

KAJIAN REAKSI FENTON UNTUK DEGRADASI SENYAWA *REMAZOL RED B* PADA LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

STUDY ON THE FENTON REACTION FOR DEGRADATION OF *REMAZOL RED B* IN TEXTILE WASTE INDUSTRY

Henry Setiyanto^{1*}, Dena Agustina¹, Muhammad Ali Zulfikar¹, Vienna Saraswaty²

¹Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Kelompok Penelitian Produksi Bersih, Loka Penelitian Teknologi Bersih, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung, Indonesia

*email :henry@chem.itb.ac.id

Received 3 June 2016; Accepted 1 November 2016; Available online 29 November 2016

ABSTRAK

Senyawa *Remazol Red B* merupakan pewarna reaktif yang sering digunakan di industri tekstil. Pewarna tersebut dapat menimbulkan masalah serius dalam lingkungan/perairan karena sulit untuk didegradasi oleh mikroorganisme. Penghapusan warna (dekolorisasi) dari pewarna reaktif azo (*Remazol Red B*) sebelum dibuang ke lingkungan merupakan aspek penting dalam menciptakan teknologi (metode) yang ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum dekolorisasi senyawa *Remazol Red B*, pengaruh ion-ion logam pengganggu serta model kinetika reaksi yang terjadi. Metode yang dipilih untuk dekolorisasi ini adalah *Advanced Oxidation Process* (AOP) menggunakan reaksi Fenton. Dekolorisasi reaksi Fenton menggunakan kondisi optimum yang diperoleh yaitu 25 mg/L H₂O₂ dan 1,25 mg/L Fe²⁺ untuk senyawa *Remazol Red B* dengan konsentrasi awal pada 83 mg/L (Rasio [H₂O₂] : [Fe²⁺] = 20 : 1). Kondisi optimum reaksi ini diperoleh pada pH 3 dan suhu 27 °C, dengan efisiensi dekolorisasi mencapai 100% untuk waktu reaksi 60 menit. Model kinetika dekolorisasi pewarna mengikuti reaksi orde dua. Beberapa ion logam yang ditambahkan seperti Cu²⁺, Pb²⁺ dan Zn²⁺ tidak memberikan pengaruh yang berarti pada degradasi yang dilakukan.

Kata-kata Kunci: *Advanced Oxidation Process*, Azo, Fenton, *Remazol Red B*.

ABSTRACT

Remazol Red B is a reactive dye often used in the textile industry. The dye can cause serious problems in the environmental/water because it is hard to be degraded by microorganisms. Decolorization of reactive azo dyes (*Remazol Red B*) before being discharged into the environment is an important aspect in creating technology (method) that are environmentally friendly. The aim of this study is to determine the optimum conditions of decolorization of *Remazol Red B* compounds, the influence of metal ions presence, and their reaction kinetics model. The method chosen for this decolorization is *Advanced Oxidation Process* (AOP) using the Fenton reaction. Decolorization of Fenton reaction using optimum conditions which obtained by the 25 mg / L H₂O₂ and 1.25 mg / L of Fe²⁺ for *Remazol Red B* compound with initial concentration at 83 mg / L (ratio [H₂O₂]: [Fe²⁺] = 20: 1). The optimum conditions of this reaction were obtained at pH 3 and temperature of 27 °C, with decolorization efficiency up to 100% for a reaction time of 60 minutes. The kinetic model of dye decolorization follows the second order reaction. Some of the metal ions were added i.e. Cu²⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺, given no significant impact on the degradation performed.

Keywords : *Advanced Oxidation Process*, Azo, Fenton, *Remazol Red B*.

PENDAHULUAN

Tekstil merupakan salah satu industri yang sangat berkembang dan

memegang peranan penting di Indonesia. Salah satu permasalahan yang menjadi perhatian selama ini adalah limbah

industri yang dihasilkannya, khususnya kandungan pewarna. Zat kimia yang sering digunakan oleh industri tekstil adalah pewarna reaktif, penggunaannya mendekati 45 % (Tunç, Tanaci, & Aksu, 2009). Pewarna reaktif tidak mudah untuk didegradasi oleh mikroorganisme, sehingga pewarna ini masih terkandung dalam limbah cair yang dibuang ke lingkungan (Ip, Barford, & McKay, 2008). Limbah cair dari industri-industri ini menjadi permasalahan tersendiri yang harus ada penanggulangannya. Pewarna yang masih terkandung dalam limbah cair dapat menyerap dan memantulkan sinar matahari sehingga mengganggu pertumbuhan mikroorganisma dan juga menghambat proses fotosintesis pada tanaman air. Pembuangan air limbah ke sungai atau lautan dapat menyebabkan kerusakan ekosistem air dan juga kehidupan manusia (Baskaralingam, Pulikesi, Ramamurthi, & Sivanesan, 2007). Oleh sebab itu, penghilangan warna (dekolorisasi) dari limbah cair industri tekstil menjadi aspek yang sangat penting dari pengolahan limbah.

Selama ini, metode konvensional yang digunakan untuk penanganan air limbah pada industri tekstil dapat meliputi proses fisik (limbah primer), proses biologi (limbah sekunder) dan proses kimia (limbah tersier). Pengolahan limbah tersier dapat dilakukan diantaranya dengan metode *incineration*, *air stripping*, *actived carbon adsorption* dan *ozone treatment* (Yuan & He, 2015). Metode *incineration* membutuhkan biaya yang sangat mahal. Metode *air stripping* dan *actived carbon adsorption* hanya memindahkan senyawa-senyawa pencemar ke objek (media/fasa) yang berbeda (Zulfikar, Setiyanto, Rusnadi, & Solakhudin, 2015), (Zulfikar, Setiyanto, Wahyuningrum, & Mukti, 2014), (Zulfikar & Setiyanto, 2013a), (Zulfikar & Setiyanto, 2013b), sedangkan *ozone treatment* hanya menguraikan secara parsial senyawa-senyawa pencemar (Rizzo, Selcuk, Nikolaou, Pagano, &

Belgiorno, 2014), (Vincenzo Naddeo, 2013). Oleh karena itu diperlukan metode yang secara keseluruhan dapat mengurai senyawa-senyawa pencemar, metoda tersebut adalah *advanced oxidation process* (AOP).

Sampai dengan saat ini belum ada peneliti yang melakukan degradasi/dekolorisasi secara khusus untuk senyawa Remazol Red B pada limbah industri tekstil, menggunakan metode AOP sehingga penelitian ini memiliki nilai kebaruan. AOP merupakan metode yang menggunakan prinsip/proses oksidasi yang dapat mendegradasi senyawa-senyawa pencemar dalam limbah industri (Vilar, Malato, & Dionysiou, 2015). Metode ini menggunakan prinsip pembentukan radikal hidroksil (OH). Radikal hidroksil yang terbentuk akan mendegradasi senyawa pencemar (organik). Salah satu cara membentuk radikal hidroksil adalah melalui reaksi Fenton. Kelebihan dari reaksi ini antara lain membutuhkan energi minimal apabila dibandingkan dengan teknologi oksidasi lain yang memanfaatkan ozon (O₃) dan ultraviolet (UV). Selain itu reaksi Fenton tidak menghasilkan emisi uap. Oleh sebab itu dipilih metode AOP menggunakan reaksi Fenton pada degradasi senyawa *Remazol Red B*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian experimental yang dilakukan pada limbah cairan dari industri tekstil. Limbah tersebut didegradasi/dekolorisasi menggunakan metoda AOP dan reaksi Fenton. Hasil dekolorisasi diamati perubahan warnanya serta dianalisis senyawa yang ada menggunakan spektrofotometer UV/Vis. Penelitian dilakukan di laboratorium Kimia Analitik, Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, Program Studi Kimia, FMIPA ITB.

Alat dan Bahan

Sampel nyata diambil dari pengrajin batik Mahkota Laweyan di kota Solo, Jawa Tengah. Sampel berbentuk cairan

yang mengandung *Remazol Red B* ini didegradasi dengan kondisi optimum yang diperoleh. Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain gelas kimia, labu erlenmeyer, gelas ukur, labu takar, batang pengaduk, pipet tetes, termometer, dan buret. Peralatan untuk identifikasi, karakterisasi dan penentuan hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453.

Bahan-bahan yang dipergunakan antara lain aquades, *Remazol Red B* (*Merck, Germany*), H_2O_2 35% (*Merck, Germany*), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (*Merck, Germany*) sebagai sumber Fe, NaOH (*Merck, Germany*), H_2SO_4 (*Merck, Germany*), $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck, Germany*), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck, Germany*) dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (*Merck, Germany*).

Pengujian Degradasi *Remazol Red B* pada Berbagai Parameter

Pengaruh konsentrasi Fe²⁺

Larutan *Remazol Red B* 100 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL. Sebanyak 10 mL Fe^{2+} dengan konsentrasi bervariasi (5, 15, 25, 50 dan 100 ppm) dimasukkan sambil diaduk dan dilakukan pemeriksaan pH. Dimasukkan 10 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 300 ppm sehingga konsentrasi akhir untuk *Remazol Red B* adalah 83 ppm, konsentrasi H_2O_2 25 ppm dan konsentrasi Fe^{2+} menjadi 0,42 ppm; 1,25 ppm; 2,08 ppm; 4,17 ppm dan 8,33 ppm. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 60 menit. Pemeriksaan warna dilakukan setiap 5 menit menggunakan spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453 dan diulang untuk waktu reaksi sampai 60 menit. Semua percobaan dilakukan triplo.

Pengaruh konsentrasi H₂O₂

Sampel zat warna *Remazol Red B* 100 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan dalam gelas kimia 100 mL. Sebanyak 10 mL Fe^{2+} dengan konsentrasi 15 ppm dimasukkan sambil diaduk dan dilakukan pemeriksaan pH. Dimasukkan 10 mL

H_2O_2 dengan variasi konsentrasi (60 ppm, 120 ppm, 300 ppm dan 450 ppm) sehingga konsentrasi akhir untuk *Remazol Red B* adalah 83 ppm, konsentrasi Fe^{2+} adalah 1,25 ppm dan konsentrasi H_2O_2 menjadi 5 ppm; 13 ppm; 25 ppm dan 37,5 ppm. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 60 menit. Pemeriksaan warna dilakukan setiap 5 menit menggunakan spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453 dan diulang untuk waktu reaksi sampai 60 menit. Semua percobaan dilakukan triplo.

Pengaruh suhu

Sampel zat warna *Remazol Red B* 100 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan dalam gelas kimia 100 mL. Sebanyak 10 mL Fe^{2+} dengan konsentrasi 15 ppm dimasukkan sambil diaduk dan dilakukan pemeriksaan pH (pH diharapkan masih pada kondisi 3). Diatur suhu dengan variasi (300 K, 310 K, 320 K dan 330 K). Dimasukkan 10 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 300 ppm sehingga konsentrasi akhir untuk *Remazol Red B* adalah 83 ppm, konsentrasi Fe^{2+} adalah 1,25 ppm dan konsentrasi H_2O_2 adalah 25 ppm. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 60 menit. Pemeriksaan warna dilakukan setiap 5 menit menggunakan spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453 dan diulang untuk waktu reaksi sampai 60 menit. Semua percobaan dilakukan triplo.

Pengaruh pH

Sampel zat warna *Remazol Red B* 100 ppm sebanyak 100 mL dalam berbagai variasi pH (2-8) dimasukkan dalam gelas kimia 100 mL. 10 mL Fe^{2+} dengan konsentrasi 15 ppm. Dimasukkan 10 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 300 ppm sehingga konsentrasi akhir untuk *Remazol Red B* adalah 83 ppm, konsentrasi Fe^{2+} adalah 1,25 ppm dan konsentrasi H_2O_2 adalah 25 ppm. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 60 menit. Pemeriksaan warna dilakukan setelah 60 menit menggunakan

spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453. Semua percobaan dilakukan triplo.

Pengaruh Ion-ion Pengganggu

Sampel zat warna *Remazol Red B* 100 ppm yang divariasi ion-ion logam dalam 2 variasi konsentrasi (Cu, Pb, dan Zn dengan konsentrasi 1 ppm dan 150 ppm) sebanyak 100 mL dimasukkan dalam gelas kimia 100 mL. 10 mL Fe^{2+} dengan konsentrasi 15 ppm dimasukkan sambil diaduk dan dilakukan pemeriksaan pH (pH diharapkan masih pada kondisi 3). Dimasukkan 10 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 300 ppm sehingga konsentrasi akhir untuk *Remazol Red B* adalah 83 ppm, konsentrasi Fe^{2+} adalah 1,25 ppm, konsentrasi H_2O_2 adalah 25 ppm dan konsentrasi akhir ion pengganggu menjadi 0,8 ppm dan 125 ppm. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 60 menit. Pemeriksaan warna dilakukan setiap 5 menit menggunakan spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453 dan diulang untuk waktu reaksi sampai 60 menit. Semua percobaan dilakukan triplo.

Analisis hasil degradasi

Reaksi Fenton sulit menentukan fragmen apa yang dihasilkan dari proses degradasi. Namun demikian untuk mengetahui keberhasilan senyawa *Remazol Red B* telah didegradasi adalah

dengan menggunakan Spektrofotometri UV/ Vis.

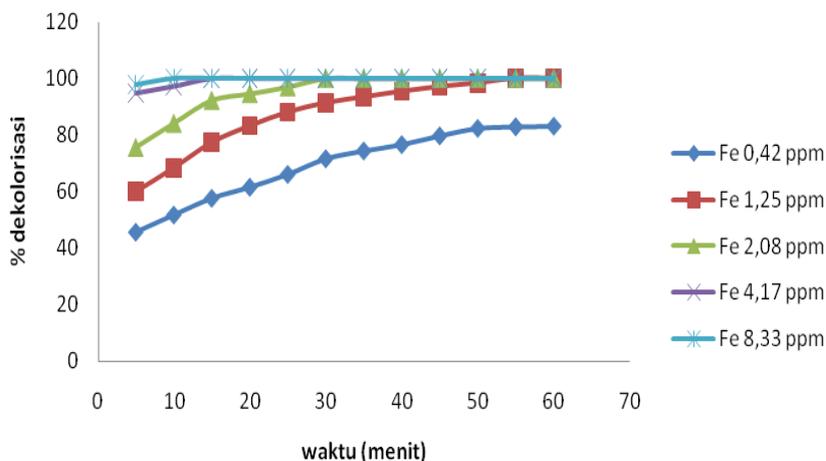
Analisis sampel nyata

Sampel yang diperoleh didegradasi menggunakan reaksi Fenton. Pengamatan dilakukan secara fisik (warna) dan menggunakan alat bantu. Larutan hasil degradasi dianalisis menggunakan spektrofotometri UV/Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi Ion Fe^{2+} terhadap Degradasi *Remazol Red B*

Untuk konsentrasi ion Fe^{2+} 8,33 ppm, persentase dekolorisasi mencapai 100% pada waktu 10 menit, sedangkan untuk konsentrasi ion Fe^{2+} 4,17 ppm, persentase dekolorisasi mencapai 100% dalam waktu 15 menit. Pada konsentrasi ion Fe^{2+} 2,08 ppm, persentase dekolorisasi mencapai 100% dalam waktu 30 menit dan pada konsentrasi ion Fe^{2+} 1,25 ppm, persentase dekolorisasi mencapai 100% pada waktu 50 menit. Sedangkan, pada konsentrasi ion Fe^{2+} 0,42 ppm, persentase dekolorisasi tidak mencapai 100%. Persentasi dekolorisasi yang diperoleh adalah sekitar 79% dalam waktu 50 menit. Hasil-hasil yang terkait dapat dilihat pada **Gambar 1**.



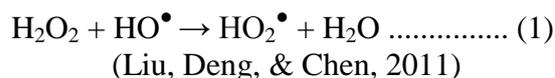
Gambar 1. Pengaruh konsentrasi ion Fe^{2+} pada reaksi Fenton dan waktu reaksi (menit) terhadap efisiensi dekolorisasi (%) dengan $[\text{H}_2\text{O}_2] = 25$ ppm.

Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ terhadap Degradasi Remazol Red B

Selain konsentrasi ion Fe²⁺, konsentrasi H₂O₂ merupakan parameter penting untuk mencapai efisiensi maksimum degradasi Remazol Red B. Optimasi konsentrasi H₂O₂ dilakukan dengan variasi konsentrasi 5 ppm, 13 ppm, 25 ppm dan 37,5 ppm. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ pada degradasi senyawa Remazol Red B diamati pada pH 3, suhu 300 K dan konsentrasi ion Fe²⁺ 1,25 ppm. Dari hasil penelitian, persentase dekolorisasi meningkat dengan peningkatan konsentrasi H₂O₂ yang ditunjukkan dalam gambar 2. Konsentrasi tertinggi H₂O₂ yang digunakan yaitu 37,5 ppm. Persentase dekolorisasi mencapai 100% dalam waktu 35 menit pada konsentrasi tersebut. Sedangkan, untuk konsentrasi H₂O₂ 25 ppm, persentase dekolorisasi mencapai 100% dalam waktu 55 menit. Persen dekolorisasi 100% hanya dicapai pada konsentrasi H₂O₂ 25 ppm dan 37,5 ppm. Oleh karena itu, dipilih konsentrasi H₂O₂ 25 ppm sebagai konsentrasi optimum.

Penelitian sebelumnya menjelaskan, saat konsentrasi H₂O₂ sangat tinggi, efisiensi dekolorisasi akan memiliki nilai yang konstan atau cenderung menurun (Ramirez, Costa, & Madeira, 2005). Peneliti lain menjelaskan bahwa

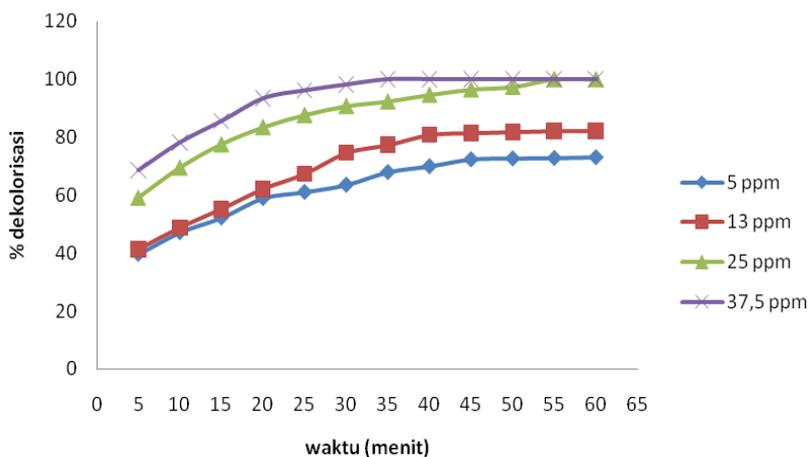
peningkatan konsentrasi H₂O₂ pada titik tertentu akan menurunkan persentase dekolorisasi (Fathi & Keshmirizadeh, 2015). Hal ini dapat disebabkan karena reaksi Fenton menghasilkan spesi OH radikal yang merupakan salah satu spesi yang tidak selektif. OH radikal tersebut dapat bereaksi dengan H₂O₂ berlebih yang ada dalam larutan sehingga dihasilkan radikal HO₂ di mana spesi tersebut tidak lebih reaktif dari radikal OH. Reaksi tersebut ditunjukkan pada **Reaksi 1**.



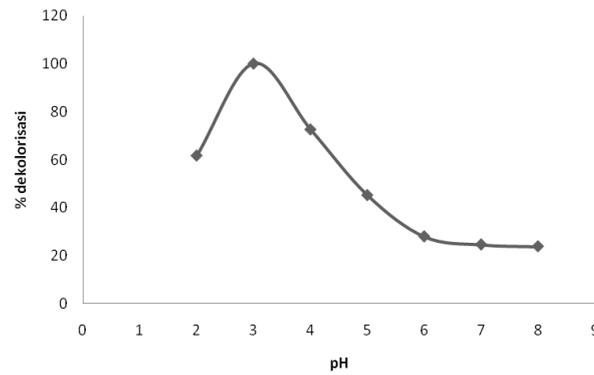
Hal ini sesuai dengan hasil penelitian lain, bahwa saat perbandingan konsentrasi H₂O₂/ Fe²⁺ sangat tinggi (> 500), efek yang merugikan akan terjadi (Liu et al., 2011)).

Pengaruh pH terhadap Degradasi Remazol Red B

Pengaruh pH merupakan faktor yang sangat penting pada reaksi Fenton. pH berpengaruh pada mekanisme oksidasi pewarna yang melibatkan produksi radikal HO dalam larutan. Variasi pH dilakukan pada jangkauan 2-8, reaksi yang terjadi ditunggu selama 60 menit, konsentrasi ion Fe²⁺ 1,25 ppm dan konsentrasi H₂O₂ 25 ppm.

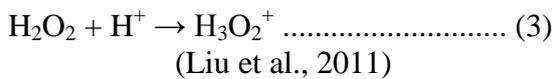
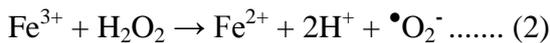


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ dan waktu reaksi (min) terhadap efisiensi dekolorisasi (%) dengan [Fe²⁺] = 1,25 ppm.



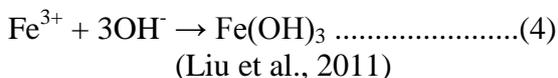
Gambar 3. Pengaruh pH dan pH terhadap efisiensi dekolorisasi (%) dengan $[\text{Fe}^{2+}] = 1,25$ ppm, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 25$ ppm, suhu 27°C .

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pH 3 merupakan nilai optimum. Persentase dekolorisasi akan menurun pada pH di bawah 3 (Ramirez et al., 2005). Kondisi optimum untuk reaksi Fenton berkisar pada $[\text{H}^+] = 10^{-3}$ M (Aguinaco, Beltrn, Sagasti, & Gimeno, 2014).



Reaksi 2 menjadi terhambat karena terjadi reaksi antara H_2O_2 dan ion H^+ pada nilai $\text{pH} < 3$. Hidrogen peroksida dapat menangkap proton untuk membentuk ion oksonium (H_3O_2^+) dan ion tersebut membuat hidrogen peroksida menjadi elektrofilik. Hal ini menyebabkan reaksi antara hidrogen peroksida dan ion Fe^{3+} (**Reaksi 3**) berkurang reaktivitasnya.

Reaksi Fenton menjadi kurang efisien pada pH di atas 3,5 yang disebabkan oleh fraksi terlarut dari ion Fe^{2+} menurun (Rao, Giri, Goud, & Golder, 2016). **Reaksi 4** menjelaskan pembentukan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ terbentuk pada pH tinggi yang menyebabkan berkurangnya konsentrasi terlarut ion Fe^{3+} . Akibatnya, konsentrasi ion Fe^{2+} (reaksi 2) menurun karena pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ lebih reaktif daripada ion Fe^{3+} terhadap H_2O_2 .

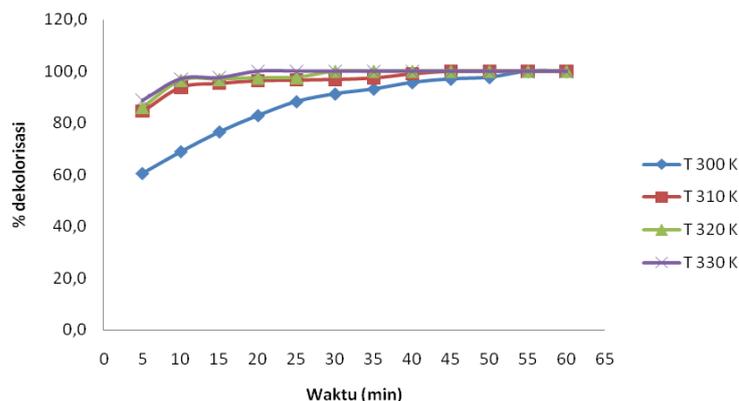


Pengaruh Suhu terhadap Degradasi *Remazol Red B*

Variasi suhu dilakukan pada 300 K, 310 K, 320 K dan 330 K; pH 3 dengan konsentrasi ion Fe^{2+} 1,25 ppm dan konsentrasi H_2O_2 25 ppm. Kenaikan suhu memiliki dampak positif pada degradasi zat warna (Emami, Tehrani-Bagha, Gharanjig, & Menger, 2010). Waktu reaksi yang lebih singkat diperlukan untuk penghilangan warna dari proses degradasi pewarna pada suhu yang lebih tinggi (Emami et al., 2010). Semakin tinggi suhu maka persentase dekolorisasi meningkat dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hal ini disebabkan fakta bahwa suhu yang lebih tinggi meningkatkan laju reaksi antara hidrogen peroksida dan ion Fe^{2+} , sehingga meningkatkan laju regenerasi spesi pengoksidasi, radikal OH (de Souza et al., 2006).

Suhu tertinggi yang digunakan pada penelitian ini adalah 330 K dengan persentase dekolorisasi mencapai 100% pada waktu 30 menit. Suhu 320 K mencapai 100% dekolorisasi pada waktu 40 menit. Suhu 310 K mencapai 100% dekolorisasi pada waktu 45 menit. Sedangkan suhu 300 K mencapai 100% dekolorisasi pada waktu 55 menit. Pada suhu di atas 330 K reaksi Fenton tidak optimum terjadi karena komposisi H_2O_2 dan Fe^{2+} berubah.

Peningkatan efisiensi dekolorisasi dari *Remazol Red B* tidak dipengaruhi oleh peningkatan suhu setelah waktu reaksi 55 menit.



Gambar 4. Pengaruh suhu dan waktu terhadap efisiensi dekolorisasi (%) dengan $[Fe^{2+}] = 1,25$ ppm, $[H_2O_2] = 25$ ppm, pH 3.

Oleh karena itu, suhu optimal pada degradasi *Remazol Red B* adalah 300 K. Suhu yang lebih tinggi memiliki kelemahan yaitu biaya investasi dan operasional tinggi (Fathi & Keshmirizadeh, 2015).

Studi Kinetika untuk Degradasi *Remazol Red B*

Studi kinetika untuk degradasi *Remazol Red B* secara Fenton dipelajari untuk waktu reaksi antara 5 sampai 25 menit pada suhu yang berbeda. Model kinetik ditunjukkan menggunakan orde kinetik pertama dan kedua yang digambarkan oleh persamaan 5 dan 6.

$$\ln(C_t) = \ln(C_0) - k_1t \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0} = k_2t \dots\dots\dots (6)$$

(Emami et al., 2010)

Dimana C_0 adalah konsentrasi awal *Remazol RedB*, C_t adalah konsentrasi *Remazol Red B* pada waktu t , k_1 (min^{-1}) dan k_2 ($M^{-1} min^{-1}$) adalah konstanta laju orde pertama dan kedua. Nilai k_1 dan k_2 ditentukan dengan plot kurva $(-\ln C_t)$ terhadap waktu dan $\frac{1}{C_t}$ terhadap waktu pada suhu yang berbeda.

Semakin besar nilai R^2 maka kurva semakin linier sehingga dari nilai R^2 rata-rata tertinggi dipilih sebagai model kinetik. Nilai R^2 menunjukkan hubungan jumlah sisi aktif (variabel) dari laju reaksi, dimana hubungan variabel berbanding lurus dengan besaran laju reaksi yang dinotasikan dengan tetapan laju. Laju reaksi tidak hanya bergantung pada konsentrasi *Remazol Red B* akan tetapi juga pada konsentrasi H_2O_2 dan atau ion Fe^{2+} . Model orde kedua memiliki nilai rata-rata R^2 tertinggi sehingga tetapan laju reaksi dekolorisasi mengikuti kinetika reaksi orde kedua.

Studi Termodinamika untuk Dekolorisasi *Remazol Red B*

Penentuan nilai termodinamika (E_a) dihitung dengan persamaan 7.

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right) \dots\dots\dots (7)$$

(Zulfikar & Setiyanto, 2013b)

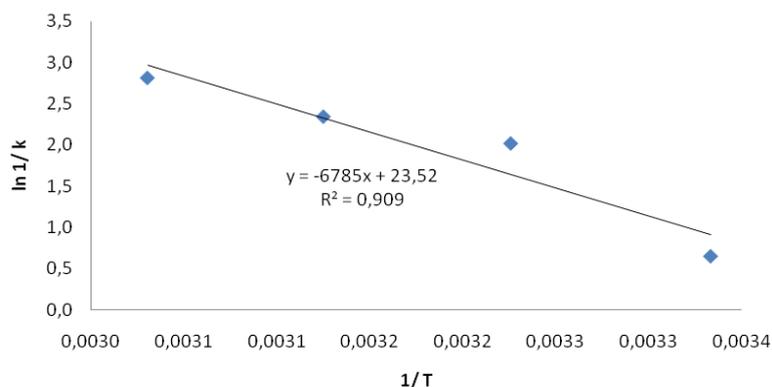
Dimana k adalah tetapan laju reaksi, A tetapan Arrhenius, T temperatur dalam Kelvin, E_a energi aktivasi (kJ / mol) dan R adalah tetapan gas ideal (0,0083 kJ / mol. K). Tetapan laju yang dihitung berdasarkan ilustrasi dalam **Tabel 2**.

Tabel 1. Tabel data kinetik reaksi pseudo orde pertama dan kedua

T (K)	$k_1(min^{-1})$	R^2	$k_2(M^{-1} min^{-1})$	R^2
300	0,0605	0,9162	1,9252	0,9339
310	0,0712	0,8379	7,5411	0,9495
320	0,0769	0,0769	10,4260	0,8494
330	0,0870	0,7870	16,6720	0,9470

Tabel 2. Data termodinamika untuk dekolorisasi *Remazol Red B* menggunakan Fenton

T (K)	k_2 ($M^{-1} \text{ min}^{-1}$)	1/ T	(ln k_2)	Ea (kJ/ mol)
300	1,9252	0,0033	0,7	56,41
310	7,5411	0,0032	2,0	
320	10,4260	0,0031	2,3	
330	16,6720	0,0030	2,8	

**Gambar 5.** Pengaluran nilai (ln k_2) terhadap 1/T.

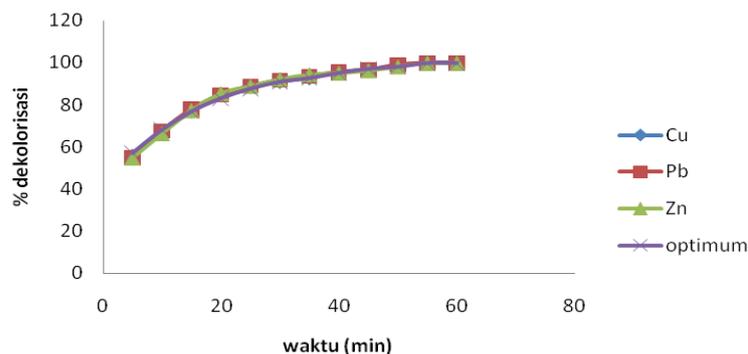
Tampak di dalam **Tabel 2** bahwa tetapan laju reaksi Fenton meningkat dengan kenaikan suhu. Nilai perhitungan energi aktivasi ditentukan dari kemiringan grafik pada **Gambar 5**. Energi aktivasi sama dengan 56,41 kJ / mol, nilai ini menunjukkan bahwa untuk dapat terjadi reaksi ini membutuhkan energi sebesar 56,41 kJ/ mol. Nilai ini mempunyai arti bahwa reaksi akan terjadi pada energi minimal sebesar 56,41 kJ/ mol dan temperatur optimum 330 K.

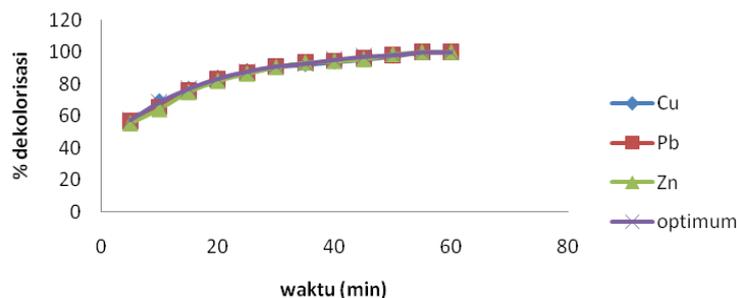
Pengaruh Ion-ion Pengganggu

Pengaruh ion-ion pengganggu yang ditambahkan pada penelitian ini antara lain Cu^{2+} , Pb^{2+} dan Zn^{2+} . Pengaruh ion pengganggu diteliti karena ion logam berat sering ditemukan pada industri

tekstil. Munculnya ion pengganggu diharapkan tidak akan berpengaruh pada reaksi Fenton. Ion-ion pengganggu ditambahkan pada larutan *Remazol Red B* dengan konsentrasi terendah 0,8 ppm dan konsentrasi tertinggi 125 ppm. Percobaan dilakukan pada kondisi optimum dan hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.

Tampak pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** bahwa ketiga ion logam tersebut tidak mempengaruhi reaksi Fenton sama sekali. Ketiga ion logam tidak mengganggu ion Fe^{2+} yang bereaksi dengan H_2O_2 sehingga radikal OH tetap dapat dihasilkan dan regenerasi Fe^{2+} terjadi.

**Gambar 6.** Pengaruh ion-ion pengganggu dengan konsentrasi ion 0,8 ppm.



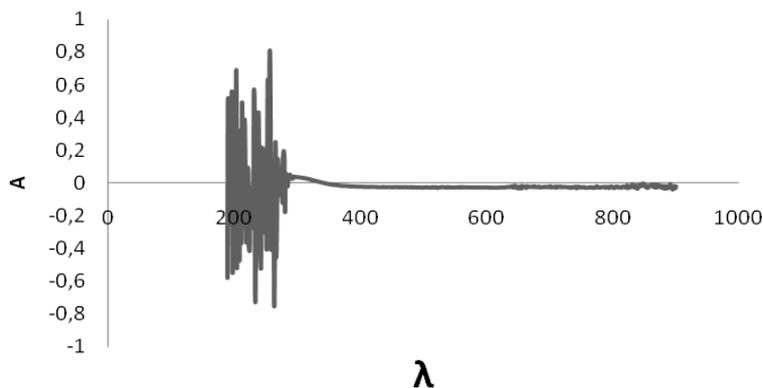
Gambar 7. Pengaruh ion-ion pengganggu dengan konsentrasi ion 125 ppm.

Selain itu, **Gambar 8** dan **Gambar 9** memperlihatkan bahwa spektrum hasil degradasi *Remazol Red B* menggunakan spektrofotometer UV/Vis dengan penambahan ion-ion pengganggu tidak berbeda dengan hasil degradasi tanpa ion pengganggu. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga ion pengganggu tersebut tidak bereaksi dengan senyawa *Remazol Red B* maupun H_2O_2 dan Fe^{2+} . Dengan kata lain penggunaan pelarut yang mengandung ion-ion logam tertentu, tidak

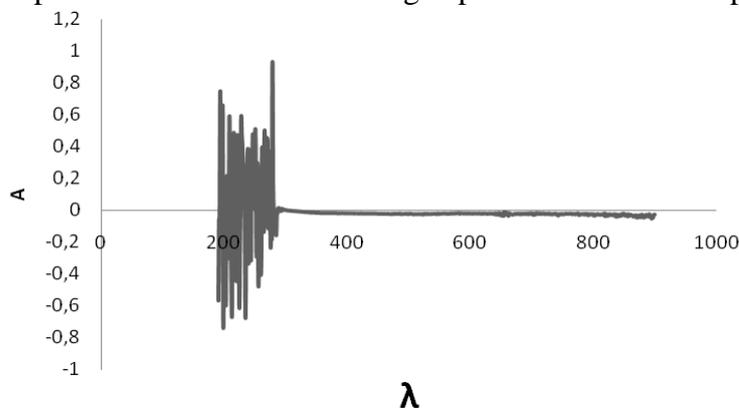
mempengaruhi pada reaksi Fenton yang terjadi.

Analisis Hasil Degradasi dan Sampel Nyata

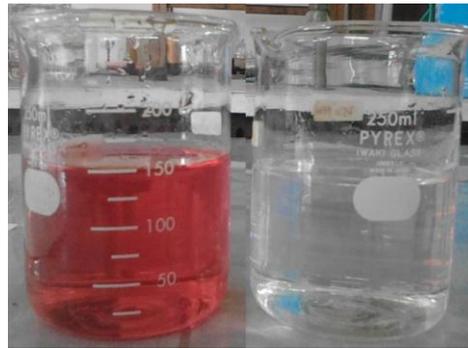
Warna dari reaksi dekolorisasi yang dihasilkan bening, hal ini menunjukkan bahwa *Remazol Red B* telah berhasil didegradasi (**Gambar 10**). Analisis juga dilakukan menggunakan spektrofotometer UV/VIS dimana tidak terdapat puncak pada panjang gelombang maksimum (541 nm) (**Gambar 9**).



Gambar 8. Hasil scan spektrum hasil degradasi *Remazol Red B* menggunakan spektrofotometer UV/Vis dengan penambahan ion-ion pengganggu.



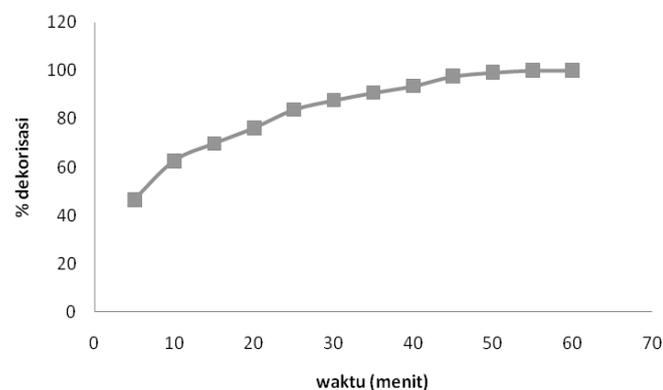
Gambar 9. Hasil scan spektrum hasil degradasi *Remazol Red B* menggunakan spektrofotometer UV/Vis.



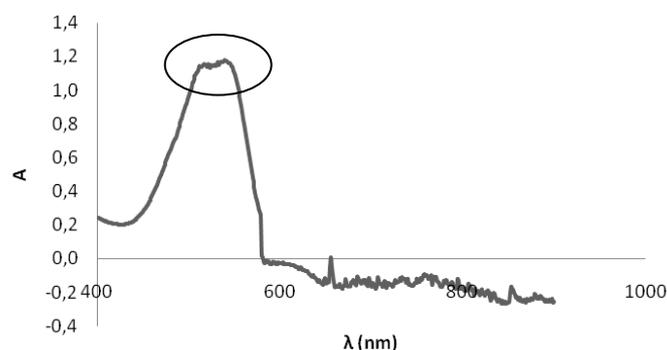
Gambar 10. Senyawa *Remazol Red B* sebelum didegradasi (kiri) dan *Remazol Red B* setelah didegradasi (kanan).

Sampel nyata diambil dari pengrajin batik Mahkota Laweyan di kota Solo, Jawa Tengah-Indonesia. Sampel yang mengandung *Remazol Red B* didegradasi dengan kondisi optimum yang diperoleh. Persentase dekolorisasi yang diperoleh memiliki pola yang hampir sama dengan kondisi optimum, seperti pada **Gambar 11**. Hal ini menunjukkan bahwa metode AOP dengan reaksi Fenton bisa diterapkan di industri tekstil. **Gambar 12** menunjukkan spektrum dari sampel nyata. Spektrum tersebut menunjukkan 1 puncak

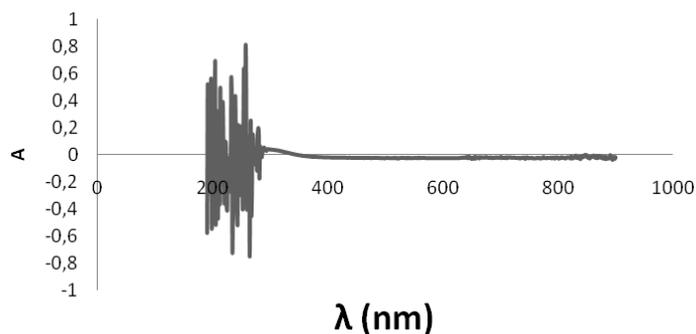
pada panjang gelombang 541 nm. Puncak tersebut menandakan keberadaan *Remazol Red B*. **Gambar 13** menunjukkan bahwa hasil degradasi sampel nyata menghasilkan spektrum yang sama dengan degradasi *Remazol Red B* pada kondisi optimum (tidak muncul puncak pada $\lambda = 541$ nm). Hal ini menunjukkan bahwa sampel nyata telah berhasil didegradasi sehingga metode AOP dengan Fenton bisa diterapkan di industri untuk pengolahan limbah.



Gambar 11. Persentase dekolorisasi sampel nyata.



Gambar 12. Spektrum sampel nyata menggunakan spektrofotometer UV/Vis.



Gambar 13. Spektrum sampel nyata hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV/Vis.

KESIMPULAN

Metode AOP menggunakan reaksi Fenton dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa *Remazol Red B*. Kondisi optimum diperoleh pada pH 3 dengan konsentrasi ion Fe^{2+} 1,25 ppm dan konsentrasi H_2O_2 25 ppm serta perbandingan konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+} = 20$. Reaksi yang terjadi pada degradasi ini mengikuti hukum kinetika orde kedua dengan suhu optimum 300 K, tetapan laju $1,9252 \text{ (M}^{-1} \text{ min}^{-1})$ dan energi aktivasi (E_a) yang diperoleh sebesar 56,41 kJ/ mol.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguinaco, A., Beltrn, F. J., Sagasti, J. J. P., & Gimeno, O. (2014). In situ generation of hydrogen peroxide from pharmaceuticals single ozonation: A comparative study of its application on Fenton like systems. *Chemical Engineering Journal*, 235, 46–51. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.015>
- Baskaralingam, P., Pulikesi, M., Ramamurthi, V., & Sivanesan, S. (2007). Modified hectorites and adsorption studies of a reactive dye. *Applied Clay Science*, 37(1-2), 207–214. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2007.01.014>
- de Souza, D. R., Duarte, E. T. F. M., de Souza Girardi, G., Velani, V., da Hora Machado, A. E., Sattler, C., ... de Miranda, J. A. (2006). Study of kinetic parameters related to the degradation of an industrial effluent using Fenton-like reactions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 179(3), 269–275. <http://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2005.08.025>
- Emami, F., Tehrani-Bagha, A. R., Gharanjig, K., & Menger, F. M. (2010). Kinetic study of the factors controlling Fenton-promoted destruction of a non-biodegradable dye. *Desalination*, 257(1-3), 124–128. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.035>
- Fathi, Z., & Keshmirizadeh, E. (2015). Use of Fenton Reagent as Advanced Oxidative Process for Removal of Basic and Acid Red Dyes from Aqueous Solutions, 19(3), 7–18.
- Ip, A. W. M., Barford, J. P., & McKay, G. (2008). Production and comparison of high surface area bamboo derived active carbons. *Bioresource Technology*, 99(18), 8909–8916. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.076>
- Liu, Z. Z., Deng, H. P., & Chen, Z. L. (2011). Catalytic Decomposition Kinetics and Mechanism of Hydrogen Peroxide by Modified Activated Carbon. *Advanced Materials Research*, 243-249(3), 4860–4863. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.4860>

- Ramirez, J. H., Costa, C. A., & Madeira, L. M. (2005). Experimental design to optimize the degradation of the synthetic dye Orange II using Fenton's reagent. *Catalysis Today*, *107-108*, 68–76. <http://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.07.060>
- Rao, C. V., Giri, A. S., Goud, V. V., & Golder, A. K. (2016). Studies on pH-dependent color variation and decomposition mechanism of Brilliant Green dye in Fenton reaction. *International Journal of Industrial Chemistry*, *7*(1), 71–80. <http://doi.org/10.1007/s40090-015-0060-x>
- Rizzo, L., Selcuk, H., Nikolaou, a D., Pagano, S. M., & Belgiorno, V. (2014). A comparative evaluation of ozonation and heterogeneous photocatalytic oxidation processes for reuse of secondary treated urban wastewater. *Desalination and Water Treatment*, *52*, 1414–1421. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.787953>
- Tunç, Ö., Tanaci, H., & Aksu, Z. (2009). Potential use of cotton plant wastes for the removal of Remazol Black B reactive dye. *Journal of Hazardous Materials*, *163*(1), 187–198. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.078>
- Vilar, V. J. P., Malato, S., & Dionysiou, D. D. (2015). Advanced oxidation technologies: advances and challenges in Iberoamerican countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, *22*(2), 759–761. <http://doi.org/10.1007/s11356-014-3160-9>
- Vincenzo Naddeo, A. C. (2013). Wastewater Treatment by Combination of Advanced Oxidation Processes and Conventional Biological Systems. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, *04*(08), 222–230. <http://doi.org/10.4172/2155-6199.1000208>
- Yuan, H., & He, Z. (2015). Integrating membrane filtration into bioelectrochemical systems as next generation energy-efficient wastewater treatment technologies for water reclamation: A review. *Bioresource Technology*, *195*, 202–209. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.058>
- Zulfikar, M. A., & Setiyanto, H. (2013a). Adsorption of congo red from aqueous solution using powdered eggshell. *International Journal of ChemTech Research*, *5*(4), 1532–1540.
- Zulfikar, M. A., & Setiyanto, H. (2013b). Study of the adsorption kinetics and thermodynamic for the removal of Congo Red from aqueous solution using powdered eggshell. *International Journal of ChemTech Research*, *5*(4), 1671–1678.
- Zulfikar, M. A., Setiyanto, H., Rusnadi, & Solakhudin, L. (2015). Rubber seeds (*Hevea brasiliensis*): an adsorbent for adsorption of Congo red from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, *56*(11), 2976–2987. <http://doi.org/10.1080/19443994.2014.966276>
- Zulfikar, M. A., Setiyanto, H., Wahyuningrum, D., & Mukti, R. R. (2014). Peat water treatment using chitosan-silica composite as an adsorbent. *International Journal of Environmental Research*, *8*(3), 687–710.