

# STUDI PENGARUH JENIS WARNA, DAN WAKTU OZONASI TERHADAP PENURUNAN KEKERUHAN PEWARNA

Rosalina

Politeknik AKA Bogor, Jl. Pangeran Sogiri No.283, Tanah Baru, Bogor Utara, Jawa Barat, Indonesia

\*Email: rosalinahasan89@gmail.com

(Received : 1 November 2018; Accepted: 1 Desember 2018; Published: 1 Desember 2018)

## Abstrak

Penurunan kualitas air disebabkan adanya zat pengotor berupa warna di lingkungan perairan yang menyebabkan sinar matahari tidak bisa masuk sehingga menyebabkan fotosintesis tidak terjadi. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan mengolahnya dengan menggunakan oksidator kuat seperti ozon ( $O_3$ ). Ozon menghasilkan radikal hidroksil ( $OH\cdot$ ) yang akan bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik sehingga dapat menghilangkan zat warna organik maupun anorganik dalam air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis zat warna dan lama waktu ozonisasi untuk menghilangkan warna dan menurunkan kekeruhan pewarna dalam air. Penelitian menggunakan tiga jenis zat warna alami dari daun bayam, kunyit dan cabai serta pewarna tekstil hijau, kuning dan merah. Waktu pengamatan dibagi dalam interval waktu 15 menit sekali selama 2 jam. Hasil Penelitian menunjukkan pewarna cabe merah membutuhkan waktu paling lama (130 menit) untuk menurunkan kekeruhan dengan persen penurunan sebesar 93,20% sedangkan waktu yang paling cepat adalah pewarna merah tekstil dengan waktu 45 menit dan persen penurunan kekeruhan 97,65%.

*Kata kunci: : limbah sintetik pewarna; pewarna alami kunyit ,bayam dan cabai; pewarna tekstil kuning, hijau dan merah; Ozon; kekeruhan*

## Abstract

*The presence of dyes in the aquatic environment will cause decreasing in water quality because the dyes will blocking sunlight enter into the water, and prevent photosynthesis to occur. Ozone ( $O_3$ ) is a strong oxidizing agents that can overcome dyes pollution in water. Ozone produces hydroxyl radicals ( $OH\cdot$ ) which will react with organic and inorganic compounds that will eliminate organic and inorganic dyes in water. This study aims to determine the effect of the type of dyestuff and the time of ozonation to remove color and reduce turbidity in water. The study used three types of natural dyes from spinach leaves, turmeric and chili as well as green, yellow and red textile dyes. Observation time is divided into 15 minute intervals in two hours, The results of the study showed that red chili dye had the longest time (130 minutes) to reduce turbidity with a percentage decrease of 93.2% while the fastest time was textile red dye with a time of 45 minutes and a turbidity reduction percentage of 97.65%.*

*Keywords: dye synthetic waste; natural coloring of turmeric, spinach and chili; yellow;green and red textile dyes;Ozone; turbidity*

## PENDAHULUAN

Ozon adalah molekul yang terdiri atas tiga atom oksigen ( $O_3$ ) dan sebuah bentuk dari oksigen yang tidak stabil (Rubin, 2001). Tidak seperti oksidator umumnya, ozon merupakan zat pengoksidasi yang sangat kuat (*powerful oxidizing agent*) yang juga dapat berperan sebagai *non-chemical disinfectant*. Ciri-ciri dan spesifikasi ozon yaitu tidak beracun (*non-toxic*) dalam konsentrasi rendah, ramah lingkungan, relatif tidak berbahaya dan hampir serupa dengan oksigen (Hartono dkk., 2010). Ozon

merupakan oksidator kuat dengan nilai potensial oksidasi 2,08 eV. Ozon dapat terdekomposisi menjadi radikal hidroksil ( $OH\cdot$ ) dengan nilai potensial oksidasi 2,80 eV. Hal tersebut tersebut menunjukkan potensi ozon yang baru dapat mengoksidasi senyawa organik ataupun anorganik seperti warna dalam air dengan efektif dan efisien (Sururi dkk., 2012).

Adanya kontaminan warna dalam air dapat disebabkan oleh pewarna alami dan pewarna sintetik. Pewarna alami merupakan warna yang dapat dihasilkan dari berbagai jenis

tumbuhan penghasil pewarna alami yang dapat diperoleh dari bagian-bagiannya seperti pada daun, kulit batang, kulit buah, biji, akar dan bunga yang telah melalui beberapa proses yaitu direbus, dibakar, dimemarkan ditumbuk dan langsung digunakan. Menurut Husodo (1999) terdapat kurang lebih 150 jenis pewarna alami di Indonesia yang telah diidentifikasi dan digunakan secara luas dalam berbagai industri seperti pada komoditas kerajinan (kayu, bambu, pandan) dan batik (katun, sutra, wol). Menurut R.H.M.J. Lemmens dan Wulijarni-Soetjpto (1999) sebagian besar warna dapat diperoleh dari produk tumbuhan, pada jaringan tumbuhan terdapat pigmen tumbuhan penimbul warna yang berbeda tergantung menurut struktur kimianya. Golongan pigmen tumbuhan dapat berbentuk klorofil, karotenoid, flavonoid dan kuinon. Tumbuhan secara alami mengandung pigmen warna yang khas sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami.

Adapun zat pewarna tekstil sintesis yang umum digunakan adalah pewarna *direct*. Sifat pewarna *direct* adalah larut dalam air, sehingga dapat langsung dipakai dalam pencelupan serat selulosa seperti katun, rayon, dan rami. Pewarna *direct* relatif murah harganya dan mudah pemakaiannya. Pewarna *direct* merupakan pewarna tekstil dengan komposisi 87% azo tanpa logam, 5% azo kompleks logam, 5% stilben, oksazin 1% dan zat lain-lainnya 1% (Dede Karyana 2010: 8). Zat warna sintesis yang memiliki struktur aromatik akan sulit dibiodegradasi, khususnya zat warna reaktif karena terbentuknya ikatan kovalen yang kuat antara atom C dari zat warna dengan atom O, N atau S dari gugus hidroksi, amina atau thiol dari polimer. Zat warna ini umumnya mengandung senyawa azo atau turunannya yang mengandung gugus benzena yang sangat sulit didegradasi. Senyawa azo yang terlalu lama berada di lingkungan akan menjadi sumber penyakit karena sifat karsinogenik dan mutagenik. Oleh karena itu, perlunya proses pengolahan limbah zat warna tekstil sebelum limbah tersebut dilepas ke lingkungan (Christie, 2001). Selama ini penelitian tentang pencemaran pewarna di perairan hanya membahas tentang pencemaran air akibat pewarna tekstil beserta dampaknya terhadap lingkungan (Pratiwi. (2010); Astuti. (2008). , dan Agustina, *et. al* (2011)) namun belum banyak yang membahas tentang pengolahan pencemaran warna akibat pewarna alami dari limbah domestik. Selain itu bahaya yang ditimbulkan oleh pewarna alami di perairan juga perlu diteliti karena limbah pewarna alami yang dibuang ke sungai dibuang secara terus menerus dalam jumlah besar yang disumbang oleh penduduk di sekitar sungai sehingga mengganggu penetrasi sinar matahari.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk

menghilangkan warna air akibat pewarna alami (kunyit, cabe dan bayam) dan pewarna tekstil (kuning, merah dan hijau). Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui penurunan kekeruhan warna air setelah terkontaminasi warna dan setelah diolah dengan teknik ozonisasi.

## **BAHAN DAN METODE**

### **Bahan**

- Pewarna makanan hijau (Pasta)
- Pewarna alami hijau (daun bayam)
- Pewarna alami kuning (kunyit)
- Pewarna alami merah (cabai)
- Pewarna Tekstil hijau (Malachite Green)
- Pewarna tekstil merah (Rhodamin B)
- Pewarna tekstil kuning (Methanil Yellow)
- Akuadest

### **Alat**

- Pipet tetes
- Batang pengaduk
- Kaca arloji
- Gelas piala 250 mL
- Alat Ozonizer
- Turbidimeter
- pH meter

### **Cara Kerja**

#### **a. Pewarna Tekstil**

1. Pewarna tekstil hijau, merah dan kuning disiapkan,
2. Diukur pH dan kekeruhan masing-masing pewarna
3. Alat ozonizer dihidupkan dan dicuci
4. Satu sendok teh pewarna tekstil bubuk berwarna hijau, kuning dan merah dilarutkan ke dalam 150 mL akuades dalam gelas piala 250 mL dan aduk sampai merata.
5. Setelah warna merata dan lakukan ozonisasi
6. Perubahan warna diamati setiap 10 menit sampai warna dalam air benar benar hilang (jernih).
7. pH dan kekeruhan Diukur kembali dari masing-masing pewarna.

#### **b. Pewarna Herbal**

1. Pewarna alami yang terbuat dari ekstrak daun bayam, rimpang kunyit dan cabe giling disiapkan.
2. Satu sendok teh pewarna alami dilarutkan dengan akuades dalam piala gelas 250 mL.
3. Kepekatan pewarna alami dengan pewarna tekstil dibandingkan dengan cara meneteskan pewarna alami ke dalam kaca arloji sebanyak satu tetes dan dibandingkan dengan satu tetes pewarna tekstil yang telah diletakkan di kaca arloji.

- Pemekatan kemudian dilakukan dengan menambahkan pewarna ke dalam gelas piala berisi 250 mL akuadest sampai kepekatan warna sama dengan pewarna tekstil dan pewarna alami.
- Larutan pewarna kemudian diaduk sampai warna merata,
- pH dan kekeruhan masing-masing pewarna diukur dengan pH meter dan turbidimeter
- Alat ozonizer dihidupkan dan dicuci
- Ozonisasi dilakukan sampai warna sampel atau larutan menjadi jernih.
- Perubahan warna diamati setiap 10 menit sampai warna benar benar hilang (jernih).
- Diukur kembali pH dan Kekeruhan dari masing-masing pewarna.

Setelah nilai kekeruhan masing-masing sampel didapat, kemudian dihitung persen penurunan kekeruhan dengan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{Penurunan Kekeruhan} = \frac{K_1 - K_0}{K_1} \times 100\%$$

**Keterangan :**

$K_1$  = Kekeruhan awal

$K_0$  = kekeruhan hasil ozonisasi

## HASIL DAN DISKUSI

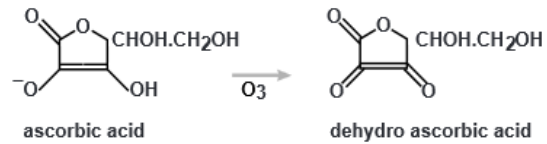
Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa pewarna alami cabe adalah pewarna alami yang paling sukar dihilangkan karena membutuhkan waktu 130 menit untuk berubah menjadi jernih, Tabel 1 memperlihatkan perubahan kekeruhan, pH dan waktu ozonisasi yang dibutuhkan untuk mendegradasi warna menjadi jernih.

Tabel 2 memperlihatkan warna yang terbentuk pada saat awal sebelum diozonisasi dan sesudah diozonisasi. Kepekatan warna tidak ditentukan dengan spektro karena tujuan penelitian ini lebih difokuskan untuk melihat penurunan kekeruhan dan pengaruh pH sebelum dan sesudah diozonisasi.

Berdasarkan hasil perhitungan persen penurunan kekeruhan yang tertera pada Tabel 1 diketahui bahwa efisiensi penurunan kekeruhan yang paling tinggi diperoleh dari pewarna merah tekstil sebesar 97.65% dengan waktu ozonisasi untuk degradasi warna selama 45 menit.

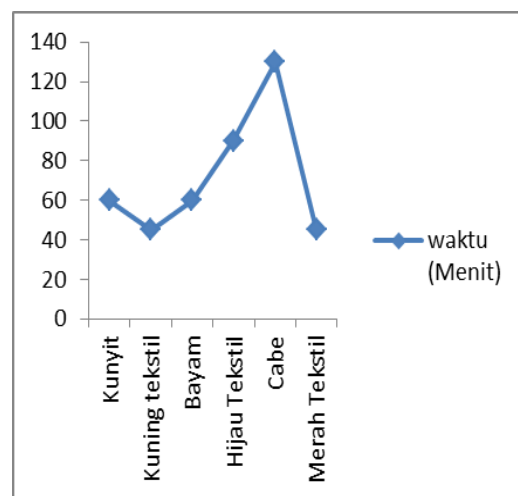
Berdasarkan Tabel 1 juga diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan pewarna alami cabe untuk berubah warna menjadi jernih adalah paling lama (130 menit) dibandingkan dengan pewarna alami kunyit dan bayam (60 menit) serta pewarna tekstil. Hal ini disebabkan adanya butiran biji cabe yang mengandung vitamin C (asam askorbat) menyebabkan larutan pewarna cabe merah sukar untuk kembali jernih dalam waktu yang singkat. Menurut Setiasih dkk, (2015) reaksi oksidasi pada cabe merah keriting

yang banyak mengandung vitamin C oleh ozon dapat menurun setelah hari keenam. Reaksi oksidasi vitamin C dalam cabe dengan ozon seperti pada Gambar 1 terjadi secara optimum di hari ke 6. Hal inilah yang menyebabkan warna cabe merah membutuhkan waktu yang paling lama untuk berubah menjadi jernih karena kandungan vitamin C pada biji cabe.



Gambar 1. Reaksi Oksidasi Vitamin C Cabe oleh Ozon

Berdasarkan Gambar 2 untuk pada pewarna tekstil yang paling lama berubah warna menjadi jernih adalah pewarna tekstil hijau daun yang memerlukan waktu 90 menit untuk kembali menjadi jernih. Perubahan warna hijau tekstil menjadi lama karena pewarna tekstil hijau daun *malachite green* merupakan zat warna jenis *triphenylmethane* (C<sub>23</sub> H<sub>26</sub> N<sub>2</sub>O, Cl) yang terdegradasi melalui dua jalur yang panjang seperti terlihat pada Gambar 3. Pertama melibatkan serangan radikal hidroksil pada atom pusat *malachite green* (1) menghasilkan radikal kationik reaktif (2) yang berikatan antara atom pusat karbon dan N,N-dimethylamino cincin fenil, terbelah menjadi N,N dimetil-benzenamine (3) dan 4-dimethyl amino-benzofenon dioksidasi menjadi 4-nitrobenzofenon (10) dikonversi menjadi benzofenon (11) dan NO<sub>3</sub>. Pembelahan benzaldehida menghasilkan benzofenon (15) dan benzena (16). Jalur kedua melibatkan radikal hidroksil menyerang kelompok N, N-dimethylamino *malachite green* memberikan sebuah radikal kationik reaktif (12) dimethylation selanjutnya dan oksidasi akhirnya menghasilkan benzenamine dan 4-amino-benzofenon (2) (Berberidou *et al.*, 2007).




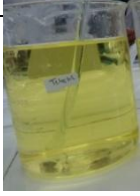

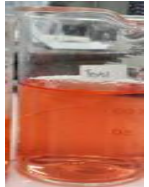




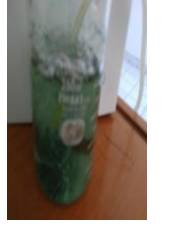


























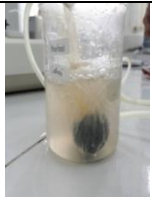
Gambar 2. Pengaruh waktu penghilangan warna dan jenis pewarna

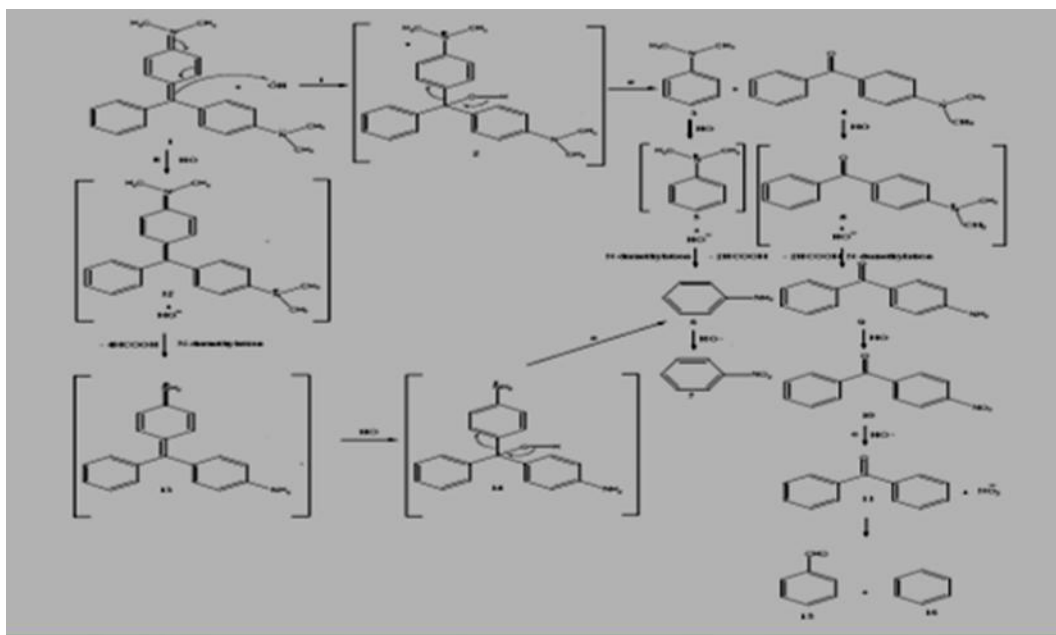
Tabel 1. Hasil pengamatan pH, Kekeruhan dan Waktu Perubahan Warna serta % Penurunan Kekeruhan

Parameter	Kunyit	Kuning tekstil	Bayam	Hijau Tekstil	Cabe	Merah Tekstil
pH Awal	4,5	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5
pH Akhir	5	5	5	5	5	5
Kekeruhan Awal (NTU)	973	177	534,5	185	241	188
Kekeruhan Akhir (NTU)	33,5	4,45	39,5	4,46	36,3	4,42
% penurunan kekeruhan	96,56	97,49	87,00	97,59	93,20	97,65
Waktu (menit)	60	45	60	90	130	45

Tabel 2. Hasil Pengamatan Perubahan Warna

Waktu (Menit)	Pewarna Alami			Pewarna Tekstil		
	Kunyit	Bayam	Cabe	Kuning	Hijau	Merah
0						
15						
30						
45						
60						

Waktu (Menit)	Pewarna Alami			Pewarna Tekstil		
	Kunyit	Bayam	Cabe	Kuning	Hijau	Merah
75						
90						
105						
130						



Gambar 3. Reaksi Oksidasi Malachite Green (Berberidou *et al.*, 2007)

Proses oksidasi *Malachite Green* akan lebih efektif terjadi pada pH basa yaitu pada pH 9-10 (Bhernama, 2017). Oleh karena pH sampel sebelum diozonisasi dalam kondisi asam

sehingga menyebabkan laju degradasi warna berjalan lambat.

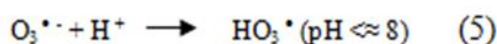
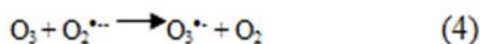
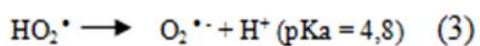
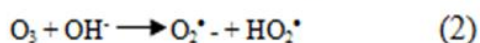
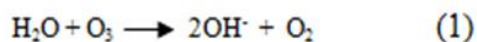
Adapun untuk pewarna alami (bayam) waktu yang dibutuhkan adalah selama 60 menit. Waktu yang diperlukan oleh pewarna hijau



bayam lebih sedikit dari pewarna hijau tekstil disebabkan karena pewarna alami hijau yang digunakan diperoleh dari bayam sehingga mengandung zat-zat organik seperti klorofil b dengan rumus molekul  $C_{55}H_{20}O_6N_4Mg$  yang tidak larut dalam air. Klorofil b pada kondisi asam akan menghilangkan ion Mg dan diganti dengan 2 atom H sehingga berwarna coklat dan klorofil b dalam air akan terhidrolisis mengakibatkan gugus fitol terputus sehingga membentuk feoforbida yang lebih larut dalam air dibanding klorofil (Morris, 2008). Hal inilah yang menyebabkan pewarna alami bayam gampang terurai oleh ozon dibanding pewarna hijau tekstil.

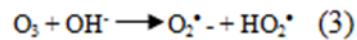
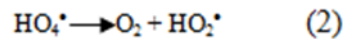
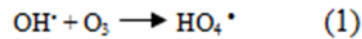
Penghilangan warna pada kunyit membutuhkan waktu selama 60 menit lebih lama dibandingkan dengan pewarna tekstil kuning (45 menit). Perbedaan waktu ini disebabkan karena kunyit mengandung senyawa kurkumin yang tidak larut dalam air pada pH di bawah 7. Kurkumin mengandung molekul asam ferulat dengan C terikat melalui jembatan metilen pada atom C karbonil dengan rumus molekul  $C_{21}H_{20}O_6$  (Stancovic, 2004). Kurkumin bersifat kurang larut dalam air pada kondisi asam. Kecepatan degradasi warna kurkumin meningkat dengan meningkatnya pH di atas 7,45 (Rymbai, dkk, 2011). Hal inilah yang menyebabkan warna kuning kunyit dari kurkumin lebih sukar hilang dibandingkan dengan pewarna kuning tekstil karena kondisi sampel pewarna yang mempunyai pH asam.

Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa sampel bahan pewarna baik alami maupun sintetik mempunyai pH asam (4.5-5,5) sebelum dilakukan ozonisasi untuk sampel pewarna bayam, kunyit dan cabe mempunyai pH sebesar 4,5 dan setelah dilakukan ozonisasi terjadi kenaikan pH menjadi 5 sedangkan pada pewarna tekstil terjadi penurunan pH yang awalnya pH 5,5 menjadi 5. Perubahan pH sangat berpengaruh terhadap degradasi warna oleh ozon. Menurut Chu dan Ma [25] ozon mendominasi proses oksidasi di air pada pH rendah,  $O_3$  akan menumpuk di fase air ke konsentrasi yang lebih tinggi (mis., saturasi  $O_3$  yang lebih tinggi konsentrasi pada pH rendah). dengan reaksi sebagai berikut:



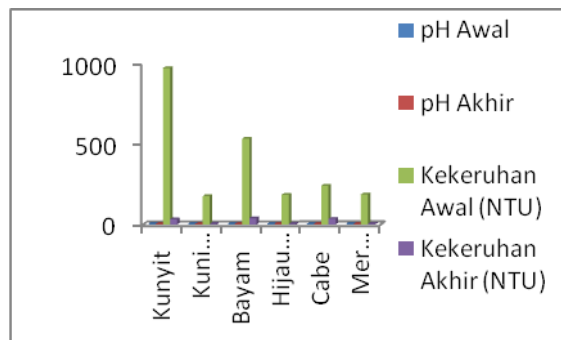
(sumber : Gujer dan Gunten (2003))

Adapun radikal hidroksil menunjukkan efek degradasi lebih signifikan pada pH tinggi. Laju dekomposisi yang lebih lambat (mis., Reaksi  $O_3$  dengan  $OH^\cdot$  lebih sedikit melimpah) Oleh karena efeknya yang lebih luas, reaksi antara  $O_3$  dengan  $OH^-$  terjadi pada pH yang lebih tinggi seperti pada reaksi berikut :



(sumber : Gujer dan Gunten (2003))

Pada konsentrasi *steady state* ozon dalam air ditekankan sementara radikal hidroksil lebih banyak diproduksi pada pH yang lebih tinggi. Hubungan ini meengaruhi penghapusan warna di fase air dalam dua keadaan berikut: (1) hidroksil radikal mendominasi proses oksidasi dalam kondisi pH tinggi, dan (2) Menurut Shriram dan Kanmani, 2015, molekul ozon mendominasi proses oksidasi di bawah pH rendah kondisi. Kemampuan oksidasi radikal hidroksil secara signifikan melebihi molekul ozon karena potensial oksidasi radikal hidroksil lebih tinggi daripada ozon seperti pada kasus *methanil yellow* dengan tingkat dekolourisasi tertinggi terjadi pada pH 10. Liu *et al.* (2002) juga menunjukkan bahwa kemampuan dekolourisasi ozon lebih tinggi pada pH rendah untuk pewarna tertentu seperti pada molekul kromofor *Blue-19*.



Gambar 4. Penurunan pH dan Kekeruhan pada Berbagai Bahan Pewarna

pH awal larutan berpengaruh terhadap kestabilan warna sehingga mempengaruhi lama waktu berubahnya larutan menjadi jernih. Hal ini terjadi karena kondisi pH awal sangat berpengaruh pada proses ozonisasi terhadap persentasi hasil penurunan kekeruhan pada sampel. % penurunan kekeruhan yang paling tinggi sebesar 97.65% dari pewarna merah tekstil dengan pH awal 5,5 dalam waktu 45 menit sedangkan yang paling kecil % penurunan kekeruhan didapat sebesar 87% dengan pH awal 4,5 dan waktu penghilangan warna selama 60 menit pada bayam. Perbedaan % penurunan

kekeruhan ini terjadi karena pada proses ozonisasi kondisi pH awal sampel yang berbeda akan menyebabkan reaksi yang berbeda pula ketika ozon mendegradasi senyawa pewarna dalam sampel. Saat kondisi pH asam terjadi reaksi langsung (*direct selective reaction*) oleh ozon. Adapun saat kondisi basa terjadi reaksi tidak langsung (*indirect selective reaction*) dengan pembentukan senyawa radikal bebas ( $\text{OH}^\bullet$ ) dari dekomposisi ozon ( $\text{O}_3$ ) (Bismo dkk, 2008). Oleh karena kondisi pH awal bersifat asam menyebabkan ozon dapat mengoksidasi senyawa organik rhodamin B ( $\text{C}_{28}\text{N}_{31}\text{N}_2\text{O}_3\text{Cl}$ ) yang terdapat dalam pewarna merah. Selain itu ozon juga memiliki sifat selektif namun sangat reaktif sehingga memungkinkan ozon dapat mempercepat proses dalam memutuskan ikatan senyawa gugus kromofor quinoid (Barka *et al.* 2008) yang terdapat dalam rhodamin B yang menyebabkan degradasi molekul besar quinoid menjadi molekul yang lebih kecil sehingga memungkinkan terjadinya pengurangan konsentrasi warna merah namun tidak secepat dalam pH basa (Rizqa, 2009). dan Putri, (2016) Ratnawati, (2011).

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH sampel pewarna setelah ozonisasi tidak berubah secara signifikan, Pewarna alami cabe membutuhkan waktu selama 130 menit untuk berubah menjadi jernih dengan persen penurunan kekeruhan sebesar 93,20%. Adapun pewarna tekstil merah membutuhkan waktu yang paling singkat yaitu 45 menit dengan persen penurunan kekeruhan tertinggi sebesar 97,65%. pH awal dan bahan aktif dari setiap pewarna akan sangat mempengaruhi kecepatan degradasi warna dan % penurunan pewarna.

### Saran

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol pH yang tepat dan intensitas warna yang terukur diperlukan untuk mendapatkan jenis degradasi warna yang lebih spesifik secara optimal. Dengan demikian hasil degradasi warna akan lebih jelas diketahui pada rentang pH tertentu dan pada intensitas warna dengan panjang gelombang yang tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. E., Nurisman, E., Haryani, N., Cundari, L., Novisa, A., & Khristina, O. 2011. Pengolahan air limbah pewarna sintesis dengan menggunakan reagen fenton.

Astuti, D. 2008. Aktivitas fotokatalitik titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) untuk degradasi bahan pewarna tekstil jenis procion red mx-8b.

Barberidou, C. Poulivos, I. Xekoukoulotakis, N. P. Mantzavinos, D. 2007. Sonolytic, photocatalytic and sonophotocatalytic

degradation of malachite green in aqueous solutions. *Applied Catalysis B : Environmental*. Elsevier. 63 – 72.

Bismo, S. Kustiningsih, I, Jayanudin, Haryanto, F, Saptono, HJ. 2008. *Studi Awal Degradasi Fenol dengan Teknik Ozonisasi di dalam Reaktor Annular*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN : 1411 – 4216. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang

Chu W, Ma C.W. 2000. Quantitative prediction of direct and indirect dye ozonation kinetics, *Water Res.* 34 (12) 3153–3160

Christie, R.M., 2001, *Colour Chemistry*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, Great Britain.

Dede Karyana, S.Teks, M.Si. 2008. Pedoman Praktikum Laboratorium Evaluasi Kimia. Bandung : Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil

Gujer, W.U. Gunten, V 2003 A stochastic model of an ozonation reactor. *Water Res.*, in press

Husodo, T. 1999. Peluang Zat Pewarna Alami untuk Pengembangan Produk Industri Kecil dan Menengah Kerajinan dan Batik. Yogyakarta: Departemen Perindustrian dan Perdagangan

Hartono, R., Jayanudin, & Salamah. 2010. Pemutihan pulp Eceng Gondok Menggunakan Proses Ozonasi. Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses *ISSN : 1411 – 4216*. Universitas Diponegoro, Semarang.

Lemmens, H. M. J. dan Wulijarni, S. 1999. Tumbuhan Penghasil Pewarna dan Tanin. Sumber Daya Nabati Asia Tenggara, No 3 Jakarta: Balai Pustaka

Liu B.W., Chou M.S., Kao C.M., Huang B.J. 2002, Evaluation of the optimal operational parameters for the decolorization of dye finishing wastewater using ozone/UV, *Proceedings of the International Conference of Ozone Science and Engineering: Environmental Processes and Technological Applications*, , pp. 306–313.

Morris R, 2008. *Amaranthus hybridus, Amaranthus gangeticus, Amaranthus spinosus and amaranthus biltum*. England; Plant for a future.

Barka, N., Qourza, S., Assabane, A., Nounah, A., Ait-ichou, Y., 2008. Factors Influencing the Photocatalytic Degradation of Rhodamine B by  $\text{TiO}_2$ -Coated Non-Woven Paper, *Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry*, No. 195, 346-351, Maroc

Prasetyo, A Nur, M, Muhlisin, Z dan Purnomo, S. 2015. Pengaruh Ozon Yang Dibangkitkan Menggunakan Reaktor Dielectric barrier discharge plasma (Dbdp) Terhadap konsentrasi oksigen terlarut, kesadahan, dan pH Pada air murni Youngster *Physics Journal*. ISSN : 2302 - 7371. Vol. 4, No. 3, Juli, Hal 237 - 242 UNDIP, Semarang

Pratiwi, Y. 2010. Penentuan tingkat pencemaran limbah industri tekstil berdasarkan nutrition

- value coefficient bioindikator. *Jurnal Teknologi*, 3(2), 129-137.
- Putri, K. Andrio, D, Yenie, E.. 2016. *Pengaruh pH dan Waktu Kontak Ozonisasi Terhadap Biodegradability Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi*. JOM FTEKNIK Volume 3, No. 1, Februari 2016. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Pekanbaru.
- Rizqa, M. N. 2009. *Penurunan Kadar COD, TSS dan Warna Limbah Cair Industri Tekstil Sasirangan dengan Metode Ozonisasi*. STTL. Yogyakarta
- Ratnawati, E. 2011. *Pengolahan Limbah Penyamakan Kulit dengan Metode Ozonasi Katalitik*. Majalah Forum Ilmiah UNIJA Vol. 15, No. 01, Januari 2011. ISSN : 1410-5586. Program Studi Teknik Kimia, Institut teknologi Indonesia. Tangerang Selatan.
- Rymbai, H., Sharma, R.R., and Srivasta, M. 2011. Bio-colorants and Its Implications in Health and Food Industry–A Review. *International Journal of Pharmacological Research*, 3: 2228-2244.
- Shriram B and Kanmani S.. 2015 *Ozonation of Textile Dyeing Wastewater — A Review*. *Centre for Environmental Studies, Anna University, Chennai*
- Setiasih, IS, Rialita, T, Sumanti, DM, Hanidah I, Nurzaman MR,Dargawan AY. 2015. *Karakterisasi Cabe Merah (Capsicum Annuum L) Hasil Ozonisasi dengan Ozonizer TIP-1*. Prosiding Seminar Nasional PATPI. Unpad Bandung
- Sururi, M.R., Pharmawati, K., dan Paramanita, 2012, Penyisihan Bahan Organik Alami pada Air Permukaan dengan Ozonisasi dan Ozonisasi-Filtrasi, *J.Purifikasi*, 13 (1): 1-8.
- Stancovic.2004. Chemical and Technical Assessment of Curcumin. 63<sup>th</sup> JECFA 100-5