Efek Suhu dan Injeksi Udara pada Penyisihan Limbah Pewarna Tekstil Remazol Red dengan Metode Elektrolisis Plasma

Tri S. Budikania¹, Dian R. Suminar², Eva F. Karamah², Nelson Saksono^{2,*}

¹ Politeknik AKA Bogor, Jl. Pangeran Sogiri No. 283, Tanah Baru, Bogor, 16154

² Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, 16424

*e-mail: nelson@che.ui.ac.id

Abstrak. Limbah pewarna industri tekstil merupakan limbah cair yang sulit teroksidasi dan berbahaya bagi lingkungan. Radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) merupakan spesies yang sangat efektif dalam mengoksidasi berbagai limbah cair organik seperti limbah pewarna. Metode Elektrolisis Plasma sangat produktif menghasilkan radikal Hidroksil sehingga efektif dalam menyisihkan (mendegradasi) berbagai jenis limbah pewarna tekstil seperti Remazol Red. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan proses degradasi remazol red RB 133 dan konsumsi energinya menggunakan metode Elektrolisis Plasma melalui pengaturan suhu dan injeksi gelembung udara dalam larutan. Pembentukan H_2O_2 merupakan indikator pembentukan $\bullet\text{OH}$ pada reaksi Elektrolisis Plasma. Injeksi udara pada larutan limbah pewarna menurunkan arus listrik pada kurva karekateristik arus-tegangan. Kenaikan suhu larutan dari 45 °C menjadi 75 °C selama 10 menit reaksi tanpa injeksi udara menurunkan konsumsi energi dari 229,9 kJ menjadi 219,5 kJ serta menurunkan produksi H_2O_2 dari 4,8 mmol menjadi 3,1 mmol. Sementara injeksi udara pada suhu 75 °C selama 10 menit proses menurunkan konsumsi listrik hingga 28,5% dan meningkatkan produksi H_2O_2 hingga 27,3 %. Namun demikian injeksi udara hanya meningkatkan degradasi Remazol Red sebesar 1,8 %. Suhu optimum dicapai pada 55°C, dengan produksi H_2O_2 sebesar 5,7 mmol selama 30 menit. Injeksi udara mampu meningkatkan efektivitas proses. Hasil penelitian menunjukkan persen penyisihan mencapai 88,9% dengan konsumsi energi sebesar 115,2 kJ dalam waktu 30 menit reaksi.

Kata kunci: elektrolisis plasma, remazol red, gelembung udara.

Abstract. *Effect of Temperature and Air Injection on Degradation of Remazol Red Textile Dyes by Plasma Electrolysis Method.* The textile dye waste is a liquid waste that is difficult to oxidize and dangerous for the environment. Hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$) are very effective species in oxidizing various organic liquid wastes such as Remazol Red. Plasma Electrolysis Method is very productive in producing Hydroxyl radicals, resulting in effective degradation of various types of textile dye waste such as Remazol Red. This study aims to optimize the degradation process of remazol red RB 133 and its energy consumption using the Plasma Electrolysis method through temperature regulation and injection of air bubbles in solution. The formation of H_2O_2 is used as an indicator of the formation of $\bullet\text{OH}$ in the Plasma Electrolysis reaction. The Air injection decreases the electric current on the current-voltage characteristic curve. The solution temperature increases from 45°C to 75°C for 10 minutes reaction without air injection were able to reduce the energy consumption from 229.9 kJ to 219.5 kJ and H_2O_2 production from 4.8 mmol to 3.1 mmol. Meanwhile, the addition of air injection at 75°C within 10 minutes of reaction were able to reduce electricity consumption by 28.5% and increases H_2O_2 production by 27.3%. However, the addition of air injection only increased the degradation of Remazol Red by 1.8%. The optimum temperature was reached at 55°C, with H_2O_2 production of 5.7 mmol for 30 minutes. The addition of air injection has been shown to increase the effectiveness of the process. The results showed degradation percentage reached 88.9% with energy consumption of 115.2 kJ within 30 minutes of reaction.

Keywords: air injection, plasma electrolysis, remazol red.

Graphical Abstract

1. Pendahuluan

Industri tekstil merupakan industri yang berkembang pesat di Indonesia. Industri ini banyak menggunakan air untuk proses produksinya, diantaranya pencelupan, yaitu proses penambahan zat warna kedalam produk tekstil seperti serat, benang dan kain. Ogugbue dkk. (2011) menyatakan hampir 200 ribu ton zat warna terbuang setiap tahun selama proses pencelupan dan finishing. Berbagai polutan seperti sisa zat pewarna, senyawa organik dan surfaktan ditemukan dalam limbah tekstil. Zat pewarna merupakan salah satu sumber kontaminasi lingkungan karena kestabilan dan sifat toksiknya yang tinggi terhadap makhluk hidup di perairan serta efek karsinogenik terhadap manusia. Adanya sejumlah kecil zat pewarna terlihat jelas dan mempengaruhi kualitas air (Khairy dkk., 2016). Polusi zat pewarna akan meningkatkan kekeruhan, sehingga dapat menghalangi masuknya sinar matahari ke badan air dan mengganggu proses fotosintesis tanaman. Dibutuhkan perlakuan yang tepat untuk memastikan bahwa polutan aman dibuang ke lingkungan.

Ada beberapa teknik yang digunakan untuk menghilangkan zat warna dari limbah, seperti proses koagulasi, oksidasi, filtrasi dan biologis (biodegradasi). Koagulan yang biasa digunakan di industri seperti aluminium sulfat, feri klorida dan polialuminium klorida. Aplikasi bahan kimia ini menimbulkan dampak seperti meningkatnya konsentrasi logam dalam air, produksi lumpur beracun dalam jumlah besar serta berdampak bagi kesehatan (Lau dkk., 2015). Penghilangan zat pewarna dengan koagulan akan menghasilkan lumpur (*sludge*) dalam jumlah yang relatif besar, sehingga akan menimbulkan masalah baru pada unit pengolahan limbah (Manurung dkk., 2004). Ozon cukup efektif dalam menghilangkan warna yang disebabkan oleh *dye* larut air, terutama *fiber acid* dan reaktif *dye*. Hassaan dkk. (2017) menyatakan bahwa proses oksidasi zat pewarna *direct blue* 86 yang dilakukan pada pH 11, menggunakan ozon (O₃) efektif mendegradasi zat pewarna (konsentrasi 100 ppm) hingga 98% pada menit ke-35. Meskipun demikian, ozon tidak efisien untuk mengurangi COD dan total senyawa organik, biasanya tidak melebihi 50 dan 40% (Shriram dan Kanmani, 2014). Proses biodegradasi menggunakan mikro organisme untuk mengubah polutan atau senyawa kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan tingkat toksisitas yang lebih rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Agil dan Sutariningsih (2016) menunjukkan bahwa *Serratia* sp., dan *Klebsiella* sp., mampu mendekolorisasi zat warna indigosol sebesar 88,39 %. Degradasi zat warna azo oleh bakteri *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Flavobacterium* sp., dalam kondisi anaerob lebih cepat dibandingkan aerob, namun demikian dihasilkan amina aromatik yang bersifat lebih toksik dibanding zat warna itu sendiri (Sastrawidana dkk., 2012).

Salah satu metode yang telah dikembangkan untuk mendegradasi pewarna limbah dengan meningkatkan tegangan operasi hingga membentuk plasma melalui prinsip elektrolisis konvensional adalah metode Elektrolisis Plasma. Plasma adalah gas terionisasi akibat lucutan elektromagnetik dan

menghasilkan radikal hidroksil (•OH) dalam jumlah lebih banyak dibandingkan metode lain (Saksono dkk., 2014). Radikal hidroksil merupakan oksidator terkuat yang dapat mengoksidasi senyawa-senyawa organik. Masa tinggal •OH sangat singkat disebabkan karena sifatnya yang sangat reaktif dan non selektif, selain reaktif menyerang limbah organik juga mudah berekombinasi membentuk H₂O₂ (Jiang, dkk., 2014). Keberadaan •OH dapat diketahui dengan mengukur konsentrasi H₂O₂ dalam larutan (Jin dkk., 2010). Adanya senyawa-senyawa logam seperti Mn²⁺, Cu²⁺, Co²⁺, Fe³⁺ di dalam larutan, akan mengakibatkan H₂O₂ terdekomposisi kembali menjadi •OH. Penambahan ion logam tersebut kedalam sistem reaksi akan bertindak sebagai katalis dalam mendegradasi zat pewarna (Gao dkk., 2007).

Injeksi udara pada daerah sekitar plasma mengakibatkan peningkatan produksi elektron dengan energi yang lebih tinggi, sehingga akan menghasilkan spesi aktif •OH yang lebih banyak (Jiang dkk., 2014). Udara kurang lebih mengandung 79% nitrogen dan 21% oksigen, kandungan nitrogen pada udara yang diinjeksikan dapat membentuk spesi aktif (senyawa nitrat) yang bisa membantu proses degradasi limbah, sedangkan penambahan oksigen akan menambah spesi reaktif seperti HO₂•, dan O• (Yamtake dkk., 2007). Potensial oksidasi spesi reaktif HO₂• adalah 1,06 V dan potensial oksidasi O• sebesar 2,42 V (Augusto dan Miyamoto, 2011). Berikut adalah reaksi utama antara oksigen dengan electron yang dapat menghasilkan radikal hidroksil (Yasuoka dkk., 2009):

Remazol red merupakan zat pewarna tekstil dengan rumus molekul C₂₇H₁₈O₁₆N₇S₅Na₄Cl dan bobot molekul 984,2 g/mol, kelarutan dalam air 70 g/L pada suhu 293K (Saksono dkk., 2017). Gambar 1 menunjukkan struktur molekul senyawa *remazol red* RB 133.

Gambar 1. Struktur molekul *Remazol Red* RB-133 (Saksono dkk., 2017)

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan *remazol red* RRB 133 sebagai senyawa model dengan konsentrasi 100 mg/L. Volume total larutan yaitu sebanyak 1000 mL yang terdiri dari Na_2SO_4 0,02 M sebagai elektrolit dan ion Fe^{2+} sebanyak 20 mg/L sebagai katalis. Proses elektrolisis plasma dilakukan secara *batch* menggunakan peralatan yang diadopsi dari Liu dkk. (2010), seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Menggunakan satu anoda dari material tungsten dan katoda dari stainless steel SS-316, dimana anoda dilapisi oleh *pirex* dengan luas kontak 0,097 cm^2 dan tercelup 1,5 cm kedalam larutan. *Bubbler* digunakan untuk membuat gelembung udara dalam larutan. Tahap awal dilakukan karakteristik arus dan tegangan untuk mengetahui tegangan optimal proses dengan dan tanpa injeksi udara. Selanjutnya dilakukan pengukuran konsumsi energi dari data arus dan tegangan. Sementara jumlah H_2O_2 didapat secara iodometri (Day dan Underwood, 2002) dan pengukuran degradasi *remazol red* didapat dengan metode spektrofotometri menggunakan spektrofotometer UV-Vis merk Bell pada panjang gelombang (λ) 510 nm.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh suhu terhadap titik *breakdown* dan titik kritis

Gambar 3 memperlihatkan profil kurva karakteristik arus-tegangan pada suhu 55 °C tanpa injeksi udara. Kurva tersebut menunjukkan adanya tiga zona (Lu dkk., 2011), yaitu zona ohmic ($0 < V < V_B$), zona transisi ($V_B < V < V_D$) dan zona *glow discharge* ($V > V_D$). Zona ohmic ditandai dengan adanya peningkatan arus yang sebanding dengan peningkatan tegangan yang digunakan. Pada zona ini terjadi elektrolisis konvensional (elektrolisis Faraday). Peristiwa elektrolisis pada air ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung gas di sekitar anoda. V_B dinyatakan sebagai *breakdown voltage* (Marcucci dkk., 2002). Pada zona *ohmic*, nilai V_B adalah sebesar 240 V dengan menggunakan arus I_B

(*breakdown current*) sebesar 1,18 A, energi yang digunakan pada proses ini sebesar 284,58 kJ/detik.

Pada zona transisi, terjadi penurunan arus yang berbanding terbalik dengan peningkatan tegangan yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya selubung gas di sekitar anoda yang mengakibatkan terjadinya pembentukan gelembung udara sehingga arus menurun (Lu dkk., 2011 dan Marcucci, dkk., 2002). Bertambahnya gelembung yang dihasilkan akan mempengaruhi kestabilan zona ini, hal ini ditandai oleh semakin berfluktuatifnya arus yang dihasilkan.

Pada zona *glow discharge*, arus meningkat dengan bertambahnya tegangan yang diberikan, sementara plasma yang dihasilkan juga semakin besar. V_D (*critical voltage*) pada zona ini sebesar 540 volt dengan arus I_D (*critical current*) sebesar 0,78 A, yang mengkonsumsi energi sebesar 422,38 kJ/det.

Selubung gas terbentuk ketika laju pembentukan gas di elektroda mencapai nilai kritis, mengakibatkan ketidakstabilan, laju gelembung gas dapat menghancurkan batas antara permukaan gas-cair maka gelembung membentuk *continous* selubung gas (Sengupta dkk., 1997). Fenomena plasma ditandai dengan adanya penurunan drastis arus listrik yang ditunjukkan dengan munculnya selubung gas yang berpendar pada elektroda (Sengupta dan Singh, 1991). Tabel 1 memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya suhu proses, maka nilai V_B semakin menurun. Ini menunjukkan bahwa dengan semakin mudah terbentuknya selubung gas, maka pembentukan plasma juga akan semakin mudah. Selain itu, seiring dengan meningkatnya suhu, nilai dari I_B dan energi juga akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin mudahnya pembentukan selubung gas akibat evaporasi H_2O sebagai dampak dari *joule heating effect*, yang dipengaruhi oleh konfigurasi elektroda, sumber arus serta konduktivitas larutan elektrolit (Saito dkk., 2015). Dengan meningkatnya suhu proses, energi yang dibutuhkan untuk proses penguapan menjadi kecil. Sementara kebutuhan energi untuk proses penguapan sendiri menurut Baspalko mencapai 95 % dari total energi proses (Baspalko, 2014).

Gambar 2. Skema diagram reaktor Elektrolisis Plasma untuk mengolah limbah zat warna *Remazol Red RB-133*

Pada zona V_D , dengan bertambahnya suhu proses, V_D cenderung semakin menurun. Hal ini menunjukkan, bahwa dengan kenaikan suhu proses, pembentukan plasma secara sempurna semakin mudah. Arus I_B dan energi juga semakin menurun, seiring meningkatnya suhu. Ini mengindikasikan bahwa dengan bertambahnya suhu, dibutuhkan lebih sedikit energi untuk menstabilkan plasma.

Pada zona V_D , dengan bertambahnya suhu proses, V_D cenderung semakin menurun. Hal ini menunjukkan, bahwa dengan kenaikan suhu proses, pembentukan plasma secara sempurna semakin mudah. Arus I_B dan energi juga semakin menurun, seiring meningkatnya suhu. Ini mengindikasikan bahwa dengan bertambahnya suhu, dibutuhkan lebih sedikit energi untuk menstabilkan plasma.

3.2. Pengaruh injeksi udara terhadap kurva karakteristik arus-tegangan serta *breakdown point* dan *critical point*

Kurva karakteristik arus – tegangan dibuat dengan membandingkan hasil antara proses yang dilakukan dengan dan tanpa adanya injeksi gelembung udara (Gambar 4). Proses dilakukan pada suhu 45°C dengan kedalaman anoda sebesar 1,5 cm. Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai V_B dan V_D pada proses Elektrolisis Plasma dengan injeksi udara lebih kecil dibandingkan tanpa injeksi udara. Dengan adanya gelembung gas, pencabangan dari lucutan lebih mudah tersebar dan lebih panjang dibandingkan dengan tanpa gelembung gas. Hal ini disebabkan oleh densitas medium pada gelembung gas jauh lebih rendah dibandingkan dengan cairan (Ruma dkk., 2015). Adanya penambahan gelembung udara ke dalam larutan memudahkan pembentukan plasma.

Gambar 3. Kurva karakteristik Arus-Tegangan, suhu 55°C

Gambar 4. Pengaruh gelembung udara (injeksi udara) pada kurva karakteristik Arus-Tegangan

Tabel 2, menunjukkan perbandingan nilai V_B , V_D , I_B , I_D , dan energi dengan dan tanpa injeksi udara. Pada kondisi *breakdown voltage* (V_B), dengan adanya gelembung udara, proses pembentukan selubung gas dimana plasma terbentuk akan lebih mudah, sehingga nilai V_B -nya akan lebih kecil dibanding tanpa gelembung. Penambahan gelembung udara, dapat menstabilkan selubung gas, sehingga plasma lebih mudah terbentuk. Akibatnya konsumsi energi untuk pembentukan plasma akan berkurang secara signifikan. Jyoti dkk. (2001) menyatakan bahwa injeksi udara memiliki efisiensi yang sangat tinggi dibandingkan dengan tanpa injeksi. Dalam medium air murni, dibutuhkan V_B yang lebih tinggi disebabkan oleh kekuatan dielektrik air yang tinggi. Penambahan gas dan dihasilkannya gelembung-gelembung gas serta selubung gas mengarah pada penurunan V_B . Hal ini disebabkan karena konstanta dielektrik gas lebih kecil dibandingkan cairan (Ahmed dkk., 2016).

Pada kondisi V_D , injeksi udara akan mengurangi konsumsi energi. Meskipun demikian, jika dibandingkan dengan kondisi V_B , efek injeksi udara tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena pada kondisi V_D plasma yang terbentuk sudah sempurna, sehingga injeksi udara tidak terlalu berpengaruh terhadap V_D dan I_D .

Arus yang digunakan pada kondisi V_B dan V_D akan lebih kecil dengan adanya injeksi udara (Tabel 2). Selain itu energi pembentukan plasma juga akan lebih rendah. Gelembung gas eksternal dapat mempengaruhi aktivitas kimia plasma sama halnya seperti produksi

radikal atau molekul reaktif. Selain itu, gelembung gas pada air dapat menurunkan medan elektrik yang dibutuhkan untuk lecutan (*discharge*) awal, sehingga mampu mereduksi erosi elektroda, sebuah permasalahan yang umum ditemui pada metode *discharge* langsung. Kelebihan lainnya dari metode gelembung pada lecutan air yaitu mudahnya inisiasi awal dari ionisasi dan proses pergeseran elektron, yang mempengaruhi pembentukan spesies aktif dan mengurangi *joule heating effect* akibat penguapan (Ruma dkk., 2015).

3.3. Efek Injeksi udara dan suhu terhadap produksi $\bullet\text{OH}$ dan energi

Tabel 3 menunjukkan injeksi udara pada proses Elektrolisis Plasma akan memudahkan terbentuknya selubung gas, sehingga pembentukan plasma menjadi lebih mudah. Dengan demikian, energi yang dibutuhkan untuk evaporasi menjadi lebih rendah sehingga efisiensi proses menjadi lebih baik. Hal itu dapat dilihat dari lebih kecilnya energi yang dibutuhkan pada proses injeksi udara. Oleh karena itu, V_B yang rendah dibutuhkan pada konduktivitas yang lebih tinggi. Gelembung dan selubung gas mengurangi V_B akibat kekuatan dielektrik gas jauh lebih kecil dari air. Oleh karena itu, input yang dibutuhkan untuk V_B menjadi lebih tinggi pada medium air murni dibandingkan dengan medium yang terinjeksi gas (Ahmed dkk., 2016).

Tabel 1. Pengaruh suhu proses terhadap nilai V_B , I_B , V_D , I_D , dan energi menggunakan metode Elektrolisis Plasma dengan injeksi udara dan kedalaman anoda 1,5 cm

T (°C)	Breakdown Point			Critical Point		
	V_B (Volt)	I_B (A)	Energi (J/det)	V_D (Volt)	I_D (A)	Energi (J/det)
45	240	1,18	284,58	540	0,78	422,38
55	200	1,09	219,45	520	0,65	339,11
65	200	0,99	198,29	520	0,54	285,06
75	180	0,88	159,95	520	0,47	244,73

Tabel 2. Efek Injeksi Udara Terhadap Nilai V_B , I_B , V_D , I_D , dan Konsumsi Energi

Metode	Breakdown Voltage			Critical Voltage		
	V (volt)	I (A)	Energi J/det	V (volt)	I (A)	Energi (J/det)
Injeksi Udara	240	1,185	284,4	540	0,7822	422,385
Tanpa Injeksi udara	300	1,197	359,1	560	0,8419	471,464

Tabel 3. Efek Injeksi udara terhadap produksi H_2O_2 dan konsumsi energi

Waktu (min)	Injeksi Udara								Tanpa Injeksi Udara							
	H_2O_2 (mmol)				Energi (kJ)				H_2O_2 (mmol)				Energi (kJ)			
	45°C	55°C	65°C	75°C	45°C	55°C	65°C	75°C	45°C	55°C	65°C	75°C	45°C	55°C	65°C	75°C
10	2,1	2,1	1,7	1,4	240,6	160,2	158,1	156,9	1,9	1,6	1,5	1,1	229,9	170,3	215,7	219,5
20	3,7	3,9	2,8	2,6	218,1	127,8	127,3	125,3	2,8	3,1	2,3	2,6	206,0	134,9	192,5	206,0
30	5,4	5,7	3,8	3,6	176,4	115,2	110,6	107,5	4,8	4,2	3,7	3,1	158,5	124,2	151,6	199,1

Dari sisi produksi $\bullet\text{OH}$, adanya gelembung udara akan memperbesar interaksi antara O_2 yang terkandung dalam udara dengan spesi reaktif, sehingga produksi $\bullet\text{OH}$ menjadi lebih besar (Yamtake dkk., 2007). Molekul-molekul gas akan memiliki energi saat lecutan plasma terbentuk ketika diinjeksikan gelembung gas pada selubung plasma. Hal ini mengakibatkan adanya peningkatan produksi radikal reaktif pada area yang terkontak (Ruma dkk., 2015). Dengan meningkatnya produksi $\bullet\text{OH}$, maka efisiensi proses menjadi lebih baik.

Tabel 3 memperlihatkan dengan meningkatnya suhu, maka produksi H_2O_2 menurun. Hasil penelitian menunjukkan pada suhu 55°C dengan injeksi udara dihasilkan H_2O_2 yang optimum. Hal ini kemungkinan disebabkan karena dengan meningkatnya suhu maka H_2O_2 yang terbentuk dari $\bullet\text{OH}$ dapat terdekomposisi menjadi H_2O dan O_2 (Yazici dan Deveci, 2010). Energi pembentukan plasma dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu proses, maka kebutuhan energi proses semakin menurun. Hal ini berhubungan dengan penurunan energi evaporasi dalam proses pembentukan plasma yang menurun, seiring dengan dengan peningkatan suhu, Baspalko (2014) menyatakan bahwa peningkatan suhu proses akan menurunkan konsumsi energi pembentukan plasma (Baspalko, 2014).

3.4. Pengaruh injeksi udara terhadap Penyisihan *Remazol Red*

Selama berlangsungnya proses elektrolisis plasma, akan dihasilkan $\bullet\text{OH}$ yang berperan sebagai oksidator kuat yang akan mendegradasi senyawa *remazol red* dalam larutan. Tabel 4 menunjukan pengaruh injeksi udara terhadap penyisihan *Remazol Red RB 133*. Proses penyisihan berlangsung cepat sekitar 86% pada 6 menit pertama karena jumlah senyawa *remazol red* masih sangat banyak, sehingga $\bullet\text{OH}$ dapat bereaksi secara cepat dengan limbah pewarna. Untuk selanjutnya proses penyisihan akan berjalan lambat baik dengan ataupun tanpa adanya injeksi gelembung udara. Hal ini disebabkan oleh rendahnya konsentrasi *remazol red* dalam larutan, sehingga menyulitkan senyawa ini untuk didegradasi. Akibat sedikitnya jumlah limbah serta waktu tinggal $\bullet\text{OH}$ yang singkat, yaitu $3,7 \times 10^{-9}$ detik, maka $\bullet\text{OH}$ akan berekombinasi dengan sesama membentuk H_2O_2 (Jiang dkk., 2014).

Tabel 4. Pengaruh injeksi udara terhadap penyisihan *Remazol Red*

Waktu (menit)	% Penyisihan	
	Injeksi	Tanpa Injeksi
0	0,00	0,00
6	86,92	86,13
20	88,43	87,03
30	88,91	87,34

Tabel 4 menunjukkan tidak terjadi peningkatan penyisihan yang signifikan dengan adanya injeksi udara, sementara di Tabel 3 Injeksi udara signifikan meningkatkan produksi $\bullet\text{OH}$. Hal ini disebabkan pada konsentrasi limbah yang sudah rendah (persen penyisihan diatas 80 %) maka $\bullet\text{OH}$ yang terbentuk akan lebih menyukai reaksi rekombinasi sesama $\bullet\text{OH}$ membentuk H_2O_2 (Jiang, dkk., 2014), sehingga meskipun terjadi penambahan produksi $\bullet\text{OH}$ pada penambahan gelembung udara, namun tidak menyebabkan peningkatan yang berarti pada degradasi limbah. Untuk dapat mengamati pengaruh $\bullet\text{OH}$ terhadap penyisihan maka Perlu dilakukan pengamatan pada 60 detik pertama reaksi, dimana konsentrasi limbah masih cukup tinggi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil menyisihkan limbah zat pewarna tekstil *remazol red* RB 133 menggunakan metode Elektrolisis Plasma. Konsumsi energi pembentukan plasma menurun dengan meningkatnya suhu larutan. sementara pada injeksi udara, produksi optimal radikal hidroksil dicapai pada suhu 55°C . Injeksi udara pada larutan menunjukkan penurunan konsumsi energi dan peningkatan produksi H_2O_2 . Sementara untuk penyisihan limbah pewarna *Remazol Red 133* tidak terjadi peningkatan yang signifikan.

Ucapan Terima kasih

Riset ini sebagian dibiayai oleh Hibah PUDPT RISTEK DIKTI No kontrak NKB-1786/UN2.R3.1/HKP.05.00/2019.

Daftar Pustaka

- Agil, M.; Sutariningsih, E., Dekolorisasi Pewarna Indogol oleh Bakteri Tanah, *Prosiding Symbion (Symposium on Biology Education)*, Yogyakarta, 27 Agustus, 2016.
- Ahmed, M.; Suresh, R.; Keun Yang, J; Choi. S.; Lee, H., Effect of Water Conductivity on the Generation of $\bullet\text{OH}$ Radicals in High Frequency Underwater Capillary Discharge. *International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering*, 2016, **4**(3), 28-34.
- Augusto, O.; Miyamoto, S., Oxygen Radicals and Related Species. Pantopoulos, K., Schipper, H.M., eds. *Principles of Free Radical Biomedicine*, Nova Biomedical Press, 2011, Vol. 1, pp. 1-22.
- Day; Underwood, *Analisa Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2002.
- Gao, J.; Guo, X.; Ma, D.; Yang, W., The Role of Fe (II) in the Contact Glow Discharged Electrolysis, Plasma Science and Technology. *Plasma Science and Technology*, 2007, **9**(04), 430-435.
- Hassaan, M.; Ell Nemr A.; Madkour F.F., Testing the Advanced Oxidation Processes on the Degradation of

- Direct Blue 86 Dye in Wastewater. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2017, **43**(1), 11-19.
- Jiang, B.; Zheng, J.; Qiu, S.; Wu, M.; Zhang, Q.; Yan, Z.; Xue, Q., Review on Electrical Discharge Plasma Technology for Wastewater Remediation. *Chemical Engineering Journal*, 2014, **236**, 348-368.
- Jin, X.; Wang, X.; Yue, J.; & Cai, Y., The Effect of Electrolysis Constituents on Contact Glow Discharge Electrolysis. *Electrochimica Acta*, 2010, **56**, 925-928.
- Jyoti, K.K.; Pandit, A.B., Water Disinfection by Acoustic and Hydrodynamic Cavitation. *Biochemical Engineering Journal*, 2011, **7**(3), 201-212.
- Khairy, M.; Kamal, B.; Amin, N.H.; Mousa, M.A., Kinetic and Isoterm Studies of Remazol Red Adsorption onto Polyaniline/Cerium Oxide Composites. *Journal of Basic and Environmental Sciences* 3, 2016, **2016**, 123-132.
- Lau, Y.; Wong, Y.S.; Teng, T.T.; Morad, N.; Rafatullah, M.; Ong, S.A., Degradation of Cationic and Anionic Dyes in Coagulation-Flocculation Process using Bi-functionalized Silica Hybrid with Aluminum-Ferric as Auxiliary Agent. *Journal Royal Society of Chemistry*, 2015, **5**, 34206-34215.
- Liu, Y.; Wang, D.; Sun, B.; Zu, X., Aqueous 4-nitrophenol Decomposition and Hydrogen Peroxide Formation Induced by Contact Glow Discharged Electrolysis. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **181**(1-3), 1010-1015.
- Lu, Q.; Yu, J.; Gao, J.; Yang, W.; Li, Y., Glow-discharge Electrolysis Plasma Induced Synthesis of Polyvinylpyrrolidone/Acrylic Acid Hydrogel and its Adsorption Properties for Heavy-metal Ions. *Plasma Processes and Polymers*, 2011, **8**(9), 803-814.
- Manurung R.; Hasibuan, R.; Irvan, Perombakan, Zat Warna Azo Reaktif secara Anaerob-Aerob. *Prosiding Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara*, Medan, 11 Oktober 2004.
- Marcucci, M.; Ciardelli, G.; Matteucci, A.; Ranieri, L.; Russo, M., Experimental Campaigns on Textile Wastewater for Reuse by Means of Different Membrane Processes. *Desalination*, 2002, **149**(1), 137-143.
- Ogugbue, C.J.; Sawidis T., Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas hydrophila* Isolated from Industrial Effluent. *Biotechnology Research International*, 2011, **2011**, 1-11.
- Ruma; Habib, M.A.; Hosseini, S.H.R.; Sakugawa, T.; Akiyama, H., Treatment of Wastewater by Underwater Discharge in Gas Bubbling Water. *International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering*, 2015, **03**(03), 189-194.
- Saksono, N.; Nugraha, I.; Gozan, M.; Bismo, S.; Indonesia, U., Plasma Formation Energi and Hydroxyl Production on Contact Glow Discharged Electrolysis. *International Journal of Arts & Sciences*, 2014, **07**(03), 71-77.
- Saksono, N.; Puspita, I.; Sukreni, T., Application of Contact Glow Discharge Electrolysis Method for Degradation of Batik Dye Waste Remazol Red by the Addition of Fe^{2+} ion. *AIP Conference Proceedings*, 2017, **1823**, 020003.
- Saito, G.; Nakasugi, Y.; Akiyama T., Generation of Solution Plasma Over a Large Electrode Surface Area, *Journal of Applied Physics*, 2015, **118**, 023303.
- Sastrawidana, I.D.K., Perombakan Air Limbah Tekstil menggunakan Jamur Pendegradasi Kayu Jenis *Polyporus* sp Teramobil pada Serbuk Gergaji Kayu. *Jurnal Bumi Lestari*, 2012, **2**(02), 382-389.
- Sengupta, S.K.; Singh, O.P., Contact Glow Discharge Electrolysis: A Study of Its Onset and Location. *Journal of electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry*, 1991, **301**, 189-197.
- Sengupta, S.K., Srivastava, A.K., Singh, R., Contact Glow Discharge Electrolysis: A Study on Its Origin in The Light of The Theory of Hydrodynamic Instabilities in Local Solvent Vaporisation by Joule Heating During Electrolysis. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 1997, **427**, 23-27.
- Shriram, B.; Kanmani, S., Ozonation of Textile Dyeing Wastewater-A Review. *Indian Journal of Environmental Protection*, 2014, **2014-15**(3), 46-50.
- Yazici, E.Y.; Deveci, H., Factor Affecting Decomposition of Hydrogen Peroxide. *Proceedings of The XIIth International Mineral Processing Symposium, Cappadocia- Nevsehir*, Cappadocia-Nevsehir, 6-8 October, 2010.
- Yamtake, A.; Katayama, H.; Yasuoka, K.; Ishii, S., Purification by Atmospheric DC/Pulsed Plasmas Inside Bubbles in Water. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 2007, **1**(1), 91-95.
- Yasuoka, K.; Sato, K., Development of Repetitive Pulsed Plasmas in Gas Bubbles for Water Treatment. *International Journal of Plasma Environment Science and Technology*, 2009, **3**(1), 22-27.