

PENYISIHAN COD DAN BOD LIMBAH CAIR INDUSTRI KARET DENGAN SISTEM *HORIZONTAL ROUGHING FILTRATION* (HRF) DAN PLASMA *DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE* (DBD)

Dias Yunita Nurmaliakasih^{*)}, Abdul Syakur^{)}, Badrus Zaman^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : diasyunita@gmail.com

Abstrak

Industri karet merupakan salah satu industri yang bergerak dalam bidang perkebunan. Indonesia mempunyai lahan perkebunan karet dengan luas lahan yang mencapai 3.616.694 Ha (Direktorat Jendral Perkebunan, 2014) yang tersebar di sejumlah daerah salah satunya Provinsi Jawa Tengah. Seiring dengan luas lahan yang dimiliki pertumbuhan industri pengolahan karet berkembang dengan baik, namun memiliki dampak negatif dari pengolahan karet yaitu terbentuknya produk sampingan berupa limbah cair. Limbah cair industri karet PT. XYZ memiliki kadar pencemar organik yang tinggi yaitu COD sebesar 2.630 mg/l dan BOD sebesar 852 mg/l. Oleh karena itu perlu dilakukan inovasi teknologi yang tepat guna. Inovasi teknologi dalam penelitian ini dengan Horizontal Roughing Filtration (HRF) sebagai pretreatment kemudian dilanjutkan dengan Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD). Pretreatment bertujuan mengurangi beban pengolahan pada teknologi plasma karena kondisi fisik limbah mengandung banyak padatan lateks. Debit HRF sebesar 277,7 ml/h dengan media batu apung yang memiliki variasi ukuran 16 mm, 12 mm, 10 mm, mampu menyisihkan COD sebesar 33% dan BOD 33,4%. Kemudian dilanjutkan dengan Plasma DBD. Plasma terbentuk apabila tegangan tinggi diberikan pada elektroda. Elektroda yang digunakan yaitu berbentuk silinder ulir berbahan aluminium terletak di dalam pipa dan kawat tembaga yang dililitkan pada luar pipa pyrex. Variasi tegangan yang diberikan sebesar (10 kV, 11kV, 12kV, dan 13kV). Variasi waktu pengolahan selama (5, 10, 15, 20, dan 25 menit) dengan sistem batch. Penyisihan pencemar yang berhasil didapatkan pada kedua variasi tersebut yaitu 77,69% untuk COD dan 65% untuk BOD.

Kata Kunci: *Limbah cair pengolahan karet, Horizontal Roughing Filtration, Plasma Dielectric Barrier Discharge, COD dan BOD*

Abstract

[COD and BOD Removal on Rubber Industrial Waste With Horizontal Roughing Filtration (HRF) and Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD) System]. *The rubber industry is one of industry that engaged in the plantations. Indonesia has a rubbers plantations with an area of land that reaches 3,616,694 Ha (Directorate General of Plantation, 2014) are scattered in several regions one of which Central Java province. Along with the growth land area owned rubber processing industry are well developed, but has a negative impact on the processing of rubber that is the formation of byproducts such as wastewater. The wastewater of rubber industries have high levels of organic pollutants are COD of 2,630 mg /l and BOD of 852 mg /l. Therefore, it is necessary to appropriate technology innovations. Technology innovation in this study with Horizontal Roughing Filtration (HRF) as a pretreatment followed by Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD). Pretreatment aims to reduce the processing load on plasma technology for the physical condition of solid waste contains a lot of latex. Flow of HRF amounted to 277,7 ml /h with a*

pumice stone media that have a variety of sizes 16 mm, 12 mm, 10 mm, capable of removing COD and BOD by 33% to 33.4%. Then continued with DBD Plasma. Plasma is formed when a high voltage is given to the electrodes. The electrodes used are made from aluminum cylindrical screw located inside the pipe and copper wire wrapped around the outside of the pyrex pipe. Variations of voltage are (10 kV, 11kV, 12kV, and 13kV). Variations in processing times are (5, 10, 15, 20, and 25 minutes) with batch system. The allowance for pollutants secured in two variations are 77,69% for COD and 65% for BOD.

Keywords: *Wastewater rubber industry, Horizontal Roughing Filtration, Dielectric Barrier Discharge Plasma, COD and BOD*

1. PENDAHULUAN

Industri karet merupakan salah satu industri yang bergerak dalam bidang perkebunan. Pengelolaan industri karet di Indonesia saat ini berada pada naungan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan swasta. Indonesia mempunyai lahan perkebunan karet terluas di dunia dengan luas lahan yang mencapai 3.616.694 hektare (Direktorat Jendral Perkebunan, 2014). Perkembangan industri karet berpengaruh positif terhadap peningkatan devisa negara dan pertumbuhan ekonomi penduduk, namun industri karet memiliki dampak negatif terhadap lingkungan sebagai akibat dari limbah cair industri yang belum memenuhi daya dukung badan air ketika dibuang ke lingkungan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Anggraini (2016) di salah satu industri karet di Riau, kandungan organik dalam limbah cair masih tinggi yaitu dengan nilai BOD 215 mg/l, COD 648 mg/l, Amonia 33 mg/l dan TSS 630 mg/l.

Industri pengolahan karet alam menghasilkan banyak limbah cair karena penggunaan air yang cukup besar dalam proses produksinya. Limbah cair yang dihasilkan dari industri karet alam berkisar 5,2 – 13,4 m³/ton produk kering dengan kapasitas produksi 450 – 2600 kg/hari sehingga *effluent* limbah yang dihasilkan oleh suatu pabrik bisa lebih tinggi dari 35 m³ /hari. Industri karet di Jawa Tengah sebagian besar menggunakan pengolahan

biologis konvensional dengan *effluent* yang belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Sarengat dkk,2015). Pengolahan secara biologi yang biasa diterapkan sering kali kurang efektif karena semakin kompleksnya limbah yang dihasilkan (Sugiarto, 2002). Selain secara biologis limbah industri dilakukan pengolahan secara kimiawi, kekurangan dari pengolahan kimiawi yaitu menambahkan bahan kimia pada air limbah. Salah satu pengolahan secara kimia yaitu proses koagulasi flokulasi dengan menambahkan koagulan. Penelitian yang dilakukan oleh Riskawanti dkk, 2016 yaitu *Pengolahan Limbah Perendaman Karet Rakyat dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan Al₂(SO₄)₃, FeCl₃ dan PAC* memiliki kekurangan yaitu terbentuknya endapan berupa lumpur sehingga pengolahan tidak efisien. Pengolahan limbah harus mempertimbangkan segi efisiensi dan menghindari terbentuknya zat sampingan, untuk itu dibutuhkan teknologi yang lebih efektif untuk pengolahan limbah industri.

PT XYZ yang terletak di Kabupaten Semarang merupakan salah satu BUMN yang bergerak pada pengolahan karet. Proses produksi karet yang dilakukan menggunakan bahan utama berupa lateks, amonia, air dan asam formiat menghasilkan limbah berupa limbah cair. Karakteristik *effluent* limbah pengolahan karet alam memiliki nilai COD

120 – 15069 mg/l, BOD 40 – 9433 mg/l, dan pH 6,6- 9,4 (Sarengat dkk, 2015). Kadar kandungan limbah karet yang cukup tinggi dapat menyebabkan pencemaran pada badan air penerima. Dengan tingginya kadar COD dan BOD pada limbah cair tersebut maka diperlukan pengolahan limbah secara tepat agar memenuhi baku mutu menurut Peraturan Daerah (Perda) Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012.

Pengolahan limbah cair terlebih dahulu dilakukan *pretreatment* dengan menggunakan *Horizontal Roughing Filtration* (HRF) sebelum limbah cair diolah dengan reaktor plasma. *Pretreatment* dengan HRF dipilih karena berdasar penelitian dari Rabindra (2008) mampu mendegradasi padatan sebesar 90%. Selain itu, HRF adalah teknologi yang sederhana tidak memerlukan peralatan mekanik, menggunakan biaya yang rendah dalam pengoperasiannya, dapat menyisahkan materi organik terlarut dan karakteristik limbah cair lain, serta dapat dioperasikan dalam waktu yang lama (Sittivate,2000). Keunggulan metode ini yaitu tanpa adanya penambahan bahan kimia (Nkwonta,2010). Proses *pretreatment* limbah cair bertujuan untuk mengurangi jumlah padatan tersuspensi pada pengolahan selanjutnya yaitu menggunakan reaktor plasma *dielectric barrier discharge*.

Teknologi plasma merupakan salah satu teknologi dalam pengolahan limbah. Menurut Nur (2011) Pengolahan limbah dengan plasma dapat menggunakan plasma jenis *dielectric barrier discharge*. Teknologi ini dapat digunakan untuk mengolah limbah jenis cair, padat maupun gas. Keunggulan teknologi plasma dapat berperan penting dalam mendegradasi senyawa organik dalam air (Sugiarto, 2002). Hal ini seperti dalam penelitian yang dilakukan oleh Diani Anggita Sari (2009) berhasil mereduksi kandungan warna 99,9% COD 98,72% dan TSS

98,6% pada limbah cair industri minuman ringan. Dalam prosesnya, plasma tidak menggunakan bahan kimia dan tidak membutuhkan lahan yang luas serta proses penguraian senyawa organik dan non organik oleh plasma dapat berlangsung cepat (Tuhi, 2010). Hal ini dapat diaplikasikan dalam industri karena dalam pengolahan limbah harus mempertimbangkan segi efisiensi dan efektifitas pengolahan. Dengan mengkombinasikan proses HRF dengan teknologi plasma pada pengolahan limbah cair hasil produksi karet PTPN IX

2. METODOLOGI

2.1 Tahap Pengambilan Sampel

Sampel limbah cair industri karet diambil dari inlet instalasi pengolahan air limbah PTPN IX Kebun Ngobo- Semarang dengan cara *grab sampling* (sampel sesaat), yaitu sampel yang diambil sesaat pada satu lokasi tertentu berdasarkan SNI 6989.59 tahun 2008.

2.2 Parameter Pengujian Limbah

a. Pengujian COD

Pengujian terhadap nilai COD dengan mengikuti SNI 6989.2 tahun 2009 tentang Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiwi (chemical oxygen demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.

b. Pengujian BOD

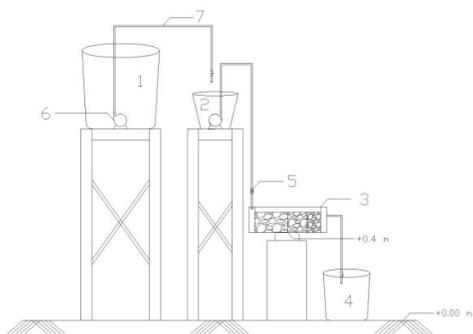
Uji BOD berdasarkan SNI 6989.72 tahun 2009 tentang Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia atau BOD.

2.3 *Pretreatment Horizontal Roughing Filtration*

Limbah dialirkan pada reaktor HRF secara kontinyu selama 72 jam, volume limbah 20 liter dengan debit 0,2777 l/jam dan kecepatan filtrasi 0,003 m/jam. Reaktor dibagi menjadi 3 kompartemen. Masing-masing kompartemen memiliki ukuran panjang, lebar dan tinggi (12,5 cm, 8 cm, dan 4,5 cm) ketiga kompartemen diisi dengan media filter berupa batu

apung ukuran 16 mm, 12 mm, 10 mm. Gambar 1 dibawah ini merupakan skema reaktor *horizontal roughing filter*.

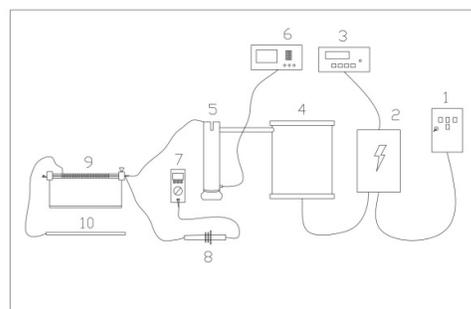
Kebun Ngobo diharapkan dapat memiliki banyak kelebihan dibanding cara konvensional maupun mikrobiologi.



Gambar 1. Skema *Horizontal Roughing Filter*

2.4 Plasma *Dielectric Barrier Discharge*

Percobaan dilakukan dengan mengalirkan limbah industri pengolahan karet secara *batch* pada reaktor plasma DBD dengan mengatur tegangan dan waktu kontak sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Tegangan yang ditetapkan sebesar 10 kV, 11 kV, 12 kV, dan 13 kV dengan sumber tegangan AC. Penentuan tegangan dilakukan berdasarkan uji coba alat bahwa pada tegangan 10 kV baru terbentuk lucutan ditandai dengan bunyi pada reaktor plasma. Waktu pengolahan dilakukan selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Penentuan waktu pengolahan berdasarkan penelitian terdahulu oleh Isyuniarto (2006). Proses pengolahan limbah digambarkan oleh skema yang terlihat pada gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Skema Rangkaian Alat Plasma DBD

Keterangan:

1. Sumber Tegangan AC
2. Regulator
3. *Operating Terminal*
4. Trafo Setup
5. Kapasitor
6. *Digital Measurement Instrumental*
7. Multimeter
8. Probe
9. Reaktor Plasma
10. *Ground*

Limbah yang telah di *pretreatment* ditempatkan pada wadah *influent* yang nantinya akan dialirkan melalui selang menuju reaktor plasma dengan volume limbah sebesar 40 ml. Reaktor DBD memiliki konfigurasi alat jarak elektroda dengan dinding dalam kaca pyrex sebesar 6 mm, elektroda yang digunakan dengan bahan alumunium berbentuk ulir dengan diameter elektroda 6 mm yang terletak di tengah pipa berbahan pyrex. Diameter luar pipa pyrex 20 mm, panjang reaktor 35 cm, dan diameter kawat berbahan tembaga 1 mm yang dililitkan pada bagian luar pipa pyrex. Gambar 3 dibawah ini merupakan detail reaktor plasma DBD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Awal Sampel Limbah

Analisis karakteristik awal sampel limbah cair industri karet dilakukan sebelum limbah diolah dengan memperhatikan kriteria baku mutu oleh Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 5 tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Data karakteristik limbah tersebut terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Keterangan
COD	2.630 mg/l	300 mg/l	Tidak Memenuhi
BOD	852 mg/l	150 mg/l	Tidak Memenuhi
pH	6,35	6-9	Memenuhi

Pada penelitian ini, parameter COD dan BOD menjadi parameter yang akan ditinjau dalam pengolahan dengan menggunakan *horizontal roughing filtration* dan teknologi plasma DBD.

3.2 Hasil Uji Karakteristik Limbah Setelah Pretreatment dengan HRF

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada Tabel 2 hasil pengukuran konsentrasi COD dan BOD setelah *pretreatment* dengan HRF pada limbah cair sebagai berikut.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Setelah Pretreatment

Hari ke	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
0	2.630	852
1	2.330	739
2	1.982	625
3	1.748	568

Tabel 2 menunjukkan bahwa penyisihan COD dan BOD saat proses *pretreatment* dengan HRF hasil maksimal ditunjukkan pada hari ke 3 dengan

konsentrasi COD sebesar 1.748 mg/l memiliki efisiensi pengolahan sebesar 33% dan konsentrasi BOD sebesar 568 mg/l dengan efisiensi sebesar 33,4%. Penurunan disebabkan karena debit dan kecepatan filtrasi yang di aplikasikan dalam pengolah limbah cair memiliki debit yang kecil yaitu 277,7 ml/jam dengan kecepatan filtrasi 0,058 m/jam. Jika debit kecil maka kecepatan filtrasi akan kecil sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyisihan zat organik (Huisman, 1974). Selain itu, Penggunaan ukuran media dan jenis media pada HRF juga sebagai salah satu faktor penyisihan konsentrasi COD dan BOD pada limbah tersebut. Jenis media yang digunakan yaitu batu apung. Batu apung merupakan batuan sedimen memiliki sifat adsorpsi sehingga mampu menyerap polutan baik dari zat organik maupun anorganik. Mekanisme batu apung dalam menurunkan zat organik dalam air yaitu batu apung sebagai *absorbent* dialiri dengan air limbah, sehingga molekul-molekul yang terkandung dalam air limbah menempel pada permukaan *adsorbent* akibat adanya proses kimia dan fisika sehingga terjadi proses *diffuse adsorbent* melalui pori-pori *adsorbent*. Molekul polutan terjerap pada bagian luar *adsorbent* lalu bergerak menuju pori-pori selanjutnya ke dinding bagian dalam dan terjadilah penjerapan molekul-molekul polutan dalam pori-pori media penjerap sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kadar zat organik dalam air limbah (Widyaningsih, 2016).

3.3 Hasil Uji Karakteristik Limbah Setelah Pengolahan dengan Plasma DBD

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada Tabel 3 hasil pengukuran konsentrasi COD dan BOD setelah *pretreatment* dengan HRF pada limbah cair yang dilanjutkan pengolahan dengan plasma DBD sebagai berikut.

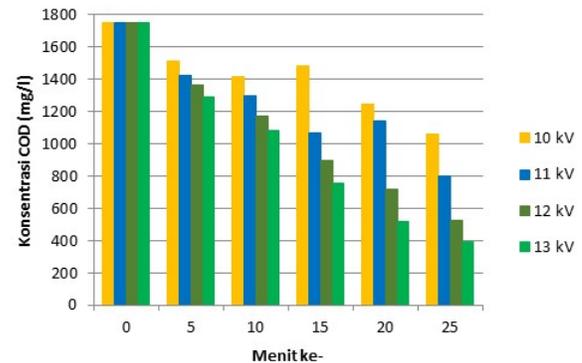
Tabel 3. Karakteristik Limbah Setelah Plasma DBD.

Tegangan (kV)	Waktu Kontak (Menit)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
10	0	1748	568
	5	1515	511
	10	1415	455
	15	1482	540
	20	1248	398
	25	1057	341
11	5	1423	483
	10	1298	398
	15	1065	341
	20	1140	455
	25	798	284
12	5	1365	426
	10	1173	511
	15	898	369
	20	715	284
	25	523	398
13	5	1290	398
	10	1082	341
	15	757	398
	20	515	227
	15	390	199

3.4 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi COD dan BOD

Pengaruh waktu kontak sangat penting dalam pengolahan limbah karena waktu hidup untuk beberapa spesies aktif sangat pendek (Sugiarto, 2005). Untuk mengganti spesies aktif yang memiliki daur hidup pendek maka diperlukan waktu pengolahan yang lama agar dapat digantikan dengan spesies aktif yang baru. Pembentukan spesies aktif seperti OH•, H•, dan H₂O₂ akan semakin banyak seiring dengan peningkatan waktu kontak. Spesies aktif ini yang berperan penting untuk mendegradasi senyawa organik dalam limbah. Oleh karena itu, semakin banyak spesies aktif yang terbentuk maka semakin efektif pula penyisihan zat organik dalam limbah cair. Pengaruh antara waktu kontak dengan penurunan konsentrasi COD dan

BOD pada limbah cair industri karet dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



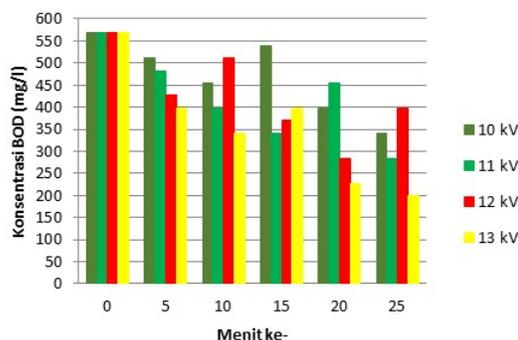
Gambar 3. Grafik Konsentrasi COD terhadap Waktu Kontak setelah Pengolahan Plasma DBD

Berdasarkan grafik diatas pengolahan maksimum terjadi pada waktu kontak 25 menit tegangan 13 kV konsentrasi COD sebesar 390 mg/l. Grafik diatas menunjukkan kecenderungan penurunan konsentrasi COD. Penurunan disebabkan karena dengan lamanya waktu kontak yang diberikan maka elektron yang dihasilkan semakin banyak sehingga spesies aktif yang terbentuk bertambah (Sugiarto, 2004).

Spesies aktif yang terbentuk seperti OH•, H₂O₂ dan H• dapat berpengaruh mendegradasi zat organik dengan potensial oksidasi 2,8 eV 1,78 eV dan 1,7 eV (Ghaffar *et al*, 2000). Namun pada menit ke 15 tegangan 10 kV dan menit ke 20 tegangan 11 kV konsentrasi COD mengalami kenaikan hal ini diduga disebabkan oleh radikal hidroksil yang bekerja sebagai penyederhana rantai organik belum bekerja secara optimal (Munter, 2001). Dekomposisi organik belum sempurna diduga pada limbah terdapat kandungan asam karbonat. Menurut Snoeyink (1980) Asam karbonat akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion bikarbonat. Ion bikarbonat akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion karbonat. Karbonat dan bikarbonat dalam proses

dekomposisi dengan spesies aktif berperan sebagai *scavenger*. *Scavenger* merupakan istilah yang ditujukan bagi berbagai senyawa yang mengkonsumsi $\text{OH}\cdot$ (Aceron & Gunten, 2000). Dalam hal ini karbonat dan bikarbonat akan mencari $\text{OH}\cdot$ untuk membentuk karbonat radikal yang akan bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik yang hadir dengan laju yang lambat sehingga mengakibatkan penghambatan pendekomposisi senyawa organik (Kommineni *et al*, 2007).

Berdasarkan hasil uji normalitas data menggunakan SPSS didapatkan nilai normalitas sebesar 0,414 yang berarti $>0,05$ sehingga data berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji korelasi, dapat diketahui bahwa korelasi antar variabel waktu kontak dengan konsentrasi COD memiliki nilai koefisien korelasi sebesar -0,739** hal ini berarti memiliki hubungan yang kuat. Angka koefisien korelasi negatif menunjukkan terjadinya hubungan yang berlawanan, dimana pada hal ini menunjukkan semakin lama waktu kontak limbah yang diterapkan maka konsentrasi COD akan semakin menurun. Nilai signifikansi yang didapat 0,000 berarti bahwa hubungan variabel waktu kontak dengan konsentrasi COD signifikan, yang artinya variabel waktu kontak memberikan pengaruh yang besar terhadap penurunan konsentrasi COD.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi BOD terhadap Waktu Kontak setelah Pengolahan Plasma DBD

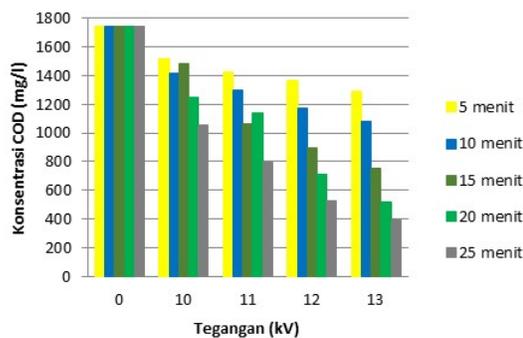
Berdasarkan grafik diatas pengolahan maksimum terjadi pada waktu kontak 25 menit tegangan 13 kV konsentrasi BOD sebesar 199 mg/l. namun pada menit ke 15 tegangan 10 kV, menit ke 20 tegangan 11 kV, menit ke 10 dan 25 tegangan 12 kV, dan menit ke 15 tegangan 13 kV mengalami kenaikan hal ini diduga kehadiran H_2O_2 dengan jumlah berlebih mengakibatkan bahaya bagi kehidupan organisme karena senyawa H_2O_2 diduga dapat berperan sebagai senyawa pengganggu terhadap pengukuran BOD (Sururi dkk, 2014). Spesies aktif dapat merusak dinding sel dari bakteri sehingga dapat membunuh bakteri tersebut (Purwadi, 2008). Menurut Alarets (1984) terhambatnya pertumbuhan bakteri dapat mempengaruhi nilai dari BOD sehingga hasil uji dari BOD menjadi kurang teliti.

Berdasarkan hasil uji normalitas data menggunakan SPSS didapatkan nilai normalitas sebesar 0,393 yang berarti $>0,05$ sehingga data berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji korelasi, dapat diketahui bahwa korelasi antar variabel waktu kontak dengan konsentrasi BOD memiliki nilai koefisien korelasi sebesar -0,599** hal ini berarti memiliki hubungan yang sedang. Angka koefisien korelasi negatif menunjukkan terjadinya hubungan yang berlawanan, dimana pada hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak limbah yang diterapkan maka konsentrasi BOD akan semakin menurun. Nilai signifikansi 0,005 berarti bahwa hubungan variabel waktu kontak dengan konsentrasi BOD signifikan, yang artinya variabel waktu kontak memberikan pengaruh yang besar terhadap penurunan konsentrasi BOD.

3.5 Pengaruh Tegangan terhadap Konsentrasi COD dan BOD

Tegangan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi konsentrasi penurunan parameter pencemar pada limbah. Variasi tegangan yang diberikan

pada reaktor plasma DBD menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah elektron, kecepatan elektron dan energi elektron sehingga menunjukkan adanya proses ionisasi, disosiasi, dan eksitasi dalam plasma (Sugiarto, 2005). Pengaruh antara waktu kontak dengan penurunan konsentrasi COD dan BOD pada limbah cair industri karet dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi COD terhadap Tegangan setelah Pengolahan Plasma DBD

Berdasarkan grafik diatas pengolahan maksimum terjadi pada Tegangan 13 kV menit ke 25 dengan nilai COD sebesar 390 mg/l memiliki efisiensi penurunan sebesar 77,69%. Grafik diatas menunjukkan konsentrasi COD semakin menurun seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Pada tegangan yang tinggi elektron yang dihasilkan akan lebih banyak (Nifuku *et al*, 1997). Semakin banyaknya elektron maka spesies aktif seperti $\text{OH}\cdot$, $\text{H}\cdot$, dan H_2O_2 yang terbentuk akan semakin cepat dan besar sehingga mampu mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang terlarut dalam limbah cair (Chang, 2009). Banyaknya elektron yang terbentuk dipengaruhi oleh kecepatan elektron serta energi yang dihasilkan. Menurut Nur (2011) dalam keadaan stabil ionisasi dapat terjadi apabila energi elektron yang menumbuk lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom atau molekul tertumbuk.

Berdasarkan analisis statistik didapatkan normalitas data sebesar 0,414 yang berarti $>0,05$ secara teoritis data tersebut berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji statistik korelasi bivariate, didapatkan nilai sebesar $-0,608^{**}$ hal ini berarti memiliki hubungan yang kuat. Angka koefisien korelasi negatif menunjukkan terjadinya hubungan yang berlawanan, dimana pada hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diterapkan maka konsentrasi COD akan semakin menurun. Hasil uji regresi pengaruh waktu kontak dan tegangan terhadap konsentrasi COD. Didapatkan nilai R^2 sebesar 0,916. Nilai 0,916 menunjukkan bahwa 91,6% penurunan konsentrasi COD dapat dijelaskan oleh variasi waktu kontak dan tegangan menggunakan plasma DBD sedangkan sisanya sebesar 8,4% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak dijelaskan pada penelitian ini. Pada uji regresi didapatkan sig 0,000. Berdasarkan persyaratan signifikansi maka didapatkan hasil bahwa variasi waktu kontak dan tegangan berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD ($0,000 < 0,05$). Berdasarkan uji regresi didapatkan model persamaan sebagai berikut:

$$4 \quad Y = b_0 + b_1X + b_2Z$$

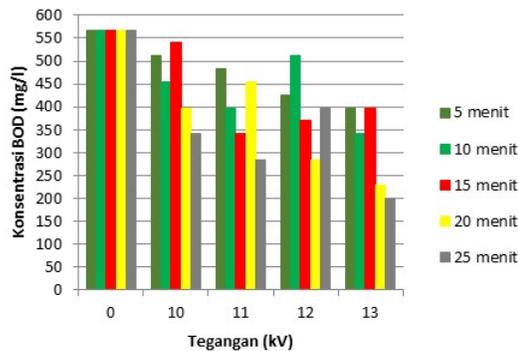
$$5 \quad Y = 3675,220 - 35(X) - 181,98(Z)$$

6 Dimana:

7 Y = Konsentrasi COD

8 X = Waktu Kontak

Z = Tegangan



Gambar 6. Grafik Konsentrasi BOD terhadap Tegangan setelah Pengolahan Plasma DBD

Berdasarkan grafik diatas pengolahan maksimum terjadi pada Tegangan 13 kV waktu kontak menit ke 25 konsentrasi BOD terukur sebesar 199 mg/l dengan efisiensi pengolahan sebesar 65%. Mekanisme penurunan konsentrasi zat organik di dalam air limbah dengan menggunakan plasma dapat dijelaskan sebagai berikut, dengan menaikkan tegangan elektron-elektron yang dihasilkan memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi partikel gas yang ditumbuknya.

Tegangan berbanding lurus terhadap energi yang dimiliki elektron dan kecepatan elektron sehingga apabila terjadi peningkatan tegangan, maka kecepatan elektron akan semakin besar begitu juga energinya. Proses ionisasi semakin sering dan banyak terjadi sehingga terjadi pelipatgandaan elektron (Nur, 2011). Elektron-elektron akan menumbuk molekul air menyebabkan proses ionisasi molekul menjadi $\text{OH}\cdot$ dan $\text{H}\cdot$. Kedua senyawa tersebut merupakan spesies aktif yang dapat bereaksi dengan materi organik di dalam air limbah karena memiliki potensial oksidasi 2,8 eV dan 1,7 eV (Ghaffar *et al*, 2000). Namun pada pengujian BOD mengalami fluktuasi hal ini telah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai pengukuran BOD memiliki nilai

akurasi yang rendah dimana spesies aktif yang dihasilkan oleh plasma dapat membunuh bakteri pengurai zat organik.

Berdasarkan analisis statistik didapatkan normalitas data sebesar 0,393 yang berarti $>0,05$ sehingga data berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji korelasi, dapat diketahui bahwa korelasi antar variabel tegangan dengan konsentrasi BOD memiliki nilai koefisien korelasi sebesar $-0,499^{**}$ hal ini berarti memiliki hubungan yang sedang. Angka koefisien korelasi negatif menunjukkan terjadinya hubungan yang berlawanan, dimana pada hal ini menunjukkan semakin besar tegangan yang diberikan maka konsentrasi BOD akan semakin menurun. Nilai signifikansi didapatkan sebesar $0,025 < 0,05$ yang berarti bahwa hubungan variabel tegangan dengan konsentrasi BOD signifikan, artinya variabel tegangan memberikan pengaruh yang besar terhadap penurunan konsentrasi BOD. Hasil uji regresi pengaruh waktu kontak dan tegangan terhadap konsentrasi BOD didapatkan nilai R^2 sebesar 0,608 yang menunjukkan bahwa 60,8% penurunan konsentrasi BOD dapat dijelaskan oleh variasi waktu kontak dan tegangan menggunakan plasma DBD sedangkan sisanya sebesar 39,2% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak dijelaskan pada penelitian ini. Nilai signifikansi didapatkan sebesar 0,000. Berdasarkan persyaratan signifikansi maka didapatkan hasil bahwa variasi waktu kontak dan tegangan berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD ($0,000 < 0,05$). Berdasarkan uji regresi didapatkan model persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2Z$$

$$Y = 967,195 - 7,665(X) - 40,380(Z)$$

dimana:

$$Y = \text{Konsentrasi BOD}$$

$$X = \text{Waktu Kontak}$$

$$Z = \text{Tegangan}$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. *Pretreatment* dengan menggunakan *Horizontal Roughing Filtration* (HRF) dengan media filter batu apung dapat menyisihkan senyawa organik berupa COD dari konsentrasi awal sebesar 2.630 mg/l menjadi 1.748 mg/l dan BOD dari konsentrasi awal sebesar 852 mg/l menjadi 568 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 33% dan BOD sebesar 33,4%.
2. Variasi waktu kontak plasma DBD terhadap limbah cair memberikan pengaruh terjadinya penurunan konsentrasi COD dan BOD.

Penyisihan konsentrasi COD dan BOD terbaik yaitu pengolahan menit ke 25 tegangan 13 kV dengan efisiensi pengolahan yang didapat 77,69% dan 65%. Pada uji korelasi COD memiliki hubungan kuat dan BOD memiliki hubungan sedang terhadap waktu kontak.

3. Variasi tegangan dengan plasma DBD terhadap limbah cair memberikan pengaruh terjadinya penurunan konsentrasi COD dan BOD. Penyisihan konsentrasi COD dan BOD terbaik yaitu pengolahan tegangan 13 kV. Pada uji korelasi COD memiliki hubungan kuat dan BOD memiliki hubungan sedang terhadap tegangan.

5. SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan perhitungan waktu *clogging*.
2. Perlu dilakukan studi lanjut mengenai pengolahan limbah dengan Plasma DBD dengan memperlama waktu kontak dan memperbesar tegangan, serta mengalirkan air limbah dengan sistem kontinyu pada reaktor plasma DBD.

3. Perlu adanya studi lanjut pengolahan limbah dengan Plasma DBD menggunakan sumber tegangan impuls.
4. Menambahkan aliran oksigen murni saat proses plasma berlangsung agar adanya proses ozonisasi sehingga pengolahan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Aceron, Juan L., Gunten, Urs Von. 2008. *Influence of Carbonate On The Ozone/Hydrogen Peroxide Based Advanced Oxidation Process for Drinking Water Treatment*. Journal of International Ozone Association, 22:3, 305-328. Switzerland.

Alaerts, G dan Santika.1984. Metode Penelitian Air. Usaha Nasional. Surabaya.

Anggraini, Selvi dkk. 2016. *Pengaruh Kecepatan Pengadukan Dan Tekanan Pemompaan Pada Kombinasi Proses Koagulasi Dan Membrane Ultrafiltrasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet*. Jurnal Teknik Kimia. Universitas Riau. Riau.

Anonim. 2014. Luas Areal, Produksi dan Produktivitas Perkebunan di

- Indonesia. Direktorat Jendral Perkebunan.
- Chang J S. 2009. Thermal Plasma Solid Waste and Water Treatments: A Critical Review. McIARS and Department of Engineering Physics, McMaster University, Hamilton, Canada.
- Ghaffar, Abdul., Malik, Muhammad Arif., Malik, Salman Akbar. 2000. Water Purification by Electrical Discharge. Islamabad, Pakistan.
- Huisman. 1974. Slow Sand Filtration. Departemen Of Civil Engineering. Technological University, Delft.
- Kommineni, S., Zoekler, J., Stocking, A., Liang, S., Flores, A., and Kavanaugh, M. 2007. Advance Oxidation Process. Nwri. United State of America.
- Munter, R. 2001. Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects. Estonia: Tallinn Technical University.
- Nifuku, Masaharu *et al.* 1997. *A Study On The Decomposition Of Volatile Organic Compunds by Pulse Corona*. Journal of Electrostatics 40&41, 687-692.
- Nkwonta, Onyeka. 2010. *A Comparison Of Horizontal Roughing Filters And Vertical Roughing Filters In Wastewater Treatment Using Gravel As A Filter Media*. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(8), pp. 1240-1247.
- Nur, Mohammad. 2011. Fisika Plasma dan Aplikasinya. Undip Press: Semarang.
- Purwadi, Agus., Isyuniarto., Usada, Widdi. 2008. *Pengaruh Ozon (O₃) Hasil Lucutan Plasma Dan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂) Tipe Anatas Terhadap Degradasi Fenol*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan- BATAN. Yogyakarta.
- Rabindra, Nath Barman, et al. 2008. Performance Of HRF As A Pretreatment Unit Before Conventional Water Treatment System. School of Water Resources Engineering. Delhi University. India.
- Riskawanti dkk. 2016. Pengolahan Limbah Perendaman Karet Rakyat Dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, dan PAC. Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan Selatan.
- Sarengat, Nursamsi dkk. 2015. Pengaruh Penggunaan Adsorben Terhadap Kandungan Amonia (NH₃-N) Pada Limbah Cair Industri Karet RSS. Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik. Yogyakarta.
- Sari, Diani Anggita. 2009. Pengaruh Teknologi Plasma Corona Discharge Untuk Menurunkan Kadar Warna, COD, dan TSS Pada Limbah Cair Industri Minuman Ringan. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sittivate, Dome. 2000. How to Estimate and Design the Filter Run Duration of a Horizontal-Flow Roughing Filter. Dept. of Rural Technology, Thammasat University, Pathumthani, Thailand.
- Sugiarto, Anto Tri, *et al.* 2005. *Decoloration Of Electrostatically Atomized Organic Dye By The Pulsed Streamer Corona Discharge*. Journal of Electrostatics 63, 353–359.
- Sugiarto, Anto Tri. 2004. Decloration Of Electrostatically Atomized Organic Dye by The Pulsed Streamer Corona Discharge. Jurnal instrumentasi, Tangerang: Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- Sururi, M. Rangga., Ainun, Siti., Krisna, Amalia. 2014. Pengolahan Lindi Dengan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Tuhu, Agung R., Winata, Hanry Sutan. 2010. Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Menggunakan



Teknologi Plasma. Universitas
Pembangunan Nasional “Veteran”,
Jawa Timur. Surabaya.
Widyaningsih, Triatmi Sri. 2016. Breksi
Baru Apung Sebagai Alternatif
Teknologi Tepat Guna Untuk
Menurunkan Kadar TSS Dan BOD
Dalam Limbah Cair Domestik. Jurnal
Teknologi Technoscientia. Institut
Teknologi Yogyakarta.