

PENGARUH pH DAN KONSENTRASI ZAT WARNA PADA PENGURAIAN ZAT WARNA *REMAZOL NAVY BLUE SCARLET* DENGAN TEKNOLOGI AOP

Nur Rohmah¹⁾, Dr. Anto Tri Sugiarto²⁾

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia¹⁾

Komplek LIPI, Jl. Cisitua No.21/154D, Bandung, 40135

Telepon (022) 2504770, 2503055 ekst 1414, Fax (022) 2504773

E-mail : nur.rohmah@lipi.go.id¹⁾

Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia²⁾

Komplek Puspiptek Serpong, Tangerang, 15314

Telepon (021) 7560533, 7560568 ekst 3088, Fax (021) 7560571

E-mail : antotri@kim.lipi.go.id²⁾

Abstrak

Proses pencelupan kain pada zat warna dalam industri tekstil menghasilkan limbah cair yang masih banyak mengandung zat warna, karena hanya 30-70% zat warna reaktif azo yang terserap pada kain dan sisanya sebagai air buangan tekstil. Limbah berwarna dapat mengganggu proses fotosintesis dalam air dan mengganggu estetika. Teknologi AOP (Advanced Oxidation Processes) yang menghasilkan hidroksil radikal dapat mengoksidasi salah satunya pewarna. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pH dan konsentrasi zat warna terhadap penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet pada limbah artifisial yang mengandung zat warna tersebut dengan teknologi AOP kombinasi ozon dan UV. Penelitian dilakukan dengan cara mengontakkan limbah artifisial dengan reaktor AOP kombinasi ozon dan UV (UV 254 nm/O₃ 13,75 g/m³) pada variasi pH yaitu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan variasi waktu kontak 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit. Untuk variasi konsentrasi warna yaitu 60, 80, 100, 120 ppm dengan variasi waktu kontak 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit. Hasil efisiensi variasi pH terbaik diperoleh pada pH 2 di menit ke-16 yaitu 99,21%. Namun apabila diterapkan dalam pengolahan limbah industri tekstil, maka pH yang terbaik adalah pH 10, karena dalam waktu singkat 2-10 menit dapat mencapai efisiensi sebesar 80,75% – 98,30%, sehingga dapat menghemat biaya operasional. Selain itu, sebagian besar limbah tekstil yang dihasilkan oleh industri tekstil berada pada pH 12, sehingga tidak efisien apabila harus diolah pada pH 2. Sedangkan, hasil efisiensi variasi konsentrasi zat warna terbaik diperoleh pada konsentrasi zat warna 100 ppm dan 120 ppm di menit ke-16 yaitu 99,24%. Namun secara keseluruhan hasil efisiensi terbaik pada tiap waktunya, efisiensi terbaik adalah pada konsentrasi zat warna 100 ppm.

Kata Kunci : pengaruh pH, pengaruh konsentrasi zat warna, efisiensi penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet, AOP.

PENDAHULUAN

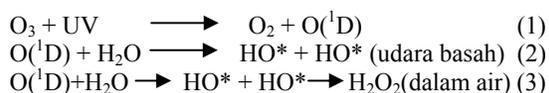
Proses pencelupan kain pada zat warna dalam industri tekstil menghasilkan limbah cair yang masih banyak mengandung zat warna dan zat penunjang proses pencelupan. Hal ini dikarenakan tidak terserapnya seluruh warna ke dalam kain. Zat warna reaktif banyak digunakan dalam industri tekstil, karena kilap warnanya yang lebih baik. Salah satunya yaitu *Remazol Navy Blue Scarlet*. Sekitar (30-70)% zat warna reaktif azo yang digunakan akan terfiksasi pada kain dan

sisanya sebagai air buangan tekstil [Bumpus, 1995 dikutip dari Ambrosio, 2004]. Selain warna, kandungan lain yang terdapat dalam limbah tekstil antara lain *fenol*, *amoniak*, dan sebagainya. Di antara karakteristik-karakteristik tersebut, warna merupakan masalah yang masih mendapatkan perhatian yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena warna yang mencemari badan air dapat mengganggu proses fotosintesis karena intensitas cahaya matahari tidak dapat masuk. Selain itu, limbah berwarna juga mengganggu nilai estetika.

Proses pengolahan limbah berwarna hasil industri tekstil ada bermacam-macam, diantaranya yaitu proses oksidasi. Salah satu metode oksidasi yang telah dikembangkan adalah *Advanced Oxidation Processes* (AOP). Teknologi AOP adalah satu atau kombinasi dari beberapa proses seperti *ozone (O₃)*, *hydrogen peroxide*, *ultraviolet light*, *titanium oxide*, *photo catalyst*, *sonolysis*, *electron beam*, *electrical discharges* serta beberapa proses lainnya untuk menghasilkan hidroksil radikal [Sugiarto, 2004]. Komponen yang bisa teroksidasi oleh hidroksil radikal, diantaranya adalah pewarna (*anthraquinone*, *diazo*, *monoazo*), asam, alkohol, aldehid, aromatik, eter, keton [Bigda, 1995 dalam Rodriguez, 2003].

Teknologi AOP yang banyak diaplikasikan adalah kombinasi dari ozon dan *ultraviolet*. Kombinasi ozon dan *ultraviolet* sangat potensial untuk mengoksidasi berbagai senyawa organik maupun anorganik yang terkandung di dalam limbah cair.

Proses AOP O₃-UV menggunakan foton UV untuk mengaktifkan molekul ozon, yang kemudian membentuk radikal hidroksil [Zhou, 2000]. Reaksi proses O₃-UV dalam menghasilkan radikal hidroksil adalah sebagai berikut [Tchobanoglous, 2003] :



Dengan O^{(1)D} adalah atom oksigen tereksitasi, dikenal juga sebagai singlet oksigen [Tchobanoglous, 2003]. Radikal hidroksil (OH*) adalah oksidator kimia yang sangat kuat, tidak selektif dan bereaksi cepat dengan berbagai komponen organik [Munter, 2001].

Dengan kemampuan hidroksil radikal pada teknologi AOP yang dapat mendestruksi komponen pewarna, diharapkan dapat menurunkan kadar zat warna pada limbah cair industri tekstil ini. Keuntungan penggunaan teknologi ini adalah selain mudah dioperasikan dan penggunaan lahan yang kecil juga teknologi ini tidak menghasilkan lumpur yang berbahaya.

Dalam makalah ini akan dibahas penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pH terhadap penguraian zat warna *Remazol Navy Blue Scarlet* pada limbah artifisial yang mengandung zat warna *Remazol Navy Blue Scarlet* dengan teknologi AOP kombinasi ozon dan UV.

Pada penelitian terdahulu, telah dilakukan penguraian limbah warna dengan cara *Advanced Oxidation Processes (AOPs)* dengan menggunakan limbah tekstil, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Penguraian warna yang dilakukan dengan menggunakan UV/O₃ untuk penguraian limbah tekstil warna *Reactive Red 45* penguraiannya sebesar 87% untuk waktu 15 menit dan 99% untuk waktu 30 menit [Igor Peternel, 2005]
- Penguraian warna yang dilakukan dengan menggunakan UV/O₃ untuk penguraian limbah

tekstil CV. Prisma Dwi Lestari untuk waktu 11 menit di dapat persen penguraiannya warna sebesar 66,08% [Elma Fitria, 2006]

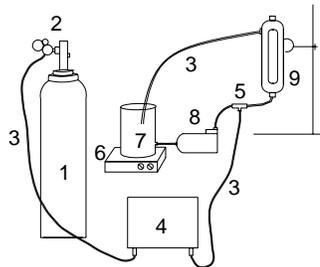
METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan peralatan percobaan dan analisa meliputi:
 - Tabung gas oksigen, regulator, dan selang penghubung
 - *Ozone generator (masuda research)*
 - *Injector ozon (venturi)*
 - Tangki limbah, *Magnetic stirrer*, pompa
 - *Electronic ballast box for T-3000*, 180 volt-240 volt / 50 Hz.254 nm
 - Reaktor AOP kombinasi ozon dan UV
 - Peralatan gelas, berupa pipet tetes, pipet ukur, pipet volume, labu takar, *beakerglass*, *erlenmeyer*, gelas ukur
 - Piler, stopwatch, kertas saring *whatmann*, botol aquadest
 - *Spectrofotometer Hach & pH indikator*
 - Timbangan kimia (analitis)
- b. Pembuatan sampel limbah tekstil artifisial
Sampel limbah yang digunakan adalah limbah tekstil artifisial yang dibuat dengan cara mencampurkan aquadest dan zat warna *Remazol Navy Blue Scarlet* yang berbentuk bubuk dengan konsentrasi sebesar 80 ppm. Pemilihan konsentrasi diambil berdasarkan penggunaan umum industri tekstil berkisar 100-120 ppm. Asumsi hanya 30% yang terserap, maka 70% lainnya menjadi buangan limbah yaitu berkisar 80 ppm.
- c. Penentuan panjang gelombang
Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan alat *Spektrofotometer Scan Analysis Carray 50 Variant* terhadap warna *Remazol Navy Blue Scarlet*.
- d. Pembuatan kurva kalibrasi
Setelah diketahui panjang gelombang warna maksimum warna *Remazol Navy Blue Scarlet*, maka dibuat kurva kalibrasi dengan menggunakan rentang konsentrasi 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 ppm. Pembuatan kurva kalibrasi ini dimaksudkan untuk mencari hubungan antara absorban (Y) dan konsentrasi zat warna (X) yang nantinya akan memberikan suatu nilai persamaan garis.
- e. Penentuan pH optimum
Pada penelitian ini variasi pH yang digunakan adalah 2, 4, 6, 8, 10, dan 12, untuk menaikkan pH menggunakan larutan *NaOH 1N* kemudian untuk menurunkan pH menggunakan larutan *HCl 1N*. Limbah buatan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tangki penampung untuk kemudian dipompa ke reaktor AOP, sebelum masuk reaktor AOP limbah diinjeksi dengan ozon yang berasal

dari oksigen yang diubah menjadi ozon melalui ozon generator. Di dalam reaktor AOP limbah yang sudah diinjeksi dengan ozon disinari dengan UV untuk mengaktifkan molekul ozon menjadi hidroksil radikal, kemudian limbah diolah dengan variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit. Setelah 2 menit diambil 10 ml limbah dan masukkan ke dalam *kuvet* selanjutnya diencerkan dengan *aquadest* 10 ml (volume *kuvet* 20 ml). Kemudian memasukkan *kuvet* tersebut ke dalam *spektrofotometer* untuk mengetahui absorbannya. Untuk waktu 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit dilakukan seperti 2 menit pertama. pH optimumnya adalah pH dengan penguraian warna *Remazol navy blue scarlet* yang terbaik.

Adapun rangkaian penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Skema percobaan penguraian zat warna dengan metode AOP

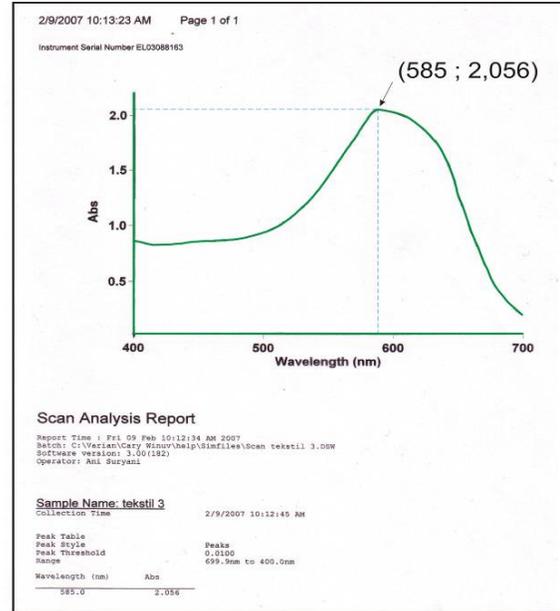
Keterangan:

4. Tabung Oksigen
5. Regulator Oksigen
6. Selang Penghubung
7. Generator Ozon
8. Injector Venturi
9. Magnetic Stirrer
10. Reaktor Limbah
11. Pompa
12. reaktor Ozon-UV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan panjang gelombang maksimum

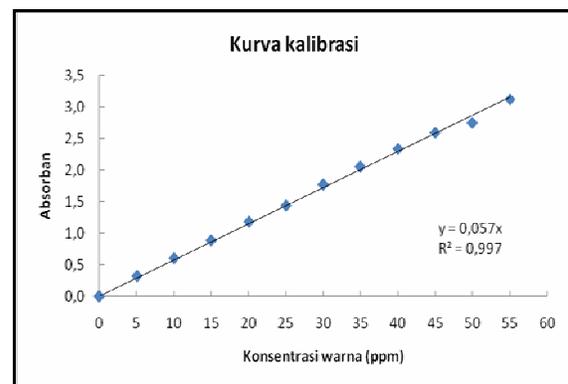
Hasil scan analysis dengan menggunakan *Spektrofotometer Carray 50 Variant* untuk mengetahui panjang gelombang maksimum warna *Remazol Navy Blue Scarlet* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Panjang gelombang *Remazol Navy Blue Scarlet*

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa panjang gelombang puncak terdapat pada panjang gelombang 585 nm dengan nilai absorbansi 2,056 yang merupakan panjang gelombang maksimum warna *Remazol Navy Blue Scarlet*. Dengan demikian tahap penelitian selanjutnya menggunakan panjang gelombang 585 nm.

Pembuatan kurva kalibrasi warna *Remazol Navy Blue Scarlet*



Gambar 3. Kurva Kalibrasi *Remazol Navy Blue Scarlet*

Untuk mengetahui konversi nilai absorbansi menjadi nilai konsentrasi warna *Remazol Navy Blue Scarlet*, maka dibuat kurva kalibrasi yang berupa persamaan linier dengan panjang gelombang 585 nm. Pada pembuatan kurva kalibrasi ini, konsentrasi warna yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, dan 55 (ppm). Konsentrasi 55 ppm adalah konsentrasi maksimal yang bisa dibaca oleh

spektrofotometer Hach. Hasil kurva kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari kurva kalibrasi diperoleh persamaan garis regresi $y=0,057x$ dengan faktor kepercayaan (R^2) sebesar 0,997. Dimana y adalah nilai absorbansi dan nilai x adalah konsentrasi zat warna (mg/l). Persamaan ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi warna yang dapat diuraikan oleh teknologi AOP.

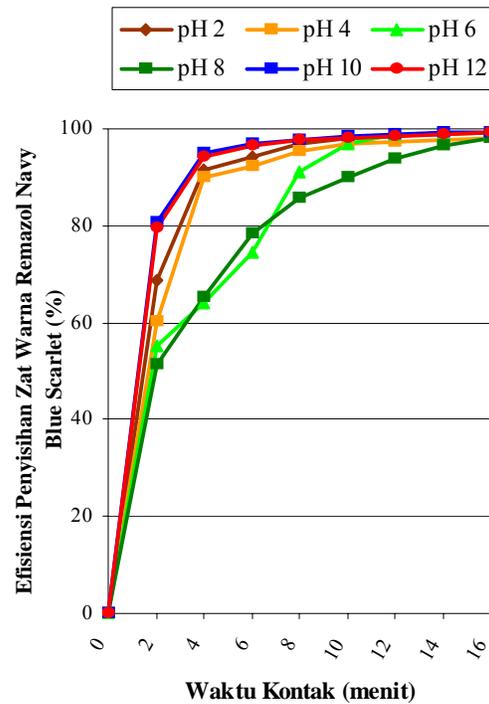
Pengaruh pH terhadap penyihan zat warna Remazol Navy Blue Scarlet

Berdasarkan penelitian pada konsentrasi limbah artifisial zat warna Remazol Navy Blue Scarlet 80 ppm dengan pH awal 6 dan diolah menggunakan teknologi AOP kombinasi UV 254 nm/O₃ 13,75 g/m³ dengan variasi pH 2, 4, 6, 8, 10, 12 dan variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 menit maka diperoleh hasil yang disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 4.

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 dan Gambar 4 di bawah ini dapat dilihat pengaruh pH pada efisiensi penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet terbesar dalam variasi waktu 2 – 10 menit adalah pada pH 10 dan 12. Pada variasi waktu 12 – 16 menit, pengaruh pH terhadap peningkatan efisiensi tidak signifikan, dapat dilihat dari grafik yang cenderung datar, karena efisiensi penguraiannya sudah mendekati 100%.

Tabel 1. Efisiensi penguraian warna (%) pada variasi pH dan waktu kontak (menit)

Waktu (menit)	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	68,87	60,15	55,29	51,23	80,75	79,72
4	91,52	89,88	63,92	65,09	95,10	94,24
6	94,12	92,31	74,37	78,38	96,90	96,59
8	96,92	95,51	91,02	85,77	97,73	97,54
10	98,14	96,75	97,03	89,77	98,30	98,14
12	98,61	97,37	98,67	93,93	98,68	98,49
14	99,05	97,85	98,99	96,58	99,05	98,80
16	99,21	98,23	99,20	98,23	99,18	99,11



Gambar 4. Efek pH dalam proses penguraian warna

Jika dilihat dari efisiensi penguraian warna terbaik pada variasi waktu 2-16 menit, maka yang terbaik adalah efisiensi pada pH 2 yang pada waktu 16 menit mencapai 99,21%. Hal ini dimungkinkan karena untuk penurunan pH pada penelitian ini menggunakan HCl dimana HCl ini bereaksi terlebih dahulu bereaksi dengan senyawa yang terkandung dalam zat warna Remazol Navy Blue Scarlet. Salah satu senyawa yang terkandung dalam zat warna tersebut adalah tembaga/copper (Cu), karena senyawa Cu menghasilkan warna biru yang bagus untuk pewarna tekstil [Anonim]. Reaksi antara Cu dan HCl dapat membantu penguraian warna sebelum bereaksi dengan radikal hidroksil bebas.

Namun jika dilihat dari pengaruh pH terhadap efisiensi penguraian zat warna dilihat dari efisiensi waktu, maka yang terbaik adalah pada pH 10, karena dalam waktu 2-10 menit dapat mencapai efisiensi penguraian 80,75% – 98,30%. Dengan waktu proses yang singkat dapat diperoleh efisiensi tinggi, sehingga dapat menghemat biaya operasional pemakaian listrik untuk pengolahan limbah. Selain itu, sebagian besar limbah tekstil yang dihasilkan oleh industri tekstil berada pada pH 12, sehingga tidak efisien apabila harus diolah pada pH 2.

Pengolahan AOP pada limbah artifisial dengan pH basa merupakan pengolahan yang paling efisien. Hal ini disebabkan, efektivitas O₃ untuk mengoksidasi komponen organik dan anorganik adalah fungsi dari temperatur dan pH. O₃ pada pH rendah (pH<7), bereaksi terutama sebagai molekul O₃ yang selektif dan kadang-kadang lambat bereaksi hal ini dapat dilihat

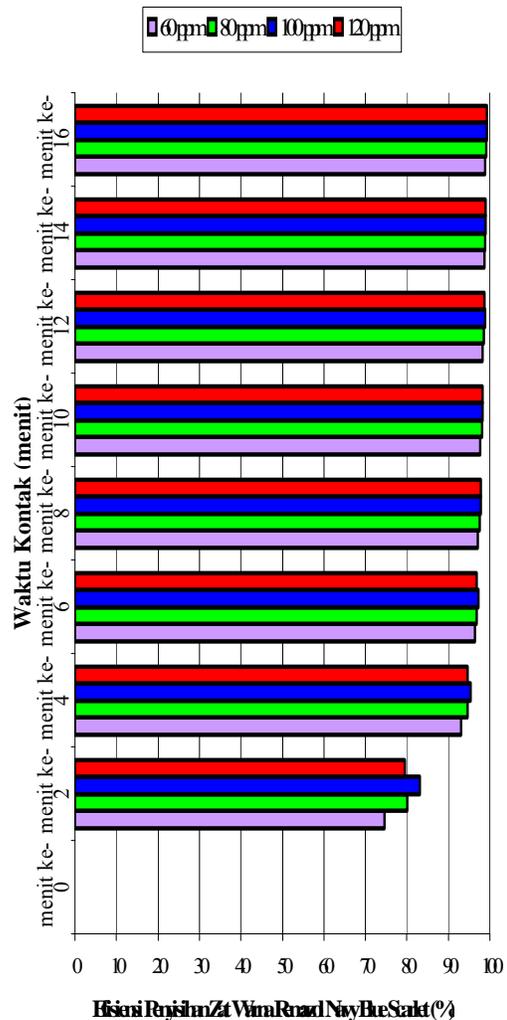
pada menit ke-2 dengan hasil penguraian (55,29-68,87)%. O_3 pada pH tinggi ($pH > 8$) dengan cepat terurai menjadi radikal hidroksil bebas yang bereaksi dengan cepat [Salama, 2000 dikutip dari Fitria, 2006].

Pengaruh konsentrasi zat warna terhadap penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet

Berdasarkan penelitian pada limbah artifisial zat warna Remazol Navy Blue Scarlet dengan pH 12 dan diolah menggunakan teknologi AOP kombinasi UV 254 nm/ O_3 13,75 g/m³ dengan variasi konsentrasi zat warna 60, 80, 100, 120 ppm dan variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 menit maka diperoleh hasil yang disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 5 berikut :

Tabel 2. Efisiensi penguraian warna (%) pada variasi konsentrasi zat warna Remazol Navy Blue Scarlet dan waktu kontak (menit)

Waktu (menit)	Efisiensi penguraian (%)			
	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm
0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	74,56	80,04	83,10	79,44
4	93,12	94,63	95,44	94,63
6	96,34	96,78	97,27	96,84
8	97,17	97,49	97,89	97,82
10	97,74	98,17	98,23	98,33
12	98,27	98,54	98,80	98,63
14	98,71	98,87	99,05	98,93
16	98,91	99,14	99,24	99,24



Gambar 5. Efek konsentrasi zat warna Remazol Navy Blue Scarlet dalam proses penguraian warna

Berdasarkan hasil Tabel 2 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet pada variasi konsentrasi zat warna dari menit ke-0 sampai menit ke-2 langsung meningkat tajam dari 0% sampai mencapai 74,56% - 83,10%. Hal ini disebabkan reaksi hidroksil radikal dan ozon yang mengoksidasi zat warna, karena hidroksil radikal merupakan oksidator yang sangat kuat dan memiliki potensial oksidasi tertinggi ke-2 dari keseluruhan oksidator yang ada. Dengan potensial oksidasi yang tinggi tersebut, hidroksil radikal mampu mendestruksi komponen organik yang terdapat dalam zat warna, sehingga terjadi peningkatan tajam dalam efisiensi penguraian zat warna. Adapun tabel potensial oksidasi dari setiap oksidator dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Potensial oksidasi dari setiap oksidan

Jenis Oksidasi	Potensial Oksidasi (V)
Fluorin	3,03
Radikal Hidroksil	2,80
Atom oksigen	2,42
Ozon	2,07
Hidrogen peroksida	1,77
Permanganat	1,67
Asam hipobromat	1,59
Klorin dioksida	1,50
Asam hipoklorat	1,49
Asam hipoiodat	1,45
Klorin	1,36
Bromida	1,09
Iodin	0,54

Sumber : Sugiarto, 2003

Pada menit ke-2 dan ke-4, terjadi peningkatan yang cukup signifikan, yaitu mencapai efisiensi 93,12% - 95,44%. Sedangkan pada menit ke-8 hingga menit ke-16, peningkatan efisiensi sudah tidak signifikan dan grafik cenderung datar, karena efisiensinya sudah di atas 96%. Pada menit ke-16, efisiensinya rata-rata sudah mencapai 99%, mendekati 100%. Apabila dilihat pada Tabel 2, efisiensi tertinggi diperoleh pada konsentrasi zat warna 100 ppm dan 120 ppm pada menit ke-16, yaitu 99,24%. Namun, secara keseluruhan pada efisiensi di tiap variasi waktu kontak, efisiensi yang terbaik adalah 100 ppm, meskipun perbedaan efisiensinya tidak signifikan dengan konsentrasi lainnya. Dengan demikian, membuktikan bahwa metode AOP dapat menguraikan zat warna dengan efisiensi rata-rata mencapai 99% pada waktu kontak 16 menit pada tiap variasi konsentrasi zat warna tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa pengaruh pH dan pengaruh konsentrasi zat warna terhadap penguraian zat warna *Remazol Navy Blue Scarlet* dengan teknologi AOP dapat disimpulkan bahwa pH yang memiliki efisiensi penguraian terbesar adalah pada pH 2 di menit ke-16 yaitu 99,21%. Namun apabila diterapkan dalam pengolahan limbah industri tekstil, maka pH yang terbaik adalah pH 10, karena dalam waktu singkat 2-10 menit dapat mencapai efisiensi sebesar 80,75% - 98,30%. Dengan demikian dapat menghemat biaya operasional pengolahan limbah. Selain itu, sebagian besar limbah tekstil yang dihasilkan oleh industri tekstil berada pada pH 12, sehingga tidak efisien apabila harus diolah pada pH 2. Sedangkan untuk konsentrasi zat warna, efisiensi tertinggi diperoleh pada konsentrasi zat warna 100 ppm dan 120 ppm pada menit ke-16, yaitu 99,24%. Namun, secara keseluruhan pada efisiensi di tiap variasi waktu kontak, efisiensi yang terbaik adalah 100 ppm, meskipun perbedaan efisiensinya tidak signifikan dengan konsentrasi

lainnya. Dengan demikian, membuktikan bahwa metode AOP dapat menguraikan zat warna dengan efisiensi rata-rata mencapai 99% pada waktu kontak 16 menit pada tiap variasi konsentrasi zat warna tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. All About Hand Dyeing. Kutipan dari <http://www.pburch.net/dyeing/remazol.shtml>
- [2] Fitria, Elma. (2006). Penggunaan Advanced Oxidation Process untuk Menurunkan Kadar Warna dalam Limbah Cair Industri Pencelupan Tekstil (Studi Kasus) CV. Prisma Dwi Lestari. Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- [3] Munter, Rein. (2001). Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects. Department of Chemical Engineering: Tallinn Technical University.
- [4] Rodriguez, M. (2003). Fenton and UV-vis Based Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment: Degradation, Mineralization and Biodegradability Enhancement. Universitat de Barcelona.
- [5] ST Ambrosio, GM Campos-Takaki. (2004). Decolorization of reactive azo dyes by *Cunninghamella elegans* UCP 542 under co-metabolic conditions. *Bioresource Technology*.
- [6] Sugiarto, A T. (2004). Sistem Kompak Oksidasi Pengolahan Limbah Cair Industri. Hand Out Presentasi di Nusantara Water Expo Jakarta.
- [7] Tchobanoglous, George, Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4th Edition. Metcalf & Eddy, Inc. Mc Graw Hill, New York.
- [8] Zhou, H and D.W. Smith. (2000). *Advanced Technologies in Water and Wastewater Treatment*. NRC Research.