

Pembuatan sistem ozonizer untuk degradasi pewarna *rhodamine B* dengan metode peroxone menggunakan mikrokontroler ATMEGA 8535

Rin Hafsahtul Asiah, Jatmiko Endro Suseno dan Zaenul Muhlisin
Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: rinhafsah@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

The decrease of the quality water is caused by the dye waste of rhodamine B that found in liquid waste. One of the ways to treat that liquid waste is using the peroxone process that combines ozone (O_3) and hydrogen peroxide (H_2O_2). The production of ozonizer system is vital due to its effectivity. The system is made by adding the microcontroller of Atmega 8535 as a timing controller that can adjust the duration of ozonizer system work. In addition, the concentration of H_2O_2 and the optimization of ozonation process were done to produce the most optimal degradation. The optimal ozone generator works on the frequency of 3500 Hz while the power is 2.15 Watt, 3576 V of voltage, and 0.6 mA of current with the average ozone production reaching 266 ppm every 30 minutes. The greater concentration of H_2O_2 that used and the longer ozonation time will increase the percentage degradation of rhodamine B. The greatest degradation percentage was achieved at the H_2O_2 concentration of 2500 ppm. The rhodamine B of 20 ppm was successfully degraded with the highest degradation percentage reaching 97% for 150 minutes.

Keywords: *Rhodamine B, Peroxone, Mikrokontroller*

ABSTRAK

Menurunnya kualitas air disebabkan banyak ditemukan limbah pewarna rhodamine B dalam limbah cair. Suatu cara untuk pengolahan limbah tersebut adalah dengan menggunakan metode peroxone yang mengkombinasikan ozon (O_3) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Pembuatan sistem ozonizer menjadi sangat penting untuk mengefektifkan metode tersebut. Sistem dibuat dengan menambah mikrokontroller Atmega 8535 sebagai pengontrol waktu yang dapat mengatur durasi kerja sistem ozonizer. Selain itu, optimasi konsentrasi H_2O_2 dan proses ozonasi juga dilakukan untuk menghasilkan degradasi paling optimal. Generator ozon optimal bekerja dalam frekuensi 3500 Hz dengan besar daya 2,15 Watt, tegangan 3576 V dan dan arus 0,6 mA dengan rata-rata produksi ozon mencapai 266 ppm tiap 30 menit. Pemakaian konsentrasi H_2O_2 yang semakin besar dan waktu ozonasi yang semakin lama akan meningkatkan persentase degradasi rhodamine B. Persentase degradasi terbesar dicapai pada konsentrasi H_2O_2 sebesar 2500 ppm. Rhodamin B 20 ppm berhasil terdegradasi dengan persentase degradasi tertinggi yang mencapai 97% selama 150 menit.

Kata kunci: *Rhodamine B, Peroxone, Mikrokontroller*

PENDAHULUAN

Penggunaan *rhodamine B* dalam industri maupun masyarakat umum akan mengakibatkan banyak ditemukannya *rhodamine B* dalam limbah cair. Selain dapat menurunkan kualitas air, limbah buangan *rhodamine B* dalam tubuh dapat mengakibatkan timbulnya berbagai penyakit

serius seperti kanker, gangguan fungsi hati dan kerusakan pada ginjal [1].

Sangat besarnya kemungkinan limbah zat warna cair tekstil seperti *rhodamine B* mencemari lingkungan, maka pemerintah melalui Kep MENLH No. 51/1995 dan Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air menjadikan limbah tersebut sebagai limbah yang sangat

diperhatikan. Dengan demikian diperlukan penelitian untuk mendegradasi limbah tersebut agar limbah yang dibuang memenuhi baku mutu air buangan.

Setiap limbah yang dihasilkan diharapkan tidak memiliki kandungan warna, *sludge*, dan zat berbahaya. Dalam penanganannya, limbah secara umum diolah dengan cara fisika, kimia, maupun biologi untuk mendegradasi kandungan yang ada. Salah satunya adalah penggunaan metode koagulasi dalam penyisihan warna dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah industri tekstil, namun kelemahannya adalah biaya operasional yang mahal dan masih menghasilkan *sludge* yang membutuhkan penanganan lanjutan. Selain koagulasi, beberapa cara pengolahan limbah konvensional juga telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara klorinasi, pengendapan dan penyerapan oleh karbon aktif, hingga pembakaran lumpur (*sludge*) kemudian memprosesnya secara mikrobiologi. Metode-metode tersebut dinilai kurang efektif. Penggunaan karbon aktif hanya dapat menyerap organik non polar dengan berat molekul rendah. Proses pembakaran dapat menimbulkan senyawa klorida. Sedangkan dalam proses mikrobiologi hanya mengurai senyawa *biodegradable*. Senyawa *non-biodegradable* tetap ada pada *sludge* yang kemudian kembali ke lingkungan [2].

Untuk meningkatkan efektivitas dalam pengolahan limbah zat warna cair *rhodamine B* adalah dengan memanfaatkan metode *Advanced Oxidation Process* (AOP) yaitu peroxone yang mengkombinasikan ozon (O_3) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Kombinasi ozon dan H_2O_2 pada metode peroxone bertujuan untuk meningkatkan dekomposisi ozon dan menghasilkan hidroksil radikal dengan konsentrasi tinggi. Hidroksil radikal tersebut yang akan mendegradasi limbah zat warna cair *rhodamine B*, sehingga oksidasi lebih reaktif dan lebih cepat dibandingkan dengan hanya menggunakan ozon. Karena senyawa radikalnya memiliki reaktivitas tinggi

terhadap limbah zat warna cair *rhodamine B*, maka senyawa yang dihasilkan dari pengolahan limbah yang menggunakan metode peroxone tersebut dapat lebih ramah lingkungan dan *biodegradable* dan tidak menimbulkan *sludge*.

DASAR TEORI

Pewarna *Rhodamine B*

Pewarna *rhodamine B* banyak digunakan oleh industri tekstil. Rhodamin B merupakan zat warna sintetik berbentuk serbuk kristal berwarna kehijauan, berwarna merah keunguan dalam bentuk terlarut pada konsentrasi tinggi dan berwarna merah terang pada konsentrasi rendah. Senyawa ini mengandung gugus amino yang bersifat basa dan memiliki inti benzen. *Rhodamine B* termasuk senyawa yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme secara alami. Masuknya zat warna *rhodamine B* dalam perairan merupakan permasalahan lingkungan yang serius. Zat warna akan mempengaruhi pH air lingkungan yang menyebabkan terganggunya mikroorganisme dan hewan air [3].

Rhodamine B merupakan pewarna yang biasa dipakai pada industri tekstil. *Rhodamine B* mempunyai berat molekul 479,06 g/mol dan mempunyai titik leleh 210-211°C. Senyawa ini mempunyai rumus molekul $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ dan mempunyai nama kimia N-[9-(2- karboksifenil)-6-(diethylamino)-3H-xanthene-3-ylidene]-N-ethyltetraethylammoniumchloride. *Rhodamin B* juga sering disebut Tetraethylrhodamin, D&C Red No 19, Rhodamin B klorida, C.I basic violet 10: Cl. 45170 [4].

Rhodamine B termasuk senyawa atau molekul yang memberikan warna akibat adanya gugus kromofor quinoid. Kuantitas warna yang ditimbulkan *rhodamine B* sangat tajam. *Rhodamine B* merupakan zat warna sintetik, yang mana proses pembuatannya melalui perlakuan pemberian asam sulfat dan asam nitrat yang sering kali terkontaminasi

oleh logam berat seperti arsen, atau logam berat lain yang bersifat racun [3]. *Rhodamine B* juga berikatan dengan klorin (Cl). Atom klorin merupakan senyawa halogen yang berbahaya dan reaktif. Jika *Rhodamine B* masuk ke dalam tubuh, maka senyawa ini akan berusaha mencapai kestabilan dalam tubuh dengan cara mengikat senyawa lain dalam tubuh, hal inilah yang bersifat racun bagi tubuh. Reaksi untuk mengikat ion klorida disebut sebagai sintesis zat warna [5].

Ozon

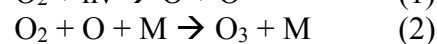
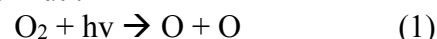
Ozon merupakan oksidator kuat yang sangat reaktif, berbau tajam dan merupakan bentuk tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (rumus kimia ozon adalah O_3). Ozon merupakan zat yang sangat beracun, lebih beracun dibanding sianida (KCN atau NaCN), striknina, dan karbon monoksida [6].

Pada suhu ruangan gas ozon berwarna biru, sedangkan pada saat proses pembangkitan gas ozon tidak berwarna [7]. Berdasarkan sifat fisiknya, ozon memiliki karakter tertentu. Hal tersebut ditunjukkan melalui Tabel 1.

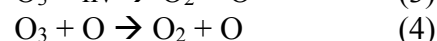
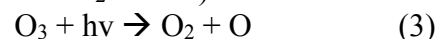
Tabel 1 Karakter Fisik Ozon [6]

Karakter Fisik	Nilai
Berat Molekul	48,0 g.mol ⁻¹
Titik Didih (101 kPa)	-111,9 °C
Titik Leleh	-192,7 °C
Tekanan Kritis	5,53 Mpa
Berat Jenis, Gas (0°C, 101 kPa)	2,144 Kg.m ⁻³
Berat Jenis, Cair (-122°C)	1358 Kg.m ⁻³
Tegangan Permukaan (-183°C)	3,84 x 10 ⁻² N.mm ⁻¹
Viskositas, Cair (-183°C)	1,57 x 10 ⁻³ Pa.s

Ozon dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Secara alami ozon dapat terbentuk melalui radiasi sinar ultraviolet (UV) pancaran sinar matahari yang mampu menguraikan gas oksigen di udara bebas. Molekul oksigen tersebut terurai menjadi dua buah atom oksigen (O^*) yang kemudian secara alami bertumbukan dengan molekul gas oksigen yang ada disekitarnya hingga terbentuklah ozon (O_3). Proses tersebut dikenal dengan nama photolysis. Interaksi dengan sinar UV tersebut merupakan hal terpenting dalam fungsinya sebagai perisai bumi. Ozon mudah menyerap sinar UV, terutama antara 240-320 nm kemudian mudah terurai kembali menjadi satu gas oksigen (O_2) dan satu atom oksigen (O^*). Ozon dapat bereaksi dengan atom oksigen (O^*) untuk regenerasi dua molekul gas oksigen (O_2) [6]. Seperti yang disajikan dari reaksi dan persamaan berikut :



(dimana M adalah O_2 atau N)

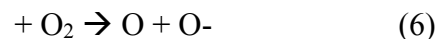


Secara buatan, ozon dapat terbentuk melalui dua proses yang berbeda yaitu melalui proses tumbukan dan melalui proses penyerapan cahaya. Melalui proses tumbukan, ozon dapat terbentuk melalui beberapa metode seperti Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP), Corona Discharge dan elektrolisis. Molekul oksigen mengalami ionisasi, yaitu proses terlepasnya suatu atom atau molekul dari ikatannya menjadi ion-ion oksigen (O^* , O_2^* , O^- , dan O_3^-). Molekul-molekul oksigen yang terionisasi ini biasa disebut dalam kondisi plasma. Pembuatan ozon dalam proses ini diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut :

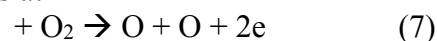
Disosiasi



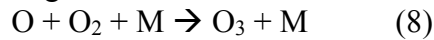
Pengikatan Disosiatif



Ionisasi Disosiatif



Kemudian radikal oksigen bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan ozon.



Dimana M adalah N₂ dan O₂

Sedangkan melalui proses penyerapan cahaya, ozon dapat terbentuk melalui metode seperti radiasi ultraviolet [6].

Selama proses ozonasi, ozon akan mengalami dekomposisi konsentrasi akibat dari reaksi-reaksi antar radikal maupun dengan senyawa non-radikal. Daya tahan molekul ozon terhadap kecepatan dekomposisi umumnya bergantung pada temperatur, akan tetapi juga bergantung terhadap intensitas cahaya, senyawa karbon (organik atau anorganik) dan pH [8]. Daya tahan ozon terhadap dekomposisi yang bergantung pada temperatur dideskripsikan sebagai waktu tinggal, pada 20°C ozon memiliki waktu tinggal sekitar 40 menit, pada 30°C menjadi 25 menit serta pada -50°C waktu tinggal ozon sekitar 3 bulan [9].

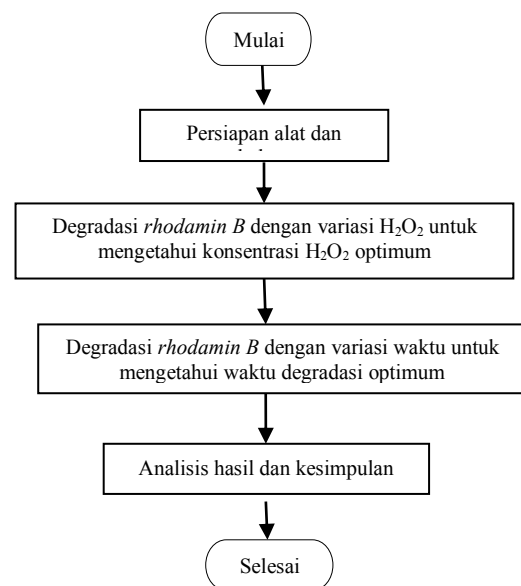
Berdasarkan proses reaksinya, ozon dibagi menjadi dua yaitu ozonasi tidak langsung dan ozonasi langsung. Ozonasi tidak langsung melibatkan senyawa radikal hidroksil. Radikal hidroksil dibentuk dari hasil dekomposisi ozon akibat adanya inisiator [8,10,11]. Senyawa radikal hidroksil akan menghasilkan reaksi berantai dan cepat karena sifatnya tidak selektif dibandingkan reaksi dengan ozon secara langsung. Akan tetapi, menurut Gottschalk pada tahun 2010 radikal hidroksil memiliki waktu tinggal yang singkat akibat dari reaksi ozonasi yang sangat cepat. Reaksi yang terjadi pada ozon dan senyawa hidroksil dapat dikatakan sebagai reaksi utama pada tahap inisiasi yang dilarutkan dalam air. Jika diinginkan adanya senyawa serta reaksi lain maka dibutuhkan adanya inisiator seperti UV yang mana membutuhkan fotolisis langsung terhadap ozon dengan menggunakan UV untuk membentuk senyawa radikal [12].

Ozonasi dilakukan secara langsung apabila reaksi ozonasi tidak langsung terhambat atau tidak dapat terinisiasi, hal tersebut dapat terjadi akibat tidak adanya

inisiator yang mengubah ozon menjadi radikal hidroksil serta akibat dari terjadinya reaksi ozonasi tidak langsung secara berantai dan sangat cepat. Kondisi derajat keasaman pada proses ozonasi akan menunjukkan tipe ozonasi. Apabila pH larutan bersifat asam (pH <4) proses akan menjadi ozonasi langsung, sedangkan apabila pH larutan bersifat basa (pH >10) proses ozonasi berubah menjadi ozonasi tidak langsung. Sementara itu, pada pH normal air (pH = 7) akan terjadi proses gabungan antara ozonasi langsung maupun ozonasi tidak langsung [8]. Pada ozonasi langsung, ozon merupakan oksidator utama yang digunakan sebagai oksidator.

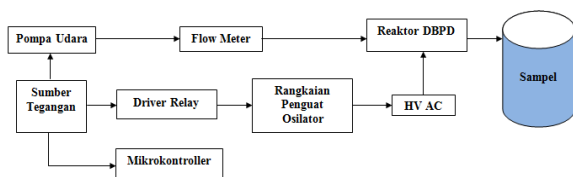
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam 4 tahap, yaitu karakterisasi tegangan dan arus terhadap frekuensi pada reaktor ozon, pengukuran konsentrasi ozon menggunakan titrasi idiometri, degradasi pewarna *Rhodamine B*, dan analisis hasil degradasi menggunakan spektrometer UV-Vis. Langkah-langkah penelitian ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Sistem ozonizer yang dilengkapi dengan kontrol waktu dan kontrol konsentrasi ozon ini dirancang menggunakan mikrokontroller Atmega 8535 untuk degradasi pewarna *rhodamine B* menggunakan metode peroxone. Pelelatan sistem ozonizer dibagi menjadi 3 bagian yaitu ozon generator, panel *timer*, dan wadah sampel sebagai tempat objek dilektakkan. Di dalam ozon generator terdapat reaktor ozon, pompa udara, dan pembangkit tegangan tinggi (HV) seperti terlihat pada diagram blok Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok sistem ozonizer

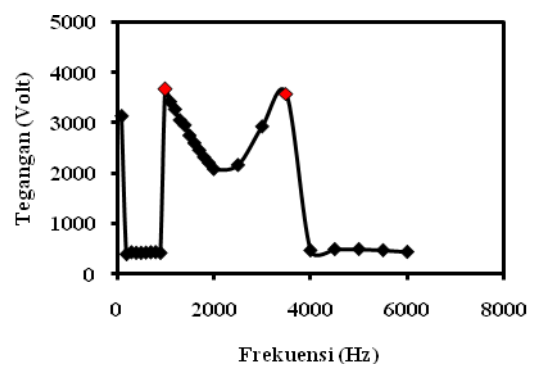
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi tegangan dan arus terhadap frekuensi pada reaktor ozon

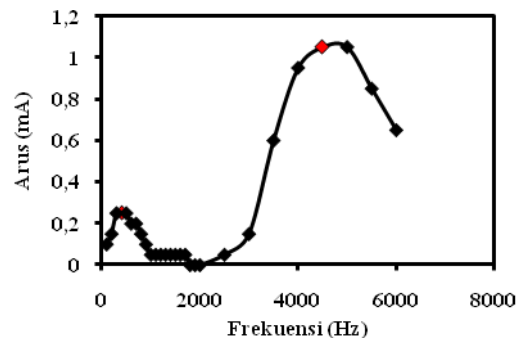
Pada sistem ozoniser digunakan 2 koil mobil yang disusun secara seri yang tidak diketahui jumlah lilitannya sehingga perlu dilakukan karakterisasi tegangan dan arus terhadap frekuensi untuk mengetahui daerah kerja optimalnya. Variabel yang digunakan adalah variasi frekuensi dari 100 Hz hingga 6000 Hz. Dari variasi frekuensi yang diberikan menghasilkan beberapa puncak tegangan dan arus yang menunjukkan daerah kerja koil optimum. Hasil karakterisasi tegangan dan arus terhadap frekuensi ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Seiring meningkatnya frekuensi pada *High Voltage*, tegangan dan arusnya tidak mengalami peningkatan yang konstan melainkan naik dan turun. Hal tersebut disebabkan karena koil yang digunakan merupakan koil mobil yang daerah kerjanya berbeda dengan koil pada *High Voltage* pada umumnya. Puncak grafik ditunjukkan dengan titik berwarna merah. Berdasarkan grafik karakteristik tegangan terhadap frekuensi

didapatkan dua puncak yang menunjukkan dua nilai tegangan maksimal yaitu sebesar 3664 Volt pada pada frekuensi 1000 Hz serta arusnya sebesar 0,05 mA. Kemudian 3576 Volt pada frekuensi 3500 Hz serta arusnya 0,6 mA. Berdasarkan grafik karakteristik arus terhadap frekuensi didapatkan dua puncak yang menunjukkan dua nilai arus maksimal yaitu 0,25 mA pada frekuensi 400 Hz serta tegangan 415 V dan 1,05 mA pada frekuensi 4500 Hz serta tegangan 488 V.



Gambar 3 Grafik karakteristik tegangan terhadap frekuensi

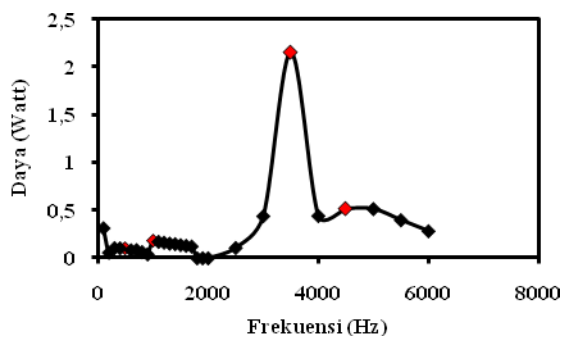


Gambar 4 Grafik karakteristik arus terhadap frekuensi

Jika nilai tegangan dan arus dikonversikan mejadi besaran daya (Watt) maka dapat diketahui daya maksimal pada generator ozon. Nilai daya maksimal tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan keluaran ozon maksimal. Gambar 5 menunjukkan grafik daya keluaran generator ozon dengan variasi frekuensi.

Seiring bertambahnya frekuensi daya yang dihasilkan naik turun. Pada frekuensi 400

Hz daya yang dihasilkan sebesar 0,104 Watt, pada frekuensi 100 Hz daya yang dihasilkan sebesar 0,183 Watt dan pada 4500 Hz daya yang dihasilkan sebesar 0,512 Watt. Daerah kerja generator ozon mencapai titik optimum pada frekuensi 3500 Hz dengan daya terbesar yaitu mencapai 2,146 Watt. Hal tersebut menunjukkan bahwa daerah kerja optimal generator ozon berada pada frekuensi yang menghasilkan daya terbesar yaitu 3500 Hz dengan nilai daya, tegangan dan arus sebesar 2,146 Watt, 3576 V dan 0,6 mA.



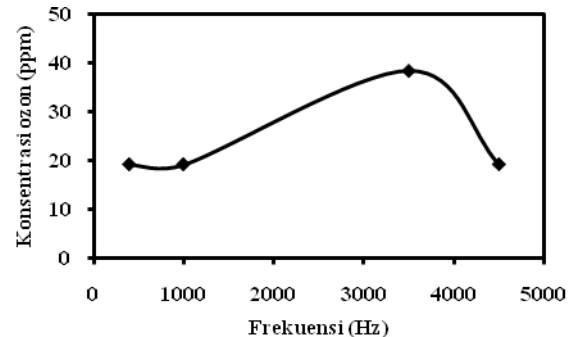
Gambar 5 Grafik daya keluaran generator ozon terhadap frekuensi

Pengukuran konsentrasi ozon menggunakan titrasi Idimetri

Jumlah atau konsentrasi ozon ditentukan secara tidak langsung melalui titrasi idimetri. Metode ini digunakan untuk dua tahap penelitian yaitu untuk menentukan konsentrasi ozon tertinggi yang dikeluarkan reaktor hasil karakteristik tegangan dan arus terhadap frekuensi serta mengukur konsentrasi ozon dengan variasi waktu pada frekuensi optimum yang didapat. Grafik konsentrasi ozon pada tiap titik puncak tegangan dan arus terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 6.

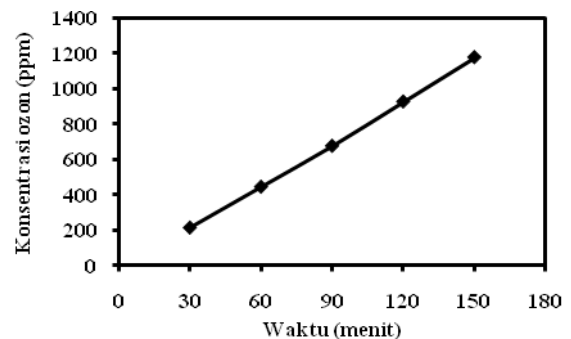
Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa generator ozon yang dibuat menghasilkan ozon maksimum 38,4 ppm pada frekuensi 3500 Hz dengan nilai tegangan 3576 Volt dan arus 0,6 Ampere. Keluaran ozon maksimum ini terjadi pada frekuensi generator ozon paling optimum, yaitu yang menghasilkan daya paling besar. Daya sebesar

2,15 Watt mampu mengeluarkan ozon 38,4 ppm dalam 10 menit.



Gambar 6 Konsentrasi ozon pada tiap titik puncak frekuensi

Dengan menggunakan frekuensi 3500 Hz dilakukan perlakuan selanjutnya. Pada frekuensi tersebut diukur kandungan ozonnya dengan variabel waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit hingga 150 menit. Grafik konsentrasi ozon tiap waktu ditunjukkan pada Gambar 7.



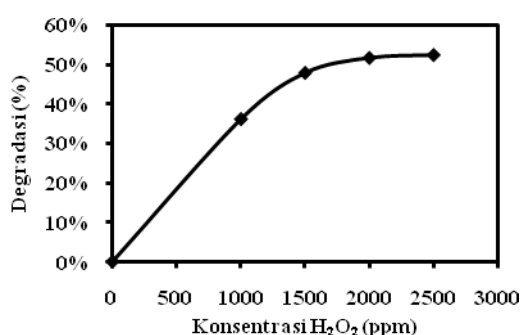
Gambar 7 Produksi ozon terhadap waktu

Gambar 7 menunjukkan hubungan waktu ozonasi terhadap ozon yang terbentuk dengan laju alir yang digunakan adalah tetap. Dari data yang diperoleh, tiap variable waktu yang digunakan menghasilkan konsentrasi ozon semakin meningkat dengan jumlah peningkatan yang hampir sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa ozon generator yang dibuat adalah stabil.

Pengaruh H₂O₂ pada proses degradasi Rhodamine B

Optimasi konsentrasi H₂O₂ dilakukan untuk mengetahui konsentrasi H₂O₂ paling optimal yang digunakan untuk degradasi limbah zar warna. H₂O₂ digunakan untuk menghasilkan OH radikal yang lebih banyak dari OH radikal yang terbentuk secara alami dalam proses ozonasi.

Degradasi dilakukan dengan metode peroxon dengan variasi kadar H₂O₂ sebesar 1000 ppm, 1500 ppm, 2000 ppm, hingga 2500 ppm. H₂O₂ dengan kadar tersebut masing-masing dilakukan ozonasi selama 10 menit sebanyak 50 mL. Setelah dilakukan ozonasi, sampel diuji menggunakan spectrometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimum, yaitu 550 nm. Grafik persentase degradasi rhodamine B dengan variabel konsentrasi H₂O₂ yang ditunjukkan pada Gambar 8.

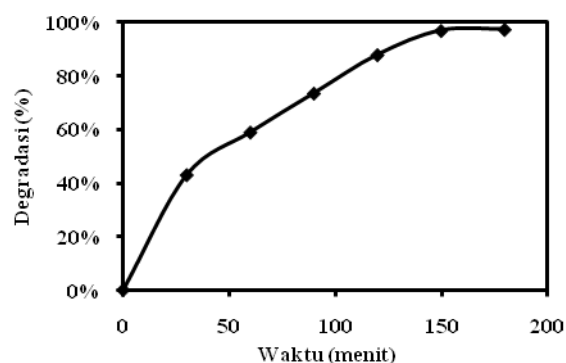


Gambar 8 Persentase degradasi rhodamine B dengan variabel konsentrasi H₂O₂

Seiring penambahan konsentrasi H₂O₂ dari 1000 ppm hingga 3000 ppm, persentase degradasi yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan oleh penambahan konsentrasi H₂O₂ dalam jumlah besar akan meningkatkan penyisihan warna. Persentase degradasi paling maksimal didapat pada konsentrasi H₂O₂ 2500 ppm yaitu mencapai 53%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa konsentrasi H₂O₂ paling optimum adalah sebesar 2500 ppm karena yang paling cepat mendegradasi pewarna rhodamine B.

Degradasi limbah Rhodamine B

Perlakuan selanjutnya adalah dengan menggunakan sampel rhodamine B 20 ppm sebanyak 50 ml dan H₂O₂ dengan konsentrasi 2500 ppm sebanyak 50 ml kemudian dilakukan ozonasi selama 180 menit. Persentase degradasi rhodamine B secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik degradasi rhodamine B

Degradasi rhodamine B pada 30 menit pertama telah mencapai 43%. Persentase degradasi terus naik seiring meningkatnya waktu degradasi. Semakin lama perlakuan ozonasi maka akumulasi konsentrasi ozon yang digunakan untuk mendegradasi pewarna rhodamine B juga semakin banyak.

KESIMPULAN

Sistem ozonizer untuk degradasi rhodamine B yang dilengkapi kontrol waktu berupa pengaturan durasi lama ozonasi bekerja dengan baik. Generator ozon optimal bekerja pada frekuensi 3500 Hz dengan daya 2,15 Watt, tegangan 3576 V dan arus 0,6 mA. Pemakaian konsentrasi H₂O₂ yang semakin besar akan meningkatkan tingkat penyisihan warna semakin besar pula. Persentase degradasi terbesar dicapai pada konsentrasi H₂O₂ sebesar 2500 ppm. Rhodamine B 20 ppm berhasil terdegradasi dengan persentase degradasi tertinggi yang mencapai 97% selama 150 menit. Persentase degradasi semakin naik

dan kepekatan warna *rhodamine B* semakin turun seiring meningkatnya waktu degradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arief, S., Safni, dan Roza, P., 2007. *Degradasi Senyawa Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan TiO₂ Hasil Sintesa Melalui Proses Sol-Gel*, Jurnal Riset Kimia, Vol.1, No.1, 64-70
- [2] Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektarand, G., dan Orhon, D., 1996. Color Removal from Textile Wastewaters. *Wat. Sci.Ted*, 34, 9-16.
- [3] Leksono, V.A., 2012. Pengolahan Zat Warna Tekstil Rhodamin B menggunakan Bentonit Terpillar Titanium Dioksida (TiO₂). Skripsi. ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga.
- [4] Erlin, P. B. 2008. Analisis Rhodamin B dalam Saos dan Cabe Giling di Pasar Kecamatan Laweyan Kotamadya Surakarta dengan Metode Kromatografi Lapis Tipis. Skripsi. Solo: Fakultas Farmasi UMS.
- [5] Purnamasari, D. dan Saebani, 2013. Pengaruh Rhodamine B Peroral Dosis Bertingkat Selama 12 Minggu terhadap Gambaran Histomorfometri Limpa : Studi pada Diameter Folikel Pulpa Putih Diameter Centrumgerminativum dan Jarak Zona Marginalis Limpa Tikus Wistar (Undergraduate Thesis). Diponegoro University. Semarang.
- [6] Syafarudin, A. dan Novia, 2013. Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia No. 2*, Vol. 19, April 2013.
- [7] O'Donnel, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., dan Rice, Rip G. 2012. *Ozone in Food Processing*. 1st ed, Blackwell Publishing Ltd. Chichester. UK.
- [8] Gurol, M.D. and Akata, A., 1996. Kinetics of ozone photolysis in aqueous solution. *AIChE Journal*, 42(11), pp.3283–3292.
- [9] Bocci, V., 2011. *Ozone : A new medical drug*. Taylor & Francis e-Library
- [10] Gottschalk, C., Libra, J. A. dan Saupe, A., 2000. *Ozonation of Water and Waste Water*. Wiley-VCH.
- [11] Lodge, J.P., 1983. *Handbook of Ozone Technology and Applications*. Atmospheric Environment (1967). doi:10.1016/0004-6981(83)90273-1.
- [12] Beltran, J.F., 2003, *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems*. 1st, CRC Press LLC. New York. USA.