

PENURUNAN WARNA, COD DAN TSS LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN FLOW RATE OKSIGEN

Mochtar Hadiwidodo¹, Haryono Setyo Huboyo¹, Indrasarimmawati²

¹ Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang,

² Alumni Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP

ABSTRACT

Textile wastewater consist of colour matter, Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solid (TSS) in high dose so that it have potency to pollute environment. Generally, textile wastewater can be treatment by konventional method. But, this method was not efficient because operational cost which is expensive. Discharge technology is new method to textile wastewater treatment. Dielectric Barrier Discharge reactor is discharge reactor to decompose organic matter in wastewater. Discharge was formed in reaktor which was given high voltage current to result active spesies with high oxidation potential, such us $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{O}$, $\cdot\text{H}$, O_3 dan H_2O_2 which are important to organic matter decomposition. This research intends to know capability of discharge which was formed in Dielectric Barrier Discharge reactor to decrease color matter, COD, and TSS. Textile wastewater was treatment ini the Dielectric Barrier Discharge reactor with variation in voltage (16,17,18 kV) and Oxygen flow rate (0,5;1,5;2,5 l/m). Voltage and oxygen flow rate variation affective to decomposition efficiency of colour, COD and TSS. Decomposition of each pollutant will be higher with voltage increasing and flowrate decreasing. Colour, COD and TSS decreasing was highest when was given maximum Voltage (18 kV) and minimum Oxygen flow rate (0,5 l/m). Percentages of colour, COD and TSS are 47,78%, 76,50% and 70,72%. Even pH in final treatment are between 6-7. Energy input which was needed to maximal treatment is 0,1128 kWh with electrical cost Rp.8,134/l.

Key words: *textile wastewater, Dielectric Barrier Discharge, oxidation, active species*

PENDAHULUAN

Limbah industri tekstil memiliki kadar warna dan COD yang cukup tinggi karena sebagian besar limbah yang dihasilkan berupa campuran dari bahan - bahan organik sebagai produk samping dari proses produksi. Pewarnaan dan pem-bilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai.

Selama ini, di Indonesia sebagian besar pengolahan limbah dilakukan secara fisika, kimia dan biologi. Namun, pengolahan kimia, fisik maupun biologi yang biasa diterapkan sering kali dirasa menjadi kurang efektif karena semakin kompleksnya limbah yang dihasilkan dan biaya operasional yang tinggi (Sugiarto ,2002). Pengolahan limbah harus memper-timbangan segi efisiensi dan biaya pengolahan yang harus dikeluarkan oleh industri yang bersangkutan. Sehingga dibutuhkan teknologi yang lebih efektif dan ekonomis untuk pengolahan limbah industri.

Perkembangan teknologi pada saat ini mengarah pada metode baru yang dinilai lebih efektif untuk mengolah limbah. Teknologi plasma dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan limbah tersebut. Teknologi plasma ini dapat digunakan secara langsung pada pengolahan limbah cair. Namun di negara – negara maju seperti Jepang sudah banyak industri yang menggunakan teknologi plasma terutama untuk purifikasi udara dan air. Teknologi ini mampu menyisihkan limbah air hampir 100 % (Japan Engineering Newspaper ,1996 dalam Sugiarto, 2000). Teknologi plasma memanfaatkan elektron energi tinggi, ion dan spesies aktif yang terkandung dalam plasma untuk mengoksidasi senyawa organik dan zat warna. Teknologi plasma masih sangat jarang diterapkan di Indonesia, namun demikian teknologi ini mampu menyisihkan senyawa organik dalam limbah cair tanpa menghasilkan *sludge*.

METODOLOGI PENELITIAN

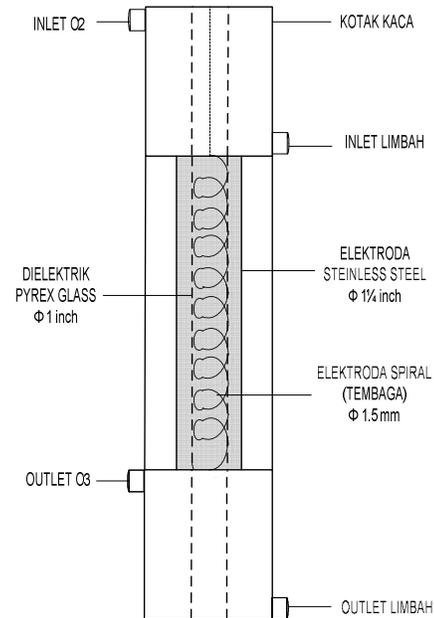
Penelitian ini meliputi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, pelaksanaan penelitian serta tahap analisis dan pembahasan hasil penelitian. Tahap persiapan dilakukan dengan melakukan persiapan alat dan bahan, perakitan reaktor plasma dan analisa awal sampel limbah yang akan digunakan. Sebelum dilakukan perlakuan terhadap sampel limbah, dilakukan uji coba pada reaktor plasma yang akan digunakan.

Pada tahapan penelitian, sampel limbah dilewatkan pada reaktor plasma dengan perlakuan yang berbeda sesuai dengan perubahan variabel tegangan listrik dan *flow rate* O₂. Penentuan variabel ini mengacu pada studi literatur dan penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini. Pada tahap selanjutnya dilakukan pengambilan data hasil penelitian yaitu berupa kadar warna, COD dan TSS pada limbah hasil olahan yang dilanjutkan dengan analisis perubahan karakteristik limbah setelah perlakuan dalam reaktor plasma.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dimulai dengan perakitan reaktor. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *Dielectric Barrier Discharge* dengan menggunakan dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Elektroda yang digunakan adalah elektroda berkonfigurasi spiral – silinder. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga dengan diameter 1.5 mm, sedangkan elektroda silinder terbuat dari bahan stainless steel. Bahan dielektrik yang digunakan berupa tabung gelas *pyrex* dengan panjang 130 mm dengan diameter luar 1 inch dan ketebalan 2 mm.

Agar dalam reaktor dapat terbentuk plasma maka elektroda pada reaktor dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi. Elektroda spiral dihubungkan dengan *High Voltage* AC sedangkan elektroda silinder dihubungkan dengan *ground*. Sistem penyedia tegangan tinggi merupakan peralatan utama dalam penelitian ini. Tegangan yang dihasilkan digunakan untuk membangkitkan reaktor plasma. Besarnya tegangan yang dibangkitkan diukur menggunakan osiloskop. Osiloskop ini dilengkapi dengan *probe* yang berfungsi untuk memperkecil tegangan tinggi sehingga dapat dibaca oleh osiloskop.

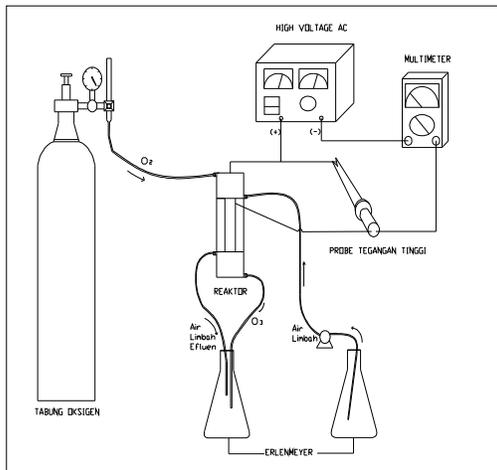


Gambar 1. Skema Reaktor *Dielectric Barrier Discharge*

Sampel limbah cair tekstil diambil dari bak ekualisasi Waste Water Treatment Plant (WWTP) PT. APAC INTI CORPORA. Parameter yang diuji pada analisis awal ini adalah warna, COD, TSS, pH serta minyak dan lemak. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Limbah Cair.

2. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan merangkai semua alat yang telah disiapkan yaitu dimulai dengan menghubungkan kedua elektroda reaktor dengan *High Voltage* melalui *probe* tegangan tinggi. Besarnya tegangan yang dihasilkan dapat dilihat pada osiloskop merk INSTEK yang terhubung langsung dengan *probe*. Kemudian *High Voltage* dihubungkan dengan tegangan listrik dari PLN. *High Voltage* ini akan menaikkan tegangan listrik dari PLN sebesar 220 V menjadi >10 kV. Nilai variasi tegangan diperoleh dengan penentuan batas minimum dan maksimum tegangan yang akan dihasilkan.



Gambar 2. Skema Rangkaian Alat

Proses dilanjutkan dengan mengalirkan sampel limbah dan oksigen murni secara bersamaan ke dalam reaktor. Sampel limbah diolah dalam reaktor plasma dengan variasi tegangan 16, 17, dan 18 kV dan kecepatan aliran oksigen 0,5 l/menit, 1,5 l/menit dan 2,5 l/menit. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran limbah sebesar 20 ml/menit. Kondisi eks-ternal pengolahan seperti suhu diasumsikan tidak berpengaruh terhadap proses pengolahan dalam plasma karena plasma yang terbentuk pada reaktor *Dielectric Barrier Discharge* merupakan jenis plasma nonthermal.

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Karakteristik Awal Sampel Limbah

Analisis karakteristik awal sampel limbah cair industri tekstil PT APAC INTI CORPORA dilakukan sebelum percobaan. Uji karakteristik awal limbah dilakukan dengan menganalisis beberapa parameter yang menjadi bahasan penelitian ini, yaitu warna, COD, TSS, minyak dan lemak serta pH. Berdasarkan data hasil uji karakteristik awal sampel limbah diketahui bahwa parameter COD, TSS dan pH belum memenuhi baku mutu. Sedangkan parameter minyak dan lemak memiliki nilai yang kecil sehingga baik untuk diolah dengan menggunakan reaktor plasma. Pada penelitian parameter yang menjadi fokus pembahasan adalah warna, COD dan TSS.

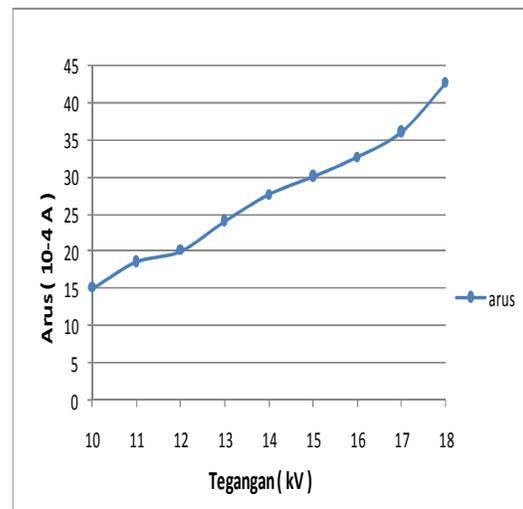
2. Analisis Karakteristik Reaktor

Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor plasma ber-konfigurasi spiral – silinder. Reaktor ini

menggunakan tembaga spiral dan selinder stainless steel sebagai elektrodanya. Kedua elektroda dipisahkan dengan bahan dielektrik yang terbuat dari kaca pyrex. Plasma yang terbentuk dalam reaktor ini merupakan lucutan plasma berpenghalang atau sering dikenal dengan *Dielectric Barrier Discharge*.

Plasma yang dihasilkan dari reaktor plasma ini merupakan plasma non termal, yang dapat menghasilkan spesies kimia yang bereaktif tinggi untuk menghancurkan polutan – polutan dalam air. Reaktor plasma lucutan dengan penghalang dielek-trik dapat menghasilkan plasma senyap dengan durasi waktu yang singkat dan pulsa tegangan tinggi. Energi elektron dihasilkan dalam bentuk *streamer* yang dibentuk dari spesies aktif pada temperatur kamar (Korzekwa, et al, 1998).

Pada reaktor ini, tegangan maksimum yang diberikan adalah 18 kV dengan arus yang mengalir pada reaktor seperti pada Gambar 3.



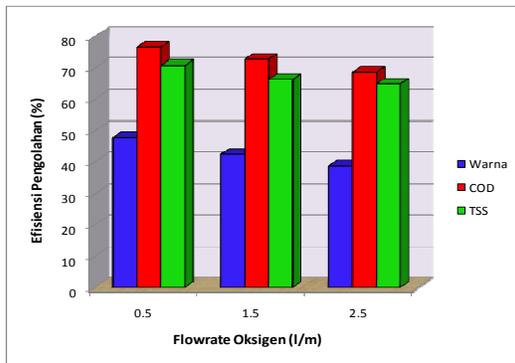
Gambar 3. Karakteristik Tegangan – Arus pada *Dielectric Barrier Discharge*

Data hasil penelitian diperoleh dari uji karakteristik sampel limbah industri tekstil yang telah mendapat perlakuan pada reaktor plasma dengan variasi tegangan dan *flowrate* Oksigen. Variasi tegangan yang digunakan adalah 16, 17, dan 18 kV yang masing – masing dioperasikan dengan *flowrate* Oksigen sebesar 0,5; 1,5 dan 2.5 Liter/menit. Sampel limbah yang digunakan untuk setiap perlakuan (perubahan variasi) adalah sebanyak 300 ml dengan total waktu pengolahan selama 1,475 jam. Hasil uji karakteristik akhir limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Karakteristik Akhir Sampel Limbah

Teg (kV)	Parameter	Satuan	Flowrate Oksigen (liter/menit)		
			0.5	1.5	2.5
16	Warna	PtCo	9.335	9.875	10.615
	COD	mg/l	608	669	698
	TSS	mg/l	595	643	678
	pH	-	6	7	7
17	Warna	PtCo	8.725	9.300	10.355
	COD	mg/l	516	577	608
	TSS	mg/l	565	615	655
	pH	-	6	6	6
18	Warna	PtCo	8.120	8.955	9.540
	COD	mg/l	365	426	486
	TSS	mg/l	475	545	570
	pH	-	6	6	6

Kondisi optimum pengolahan limbah ini terjadi pada saat sampel yang telah diolah dengan reaktor plasma menghasilkan nilai penurunan parameter yang paling tinggi. Efisiensi penyisihan parameter warna, COD, dan TSS menunjukkan hasil yang paling baik terjadi pada tegangan maksimum, yaitu 18 kV dengan flowrate oksigen sebesar minimum yaitu 0,5 liter/menit.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Pengolahan Limbah Tekstil pada Tegangan Maksimum

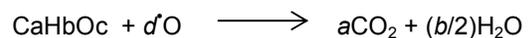
Pemanfaatan plasma dengan reaktor Dielectric Barrier Discharge berkonfigurasi spiral-silinder untuk pengolahan sampel limbah tekstil ini menghasilkan nilai efisiensi pengolahan warna 47,78%, COD 76,50 % dan TSS 70,72 %. Gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai efisiensi penurunan parameter warna, COD dan TSS untuk setiap perubahan flow rate oksigen pada kondisi optimum reaktor plasma yaitu pada tegangan 18 kV. Dapat terlihat dengan jelas bahwa efisiensi penurunan parameter paling tinggi terjadi pada flow rate oksigen sebesar 0,5 l/m.

3. Pengaruh Tegangan terhadap Penurunan Warna, COD dan TSS

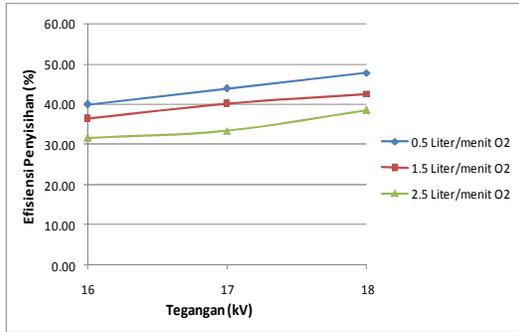
Konsentrasi warna semakin turun seiring dengan makin besarnya tegangan yang diberikan pada reaktor plasma yaitu dengan variasi 16 – 18 kV. Konsentrasi warna paling rendah terjadi pada tegangan 18 kV yaitu 8120 PtCo (dengan flow rate O₂ 0,5 l/m) sedangkan pada tegangan 16 kV konsentrasi warna sebesar 10615 PtCo (dengan flow rate O₂ 2,5 l/m). Konsentrasi COD pada tiap variasi tegangan belum memenuhi baku mutu yang diatur dalam Perda Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004. Nilai COD pada kondisi optimum sebesar 365 mg/l, masih berada diatas baku mutu yaitu 150 mg/l. Nilai TSS pada kondisi optimum pengolahan juga belum dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004. Konsentrasi TSS pada tegangan 18 kV dan flow rate oksigen 0,5 l/m sebesar 475 mg/l. Nilai ini masih berada diatas baku mutu, yaitu 50 mg/l.

Penurunan konsentrasi warna, COD dan TSS dalam limbah cair tekstil ini terjadi karena reaksi antara spesies aktif dengan senyawa organik menjadi molekul air. Sebagian besar spesies aktif yang terbentuk merupakan oksidator kuat. Diantara spesies aktif yang terbentuk, radikal hidroksil ([•]OH) dan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) merupakan spesies yang berperan penting dalam penguraian senyawa organik dalam limbah cair (Thobanoglous, 2003). Dengan adanya radikal hidroksil ini, maka pengolahan akan menjadi lebih cepat, karena potensial oksidasinya tinggi (2,8 V). Radikal hidroksil mengoksidasi senyawa organik dengan reaksi berantai. Senyawa organik yang terkandung dalam limbah akan terurai menjadi CO₂ dan H₂O.

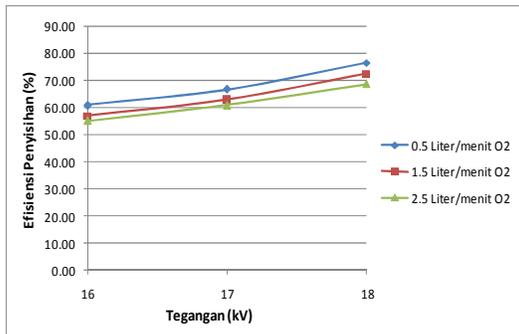
Berikut ini persamaan stokiometri yang menunjukkan reaksi oksidasi senyawa organik oleh atom oksigen (Eckenfelder, 2000):



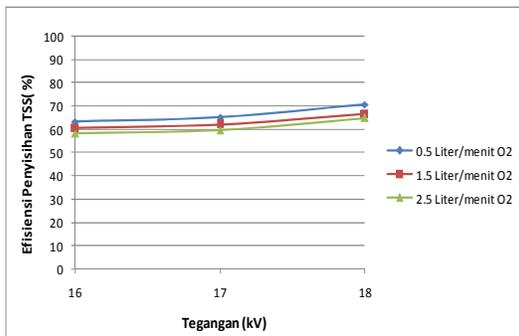
Berdasarkan bahasan diatas, peningkatan tegangan dapat meningkatkan jumlah elektron sehingga memungkinkan terjadi banyak tumbukan antara elektron dan udara, akibatnya spesies aktif yang terbentuk akan semakin meningkat pula. Spesies aktif inilah yang berperan penting dalam penguraian senyawa organik dalam limbah. Oleh karena itu, peningkatan tegangan akan meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair industri tekstil dengan memanfaatkan teknologi plasma.



Gambar 5. Hubungan Tegangan dengan Efisiensi Penurunan Warna



Gambar 6. Hubungan Tegangan dengan Efisiensi Penurunan COD



Gambar 7. Hubungan Tegangan dengan Efisiensi Penurunan TSS

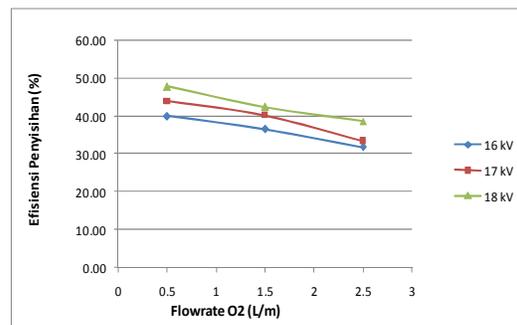
Dari ketiga gambar dapat terlihat pola grafik yang cenderung datar antara tegangan 16 kV dan 17 kV, namun antara tegangan 17 kV dengan 18 kV pola grafik terlihat lebih curam, hanya pada grafik hubungan *flow rate* oksigen dengan warna yang menunjukkan pola grafik yang agak datar. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju penurunan parameter COD dan TSS antara tegangan 17 kV dan 18 kV lebih tinggi dari pada laju penurunan parameter antara tegangan 16 kV dan 18 kV, sedangkan laju penurunan warna pada setiap tegangan cukup stabil. Pada

kondisi *flow rate* oksigen optimum (0,5 l/m), antara tegangan 16 kV dan 17 kV penurunan warna, COD dan TSS berturut – turut adalah 3,92%, 5,92% dan 1,85%. Sedangkan antara tegangan 17 kV dengan 18 kV, penurunan warna, COD dan TSS berturut – turut adalah sebesar 3,89%, 9,73% dan 5,55%.

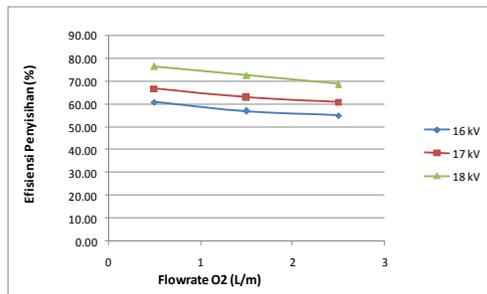
4. Pengaruh *Flow Rate* Oksigen terhadap Penurunan Warna, COD dan TSS

Penurunan kadar warna, COD dan TSS pada sampel limbah tekstil yang diolah dengan *Dielectric Barrier Discharge* dipengaruhi oleh banyaknya oksigen yang tersedia pada reaktor saat proses pelucutan plasma. Dalam proses pengolahan limbah tekstil ini, keberadaan oksigen dalam reaktor plasma berperan penting untuk pembentukan spesies aktif. Spesies aktif terbentuk dari ionisasi maupun disosiasi oksigen dalam reaktor yang bereaksi dengan elektron.

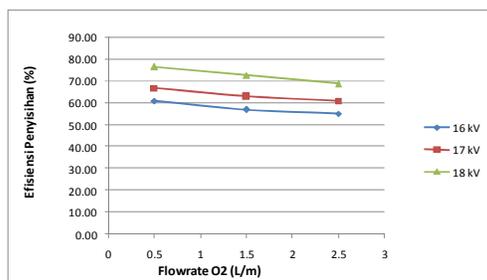
Semakin besar *flow rate* oksigen, maka pe-nurunan warna, COD dan TSS pada rentang *flow rate* oksigen 0,5 – 2,5 l/m akan semakin kecil. Pada kondisi *flow rate* oksigen yang tinggi jumlah spesies aktif yang dihasilkan semakin sedikit. Efisiensi penurunan warna paling tinggi yaitu sebesar 47,78% terjadi pada saat variasi *flow rate* O₂ 0,5 l/m, sedangkan efisiensi paling rendah terjadi pada tegangan minimum (16 kV) dengan *flowrate* O₂ 2,5 liter/menit yaitu sebesar 31,74%. Efisiensi penyisihan COD paling tinggi yaitu sebesar 76,50% juga terjadi pada saat kondisi tegangan optimum (18 kV) yang disertai *flowrate* O₂ 0,5 liter/menit sedangkan efisiensi paling rendah yaitu sebesar 55,05% terjadi pada tegangan minimum (16 kV) dengan *flowrate* O₂ 2,5 liter/menit. Demi-kian pula halnya dengan penurunan TSS yang paling tinggi terjadi pada kondisi optimum yaitu sebesar 70,72%.



Gambar 8. Hubungan *Flow Rate* Oksigen dengan Efisiensi Penurunan Warna



Gambar 9. Hubungan Flow Rate Oksigen dengan Efisiensi Penurunan COD



Gambar 10. Hubungan Flow Rate Oksigen dengan Efisiensi Penurunan TSS

Hubungan antara *flow rate* oksigen dengan efisiensi penurunan parameter limbah pada gambar menunjukkan bahwa semakin besar *flow rate* oksigen yang dialirkan dalam reaktor maka semakin kecil senyawa organik dalam limbah yang teroksidasi. Jika *flow rate* oksigen yang dialirkan kedalam reaktor semakin tinggi, maka densitas gas dalam reaktor juga akan semakin tinggi. Meningkatnya densitas oksigen ini akan menyebabkan jarak ruang bebas (*mean free path*) gas dalam reaktor akan menurun. Dengan *mean free path* yang semakin pendek, elektron bebas yang dihasilkan dalam reaktor akan lebih sering ber-tumbukan dengan molekul – molekul penyusun gas. Karena jarak yang ditempuh oleh elektron lebih pendek maka akibatnya energi yang dihasilkan juga kecil sehingga jumlah spesies aktif baik berupa ion maupun radikal bebas yang dihasilkan juga akan berkurang.

Jika gas dalam reaktor mempunyai densitas yang lebih rendah, maka jarak ruang bebas (*mean free path*) reaktor menjadi lebih besar. Hal ini memungkinkan terjadinya tumbukan antara elektron dan molekul gas Oksigen dengan frekuensi yang lebih kecil. Tumbukan tersebut menyebabkan elektron memiliki energi yang besar sehingga memungkinkan terbentuknya radikal bebas dan ion yang semakin besar. Spesies aktif baik berupa radikal bebas maupun ion inilah yang

mampu mengoksidasi senyawa organik dalam limbah cair. Oleh karena itu, pada *flow rate* oksigen yang lebih kecil penyisihan COD pada sampel limbah se-makin tinggi.

5. Analisis Energi dan Biaya

Perhitungan energi listrik ini bertujuan untuk mengetahui besarnya input yang diperlukan dalam penelitian. Energi paling banyak dibutuhkan untuk membangkitkan plasma pada tegangan 18 kV yaitu sebesar 0,1128 kWh, pada tegangan 17 kV dibutuhkan energi sebesar 0,0903 kV sedangkan pada tegangan minimum (16 kV) energi yang dibutuhkan sebesar 0,0767 kV. Dengan demikian, energi yang dibutuhkan untuk mengolah limbah tekstil sebanyak 300 ml dengan menggunakan *Dielectric Barrier Discharge* akan semakin tinggi seiring dengan penambahan tegangan yang diberikan pada reaktor.

Besarnya biaya listrik ditentukan berdasarkan tegangan, kuat arus yang mengalir dan waktu kontak limbah dengan plasma. Berdasarkan perhitungan, biaya listrik yang paling besar dikeluarkan pada tegangan 18 kV. Pada tegangan tersebut terjadi penurunan parameter pencemar yang paling tinggi. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa untuk mendapatkan hasil pengolahan yang maksimum dibutuhkan biaya yang lebih besar. biaya listrik yang dikeluarkan pada tegangan 16, 17 dan 18 kV berturut – turut sebesar Rp.5,529/l, Rp 6,507/l dan Rp 8,134/l.

KESIMPULAN

Sesuai dengan tujuan penelitian serta hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. a.) Dari hasil analisis kuantitatif dengan program SPSS, variabel tegangan dan *flow rate* oksigen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar warna, COD, dan TSS.
b.) Penurunan kadar warna, COD dan TSS limbah tekstil dengan menggunakan teknologi *Dielectric Barrier Discharge* semakin tinggi seiring dengan penambahan tegangan pada variasi 16 – 18 kV dan penurunan *flow rate* oksigen pada variasi 2,5 - 0,5 l/m.
2. Penurunan parameter warna, COD dan TSS limbah cair tekstil yang diolah dengan *Dielectric Barrier Discharge* paling maksimal terjadi pada tegangan 18 kV dengan *flow rate* oksigen 0,5 l/m.

3. Energi yang dibutuhkan untuk mengolah limbah tekstil dengan menggunakan *Dielectric Barrier Discharge* pada tegangan 16, 17, dan 18 kV secara berturut – turut adalah 0,0767 kWh, 0,0903 kWh dan 0,1128 kWh sedangkan biaya listrik yang dikeluarkan sebesar Rp.5,529/l, Rp 6,507/l dan Rp 8,134/l.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. Sri Simestri Santika, 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Alonso, M., dan Finn, E.J., 1994. *Dasar-Dasar Fisika Universitas Jilid 2*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Anonim, 2006. *Prespektif on plasmas*. <http://www.plasma.org>.
- Aryanto, Imam. Septana, 2007. *Penurunan Kadar Fenol dan COD Pada Limbah Cair Industri Cat dengan Teknologi Plasma dalam Permukaan Air*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Chen, J., dan Davidson, J.H., 2002. *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions*. Plasma Chemistry and Plasma Processing. Vol. 22. pp 199-224.
- Degremont., 1979. *Water Treatment Handbook*. New York: Halsted Press.
- Eckenfelder, W. Wesley, 2000. *Industrial Water Pollution Control*. New York: McGraw Hills Companies.
- Isminingsih dan Djufri, Rasjid, 1979. *Pengantar Kimia Zat Warna*. Bandung: Akademi Sekolah Industri.
- Keputusan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I Jawa Tengah Nomor 660.1/02/1997 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri Tekstil.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep.51/MENLH/10.1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri Tanggal : 23 Oktober 1995
- Kickuth, R., et al, 2001. *Plasma Technology with Process Diversity and Sustainability*. Translated by Dr. Angela Lahee. German: Federal Ministry of Education and Research
- Korzekwa, R., et al, 1998. *Experimental Results Comparing Pulsed Corona and Dielectric Barrier Discharges for Pollution Control*. California: Los Alamos National Laboratory.
- Kuraica, M. M., et al, 1996. *Application of Coaxial Dielectric Barrier Discharge for Portable and Waste Water Treatment*. Serbia: Faculty of Physics.
- Malik, M. A., et al, 2000. *Water purification by Electrical Discharges*. Journal Plasma Source Science and Technology. Pakistan: Institut of Physics Publishing Ltd.
- McClellan, 2003. *The Silent Discharge Plasma Technology Nonequilibrium Nonthermal Plasma to Oxidize Organic Contaminants*. United States of America: ENV America Incorporation.
- Nasution, Pridana, 2006. *Sintesis Ozon Menggunakan Reaktor Plasma Berpenghalang Dielektrik dengan Elektroda Berkonfigurasi Kawat Bidang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nur, Muhammad, 2006. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Artikel. Semarang : Pusat Penelitian Plasma Universitas Diponegoro.
- Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil.
- Potter, Clifton., Soeparwadi, M., Gani, Aulia., 1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*. Jakarta: Project of The Ministry of State for The Environment.
- Setyaningrum,Dyah, 2006. *Aplikasi Plasma Lucutan Penghalang Dielektrik Dengan Reaktor Berkonfigurasi Spiral-Silinder Menggunakan Gas Sumber Oksigen (O₂) Murni Untuk Menghasilkan Gas Ozon (O₃)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sugiarto, Anto Tri, 2002. *Atasi Polusi dengan Plasma*. Tangerang: Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- _____,2002. *Properties of Pulsed Electrical Discharge in Water and Their Application*. Japan: Gunma University
- _____,2003. *Reaktor Elektrical Discharge dalam Air*. Jurnal Instrumentasi. Tangerang: Puslit KIM-LIPI
- Sugiharto, 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Thobanoglous, George, 2004. *Waste Water Engineering Treatment and Reuse*. New York: McGraw Hills Companies.

