidrogen peroksida.⁶ Namun pada saat penambahan 3,5 ml H₂O₂ tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap persen degradasi dari Rhodamin B sehingga

penambahan 3 ml H₂O₂ merupakan pemakaian H₂O₂ yang efektif dan ini digunakan untuk perlakuan selanjutnya.

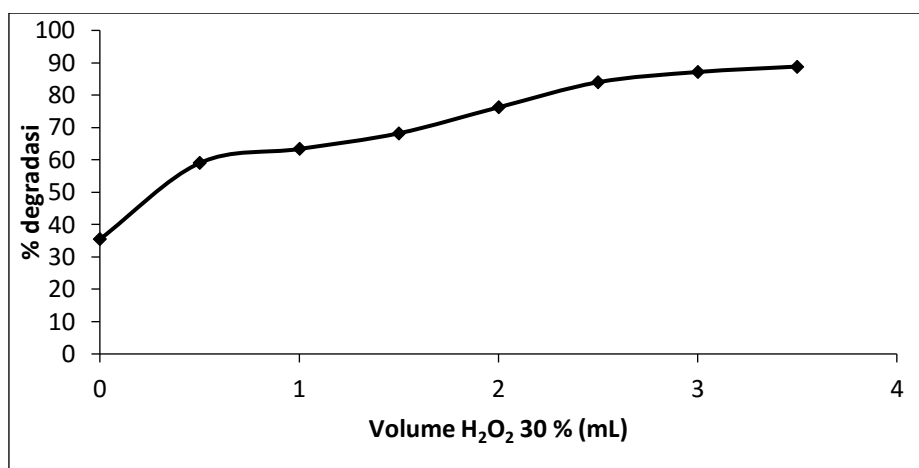


Gambar 5. Kurva pengaruh penambahan H₂O₂ terhadap persen degradasi Rhodamin B tanpa sonolisis
Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, [H₂O₂] : 30 %, pH 5, Suhu 40±1 °C, dibiarkan selama 60 menit



Gambar 6. Kurva pengaruh penambahan H₂O₂ terhadap persen degradasi Rhodamin B setelah disonolisis
Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, [H₂O₂] : 30 %, pH 5, Suhu 40±1 °C, sonolisis selama 60 menit

Untuk meningkatkan persentase degradasi dari Rhodamin B maka dilakukan penambahan H₂O₂. Hidrogen peroksida merupakan oksidator kuat yang dapat membantu katalis ZnO dalam mendegradasi zat warna Rhodamin B. semakin banyak H₂O₂ yang digunakan dalam mendegradasi Rhodamin B semakin besar persentase degradasi dari Rhodamin B dan semakin kecil nilai serapan absorbanya. Dalam kondisi normal hidrogen peroksida sangat stabil, dengan laju dekomposisi yang sangat rendah. Ini dapat dilihat pada Gambar 7.

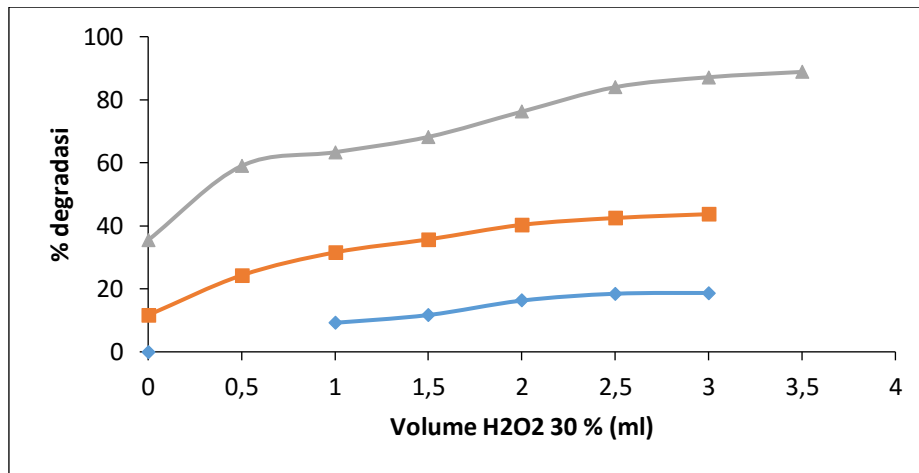


Gambar 7. Kurva pengaruh penambahan, ZnO-H₂O₂ terhadap persen degradasi Rhodamin B setelah disonolisis

Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, [H₂O₂] : 30 %, pH 5, ZnO 0,3 g, Suhu 40±1 °C, sonolisis selama 60 menit

Saat dilakukan sonolisis larutan dari Rhodamin B yang berisi H₂O₂ dan ZnO tersebut mengalami perubahan warna dari merah muda menjadi putih yang sedikit merah muda. Perubahan ini dapat diamati secara visual yang ditandai dengan timbulnya gelembung-gelembung pada botol yang berisi larutan. Ini menyebabkan pemisahan Rhodamin B dari katalisnya cukup sulit untuk dilakukan sehingga dibutuhkan sentrifus yang berulang kali dan waktu sentrifus yang lama. Perubahan warna tidak terjadi pada saat sonolisis larutan Rhodamin B yang hanya mengandung ZnO atau H₂O₂ saja. Dengan ditambahkan H₂O₂ ke dalam larutan Rhodamin B yang dikombinasikan dengan ZnO menyebabkan persentase degradasi dari Rhodamin B meningkat dua kali lipat dibandingkan tanpa penambahan H₂O₂ yaitu dari 35,44 % menjadi 87,14 % sedangkan serapan absorbannya menurun. Terjadinya peningkatan degradasi saat katalis dan H₂O₂ di sonolisis secara bersamaan disebabkan karena katalis dapat menghasilkan Radikal OH tambahan dan mempercepat proses sonolisis. Sehingga didapatkan volume efektif H₂O₂ sebesar 3 ml dan volume ini nantinya yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya. Diambil 3 ml sebagai volume efektifnya disebabkan oleh persentase degradasi dari Rhodamin B tidak begitu jauh peningkatannya pada saat dilakukan penambahan H₂O₂ 3,5 ml.

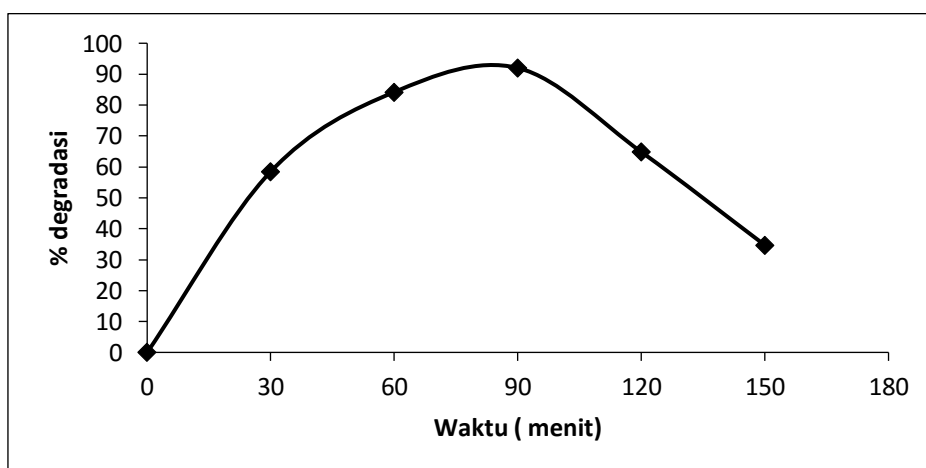
Gambar 8 memperlihatkan perubahan % degradasi yang terjadi saat Rhodamin B ditambahkan H₂O₂ tanpa disonolisis, dengan sonolisis serta penambahan ZnO-H₂O₂ setelah disonolisis. Dimana Persen degradasi tanpa disonolisis lebih kecil dari yang di sonolisis sedangkan yang disonolisis juga lebih kecil dari pada setelah penambahan ZnO-H₂O₂ setelah disonolisis.



Gambar 8. Kurva pengaruh penambahan H₂O₂ terhadap persen degradasi Rhodamin B
 Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, [H₂O₂] : 30 %, pH 5, Suhu 40±1 °C, sonolisis selama 60 menit. (—◇—) Rhodamin B tanpa sonolisis, (—■—) setelah di sonolisis, (—▲—) setelah penambahan ZnO dan disonolisis.

4. Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis

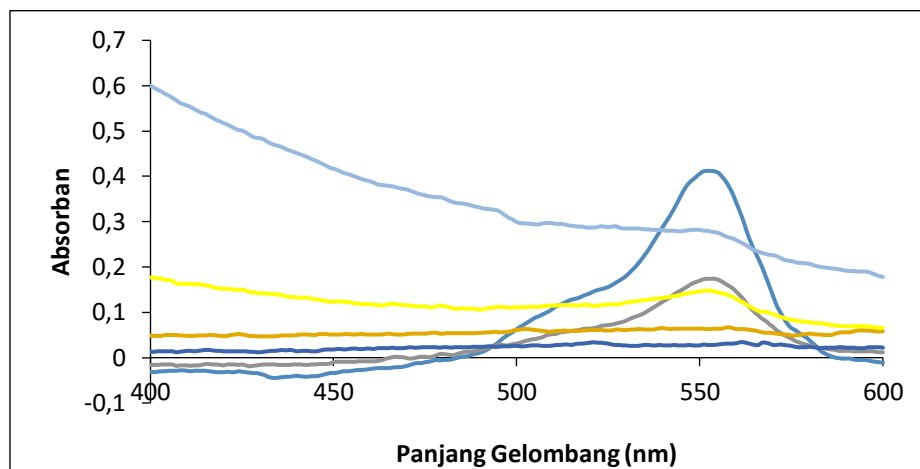
Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L, pH 5, suhu 40±1 °C dengan penambahan ZnO 0,3 gram dan 3 ml H₂O₂ dilakukan selama 150 menit dengan interval 30 menit. Gambar 9 menunjukkan bahwa persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L, pH 5, suhu 40±1 °C, ZnO 0,3 g, H₂O₂ 3 ml mengalami kenaikan sampai pada waktu 90 menit. Struktur Rhodamin B yang rumit menyebabkan tidak mudah untuk didegradasi dalam waktu yang singkat. Penggunaan alat sonolisis dengan kekuatan energi getaran dan daya yang lebih tinggi memungkinkan proses degradasi berlangsung lebih cepat.



Gambar 9. Kurva persentase degradasi Rhodamin B terhadap variasi waktu sonolisis
 Ket : [Rhodamin B] : 2 mg/L, pH 5, ZnO 0,3 g, H₂O₂ 30 % 3 ml, Suhu 40±1 °C

Dari hasil dapat dilihat penurunan nilai serapan pada panjang gelombang 552,6 nm. Untuk mendegradasi Rhodamin B 2 mg/L sebesar 91,99 % dibutuhkan waktu 90 menit.

Penurunan nilai serapan Rhodamin B setelah penambahan ZnO- H₂O₂ terhadap serapan awal dari Rhodamin B dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Spektrum serapan Rhodamin B sebelum dan sesudah disonalisis
Ket : (—) Rhodamin B sebelum disonalisis, Rhodamin B setelah disonalisis (—) 30 menit, (—) 60 menit, (—) 90 menit, (—) 120 menit, dan (—) 150 menit dengan penambahan ZnO 0,3 g dan H₂O₂ 30 % 3 ml.

Persentase degradasi kembali mengalami penurunan setelah didegradasi lebih dari 90 menit. Hal ini disebabkan karena H₂O₂ yang ditambahkan tersebut OH[•] nya telah habis terdekomposisi atau terurai, atau terjadinya reaksi dengan katalis dan membentuk senyawa perokso yang mana akan mengganggu proses sonolisis.⁵ Selain itu penurunan persen degradasi ini juga disebabkan karena terbentuknya koloid sehingga sulit untuk dipisahkan dengan sentrifus akibatnya pada saat pengukuran menggunakan UV-Vis sampel yang diukur tingkat kekeruhannya masih tinggi. Pada saat waktu 120 dan 150 menit memberikan hasil pengukuran menggunakan UV-Vis berupa garis melayang pada bagian atas kurva. Tidak ada spektrum serapan yang terbaca pada panjang gelombang 553 nm. Warna larutan bila dilihat secara visual sudah menjadi keruh dengan sedikit warna merah.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ZnO-H₂O₂ dapat meningkatkan persentase degradasi dari Rhodamin-B setelah didegradasi menggunakan sonolisis. Dimana untuk penambahan katalis ZnO diperoleh persen degradasi sebesar 35,44 %. Untuk penambahan H₂O₂ 30 % persen degradasi didapatkan sebesar 42,67 % dan ZnO-H₂O₂ didapatkan persen degradasi 87,14 % yang disonalisis selama 60 menit, sedangkan untuk Rhodamin B 2 mg/L menggunakan katalis ZnO 0,3 g dan H₂O₂ 3 ml pada pH 5, suhu 40±1 °C, selama 90 menit mencapai 91,99 %.

2. Saran

Bagi peneliti selanjutnya disarankan untuk mengidentifikasi produk sonolisis yang terbentuk pada beberapa tahap perlakuan dengan metoda HPLC serta mengidentifikasi fungsi penambahan H₂O₂ pada penelitian ini. Apakah pada penelitian ini H₂O₂ berfungsi sebagai katalis, oksidator atau keduanya, sehingga dapat diketahui secara jelas.

DAFTAR PUSTAKA

1. The merck Index, An Encyclopedia of Chemicals, drugs, and biologicals, Thirteenth edition. Merck & Co., Inc. (2001), p 1085.
2. H. Park, W. Choi, Photocatalytic Reactivities of Nafion-Coated TiO₂ for the Degradation Charged Organic Compounds Under UV or Visible Light, *J. Phys, Chem. B*, 109 : 11667-11674 (2005).
3. Darajat. S, Hermansyah Aziz, dan Admin Alif. Seng Oksida (ZnO) sebagai Fotokatalis pada Proses Degradasi Senyawa Biru Metilen. *J. Ris. Kim.* 1 (2) 179-186 (2008).
4. M. R. Hoffman, S. T. Martin, W. Choi, D. W. Bahneman, Environmental Application of Semiconductors Photocatalysis. *Chem Review*, 95 : 71-87. (1995).
5. A. Eslami, S. Nasser, B. Yodollahi, A. Mesdaghinia, F. Vaezi, R. Nabizadeh, Application of photocatalytic process for removal of Methyl Tert-Butyl Ether from highly contaminated water, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng*, 4 (4) : 215-222.
6. I. Poulios, D. Makri, X. Prohaska. Photocatalytic Treatment of Olive Milling Waste Water : Oxidation of Protocatechuic Acid. *Global Nest: the Int. J.* 1 (1) 55-62 (1999).
7. D. D. Dionysiou, M. T. Suidan, E. Bekou, I. Baudin, J. M. Iain. Effect of ionic strength and hydrogen peroxide on the Photocatalytic degradation of 4-chlorobenzoic acid in water, *Appl. Catalysis B: Environ.* 26 : 153-171 (2000).