

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

Fauzan Affif^{*)}, Badrus Zaman^{)}, Abdul Syakur^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : fauzanaffif.17@gmail.com

Abstrak

Industri karet merupakan salah satu industri yang mengalami laju pertumbuhan yang besar. Tingginya produksi karet menyebabkan adanya peningkatan limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan tersebut. Limbah cair dari proses produksi mengandung konsentrasi COD dan BOD yang tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah. Saat ini telah berkembang teknologi pengolahan limbah cair menggunakan Plasma DBD. Plasma dihasilkan dari tegangan tinggi yang dialirkan ke elektroda. Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan stainless steel dan kawat tembaga yang mengelilingi disekitar pipa pyrex. Plasma sebagai pengolahan limbah cair menggunakan tegangan tinggi AC. Pengolahan Plasma Dielectric Barrier Discharge berlangsung ketika elektroda diberikan tegangan tinggi untuk mengionisasi air menjadi spesies aktif seperti H^* , OH^* and H_2O_2 yang akan mengoksidasi kandungan senyawa organik pada limbah cair. pada awal pengolahan limbah diberikan pretreatment VRF dan hasil VRF digunakan sebagai air limbah influen untuk diolah menggunakan teknologi plasma selanjutnya. Reaktor plasma di operasikan dengan menggunakan variasi tegangan (10 kV, 11 kV, 12 kV dan 13 kV) dan waktu kontak limbah cair (5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit) dengan sistem pengolahan batch. Hasil efisiensi penyisihan optimum COD sebesar 74% dan efisiensi penyisihan BOD sebesar 70%. Dari hasil tersebut menunjukkan terjadi penyisihan optimum konsentrasi COD pada kenaikan tegangan dan lamanya waktu kontak pengolahan. Tidak seperti konsentrasi COD, konsentrasi BOD menunjukkan nilai yang fluktuatif. Hasil tersebut dipengaruhi oleh spesies aktif yang dihasilkan oleh plasma. Spesies aktif tersebut dapat membunuh bakteri yang terkandung dalam limbah cair sehingga membuat konsentrasi BOD menjadi sulit ditentukan.

Kata kunci: Limbah cair industri karet, COD, BOD, Vertical Roughing Filtration, Plasma Dielectric Barrier Discharge, spesies aktif

Abstract

[Reducing COD and BOD Rubber Industry Wastewater with Vertical Roughing Filtration (VRF) System and Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD)]. Rubber Industrial is one of the industry that growing rapidly in Indonesia. Increasing of rubber production leads to the increase of its wastewater. Wastewater from the production contains high concentration of COD and BOD intensity and has the potential to pollute the environment if it is untreated. In the development DBD plasma can be used as a wastewater treatment technology. Plasma is formed when a high voltage is supplied to the electrodes. Electrodes used for this study is made of stainless steel and copper wire wrapped around pyrex pipes. Plasma as wastewater treatment technology uses high-voltage AC. Dielectric Barrier Discharge Plasma occurs when the electrode is given a high voltage to ionize water into active species such as H^* , OH^* , H_2O_2 which will oxidize the organic material contained in wastewater. The initial waste has been given pretreatment Vertical Roughing Filtration (VRF) and the results of pretreatment VRF were used as the influent wastewater to be treated by plasma technology. Plasma reactor

is operated by using a variation of voltage (10 kV, 11 kV, 12 kV and 13 kV) and contact time plasma with wastewater (5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, 20 minutes and 25 minutes) with a batch system in processing wastewater. The result showed that optimum COD removal efficiency was about 74% and BOD removal efficiency was about 70%. The concentration of COD decreased with the increasing voltage applied and the long contact time that has been done. Unlike concentration of COD, concentration of BOD shows fluctuative number. This can be affected by the active species produced by plasma. This active species can kill the bacteria contained in the wastewater makes the BOD concentration become unvalid.

Keywords: Rubber Wastewater, BOD, COD, VRF, Plasma DBD Technology, Active Species

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Karet merupakan salah satu komoditas yang mampu menyumbangkan kontribusi yang besar dalam upaya peningkatan devisa negara. Perkembangan produksi karet Indonesia mempunyai laju pertumbuhan sebesar 3,5% dan diproyeksikan hingga tahun 2019 terdapat 3.810.000 ton produksi karet yang dihasilkan (Ditjenbun, 2015). Diperkirakan produksi komoditas karet sebagai hasil perkebunan akan meningkat seiring dengan pertumbuhan kebutuhan masyarakat kedepannya.

PTPN IX Kebun Ngobo yang terletak di Kabupaten Semarang merupakan salah satu BUMN yang bergerak pada industri pengolahan karet. Limbah cair yang dihasilkan dari industri karet alam berkisar 5,2 – 13,4 m³/ton produk kering dengan kapasitas produksi 450 – 2.600 kg/hari sehingga *effluent* limbah yang dihasilkan oleh suatu pabrik bisa lebih dari 35 m³/hari sehingga membutuhkan air dalam jumlah yang sangat besar (Setyamidjaja, 1993 ; Tekasakul, P & Tekasakul, S., 2006). Diketahui proses produksi karet di PTPN IX Kebun Ngobo menggunakan bahan utama berupa lateks, amonia, air dan asam formiat yang pada akhir proses produksi menghasilkan limbah, berupa limbah cair dalam cukup banyak. Adapun kandungan limbah cair karet antara lain, komponen karet (protein, lipid, karotenoid, dan garam anorganik), lateks yang tidak terkoagulasi dan bahan kimia yang ditambahkan selama

pengolahan (Suwardin, 1989 dalam Riskawanti 2016).Seperti diketahui limbah cair industri karet memiliki kandungan BOD berkisar 1.500 – 7.000 mg/l dan kandungan COD berkisar 3.500 – 14.000 mg/l (Mohammadi et al., 2010).Besarnya nilai konsentrasi BOD dan COD dalam limbah cair industri disebabkan tingginya kandungan senyawa organik yang terdapat di dalamnya.

Untuk mencegah pencemaran tersebut perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Beberapa teknologi yang telah dipakai untuk mengolah limbah karet pada PTPN IX Kebun Ngobo terdiri dari proses penyaringan, pengendapan serta biologis yang terdiri dari kolam aerob dan anaerob. Namun, pada sistem pengolahan tersebut membutuhkan luas area yang cukup besar. Diketahui menurut Sarengat (2015), beberapa industri pengolahan karet alam di Jawa Tengah menggunakan sistem pengolahan biologis konvensional dengan *effluent* yang masih belum dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan usaha penyisihan COD dan BOD pada pengolahan limbah cair karet menggunakan metode koagulasi flokulasi namun dari hasil pengolahan tersebut dihasilkan endapan, kemudian pada pengolahan yang menggunakan metode penyerapan dengan tumbuhan Mensiang, Melati Air dan Genjer untuk menyisihkan kandungan COD dan BOD memerlukan waktu pengolahan dengan lama waktu 10 hari (Komala, dkk., 2007 ; Lestari, dkk., 2014 ; Riskawanti, dkk., 2016).

Untuk mengatasi hal tersebut, saat ini telah berkembang beberapa pengolahan limbah cair menggunakan teknologi plasma dalam pengolahan limbah cair dengan menggunakan plasma *Dielectric Barrier Discharge* (Baharudin, Y., 2011 ; Arifin, F., 2011 ; Susilowati, G., 2011). Menurut Bismo (2008) teknologi ini tidak menggunakan bahan kimia, lebih sedikit menghasilkan lumpur, lebih praktis dalam operasional serta tidak membutuhkan lahan yang luas. Menurut Nur (2011) Pengolahan limbah cair dengan plasma dapat digunakan menggunakan plasma jenis *dielectric barrier discharge* (DBD). Terdapat penelitian pengolahan limbah cair dengan menggunakan plasma DBD diantaranya, penelitian yang dilakukan oleh Yulastri (2009), pengolahan teknologi plasma DBD yang mampu mereduksi parameter BOD, COD dan minyak lemak pada limbah cair industri kelapa sawit. Hal yang sama dilakukan oleh Indrasarimmawati (2009), dalam pengolahan limbah cair industri tekstil menggunakan plasma DBD untuk mereduksi parameter warna, COD dan TSS.

Adanya tahapan pengolahan *pretreatment Vertical Roughing Filtration* diawal pengolahan diharapkan dapat membantu proses pengolahan selanjutnya. Menurut Nkwonta (2009), *roughing filtration* dapat digunakan sebagai proses *pretreatment* utama dalam pengolahan air limbah. Hal tersebut telah dilakukan oleh Affam dan Adlan (2013), dalam pengolahan *pretreatment* limbah *leachate* dengan menggunakan *Vertical Roughing Filtration* untuk menyisihkan parameter BOD, COD, kekeruhan dan warna. Sejalan dengan itu pada penelitian pengolahan plasma sebelumnya juga dilakukan *pretreatment* sederhana sebelum masuk ke tahap pengolahan teknologi plasma. Seperti pengolahan secara aerasi yang dilakukan Heryanto (2014), pada limbah cair industri tekstil dan Ryane (2014), pada limbah cair industri minuman ringan.

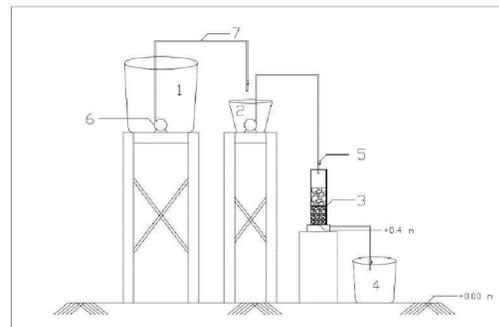
Diketahui dari penelitian sebelumnya belum terdapat percobaan pengolahan limbah cair industri karet menggunakan teknologi plasma DBD yang dikombinasikan dengan pengolahan

pretreatment Vertical Roughing Filtration. Pada penelitian kali ini dilakukan penyisihan parameter BOD dan COD pada limbah cair karet menggunakan sistem *pretreatment Vertical Roughing Filtration* dan Plasma DBD pada studi kasus limbah cair PTPN IX Kebun Ngobo, Semarang. Oleh karena itu, hal tersebut menjadi penting dan menarik untuk dipelajari sebagai usaha untuk menyisihkan parameter pencemar air limbah karet secara efektif dan efisien.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini bersifat eksperimental laboratoris. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan pengolahan *Pretreatment Vertical Roughing Filtration* (VRF) dan pengolahan utama Plasma *Dielectric Barrier Discharge* (DBD). Pada pengolahan VRF Variabel bebas dalam penelitiannya antara lain debit pengolahan 0,000277 m³/jam, volume limbah 20 l, waktu pengolahan 3 hari, dimensi reaktor, jenis dan ukuran media filter batu apung sesuai pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Utami, 2012 ; Wegelin, 1996 ; Widyaningsih, 2016. Pada Plasma DBD variabel bebasnya antara lain tegangan (10, 11, 12 dan 13 kV) dan lama waktu kontak (5, 10, 15, 20 dan 25 menit) hal tersebut merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Isyuniarto dkk., 2006 dan Karina, 2014.

Variabel terikat yakni konsentrasi COD dan BOD limbah cair industri karet hasil pengolahan VRF dan Plasma DBD. Berikut ini rangkaian sistem pengolahan VRF dan Plasma DBD pada penelitian ini:

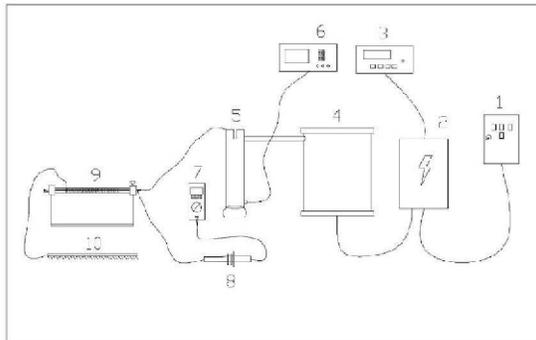


Gambar 1 Rangkaian Sistem VRF

Keterangan :

1. Bak penampung 30 liter
2. Bak kontrol
3. Reaktor VRF
4. Bak penampungan efluen
5. Infuset
6. Pompa
7. Pipa (d=5mm)

Berikut ini rangkaian sistem pengolahan VRF pada penelitian ini:



Gambar 2 Rangkaian Sistem Plasma DBD

Keterangan :

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

Data hasil pengujian dan perhitungan dianalisis secara kuantitatif dengan bantuan *software* Microsoft Excel untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan lama waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan konsentrasi COD dan BOD. Dalam hal ini, disajikan menggunakan metode deskriptif dalam bentuk tabel, grafik, dan narasi. Untuk menguji hipotesa yang diajukan, maka untuk dilakukan pengujian statistik menggunakan uji normalitas, regresi dan korelasi dengan menggunakan SPSS.

PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Cair Karet

Hasil uji karakteristik air tanah dapat diketahui bahwa kadar COD dan BOD yang terdapat pada limbah cair industri karet melampaui baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012. Hasil pengujian parameter COD terukur sebesar 2.263 mg/l dan BOD terukur sebesar 881 mg/l. sementara itu untuk parameter derajat keasaman (pH) sudah memenuhi baku mutu dengan nilai 6,52.

Karakteristik limbah cair industri karet dapat dilihat padat tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Karakteristik Limbah Cair Industri karet

No	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu	
				A *)	B **)
1	pH	-	6,52	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
2	BOD	mg/L	881	100	150
3	COD	mg/L	2.263	250	300

Keterangan:

*) A = Permen LH No. 5 Tahun 2014

**) B = Perda Jateng No. 5 Tahun 2012

Sumber limbah cair industri karet memiliki kandungan COD dan BOD yang tinggi sesuai dengan Tekasakul, P & Tekasakul, S (2006). Kandungan limbah cair karet diketahui mengandung beberapa senyawa, Menurut Nguyen (1999) dan Sarengat (2015) karakteristik limbah cair karet yang dihasilkan keruh dan berbau, mengandung sisa bahan kimia pengenceran dan pembekuan lateks, komponen lateks (protein, lipid, karotenoid, dan garam anorganik), lateks yang tidak terkoagulasi serta gula. Kandungan lateks yang tidak terkoagulasi sebagian besar inilah yang menyebabkan tingginya kandungan BOD dan COD pada limbah cair karet dimana diketahui rumus umum monomer karet alam yaitu C_5H_8 .

Penyisihan COD & BOD Pengolahan VRF

Hasil analisis konsentrasi COD dan BOD hasil pengolahan VRF dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengolahan VRF

Parameter (mg/L)	Sebelum Pretreatment	Setelah Pretreatment			Efisiensi (%)
		Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	
BOD	881	824	710	568	36%
COD	2.263	2.030	1.797	1.430	37%

Hasil pengujian konsentrasi COD pada hari ke-1 didapat nilai sebesar 2.030 mg/l kemudian pada pengujian hari ke-2 dan hari ke-3 didapat nilai sebesar 1.797 mg/l dan 1.430 mg/l. Secara pengamatan hasil uji COD selama pengolahan VRF mengalami penurunan konsentrasi yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dengan besar efisiensi penurunan konsentrasi COD sebesar 36% pada pengolahan *pretreatment* VRF tersebut. Hasil pengujian konsentrasi BOD pada hari ke-1 didapat nilai sebesar 824 mg/l kemudian pada pengujian hari ke-2 dan hari ke-3 didapat nilai sebesar 710 mg/l dan 568 mg/l. Secara pengamatan hasil uji BOD selama pengolahan VRF mengalami penurunan konsentrasi yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dengan besar efisiensi penurunan konsentrasi BOD sebesar 37% pada pengolahan *pretreatment* VRF tersebut.

Analisis Penyisihan COD & BOD Pengolahan VRF

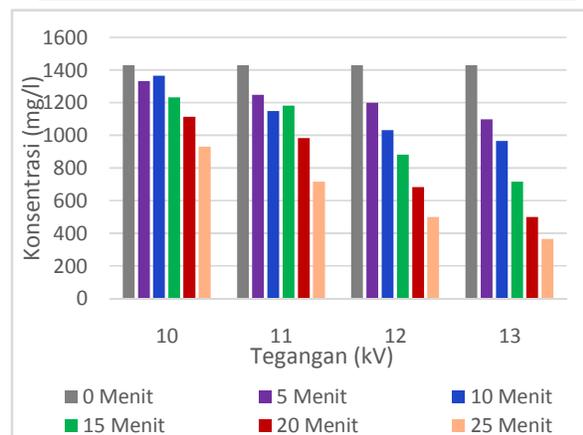
Proses penyisihan yang terjadi pada pengolahan limbah cair karet menggunakan *Vertical Roughing Filtration* yaitu, pertama proses pengangkutan (transportasi) partikel tersuspensi tersebut disaring oleh media filter batu apung. Kemudian partikel tersuspensi tersebut mengendap di dalam pori-pori media filter, sehingga partikel tersebut terkumpul dan tertahan akibat adanya aliran air. Proses selanjutnya adalah

proses pelekatan partikel tersuspensi pada media filter dengan adanya gaya tarik – menarik, namun pada proses ini tidak terjadi aktifitas biologis dari mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa organik dalam limbah cair karet, karena tidak terlihatnya lapisan film yang terbentuk selama proses pengolahan *Roughing Filtration* pada media filter, yang ada hanya gumpalan lateks kecil yang menempel di sekitar media VRF. Oleh karena itu maka dapat dipastikan bahwa proses kimia dan biologi di dalam pengolahan VRF sangat kecil terjadi. Adanya penyisihan dikarenakan selain faktor di dalam reaktor terjadinya lapisan lateks diatas bak penampungan selama pengolahan lama waktu 3 hari yang membuat lapisan gumpalan dibagian atas limbah cair karet.

Pengolahan Plasma DBD Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan Parameter COD

Tabel 3 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan COD

Waktu (Menit)	Konsentrasi COD (mg/l)			
	10 kV	11 kV	12 kV	13 kV
5	1.332	1.248	1.198	1.098
10	1.365	1.148	1.032	965
15	1.232	1.182	882	715
20	1.115	982	682	498
25	932	715	498	365



Gambar 3 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan COD

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD mengalami penurunan yang stabil terhadap penerapan variasi tegangan yang semakin besar. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya diketahui bahwa tegangan dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi COD (Arifin. F., 2011 ; Agung & Winata, 2010 ; Yulastri dkk., 2013 ; Susilowati, G., 2011).

Menurut Sugiarto & Oshima (2015), semakin besar variasi tegangan pada pengolahan plasma menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah elektron sehingga menunjukkan adanya proses ionisasi, disosiasi dan eksitasi dalam plasma yang berbeda pula. Oleh karena itu pembentukan spesies aktif seperti OH^\bullet , H^\bullet , O^\bullet dan H_2O_2 semakin bervariasi. Spesies aktif ini yang berperan penting untuk mendegradasi senyawa organik dalam limbah. Oleh karena itu, semakin banyak spesies aktif yang terbentuk maka semakin banyak pula penyisihan zat organik dalam air limbah.

Adapun mekanisme penyisihan zat organik di dalam air limbah dengan menggunakan plasma DBD dapat dijelaskan sebagai berikut ini. Dengan menaikkan tegangan pada variasi penelitian, menyebabkan elektron – elektron yang bergerak mengalami tumbukan dengan partikel gas dan air. Semakin besarnya tegangan yang diaplikasikan pada pengolahan plasma DBD maka kecepatan tumbukan elektron yang terjadi semakin tinggi. Nilai kecepatan elektron ketika diberikan tegangan 10, 11, 12, dan 13 kV berturut – turut adalah $5,9 \times 10^7$; $6,2 \times 10^7$; $6,5 \times 10^7$; $6,8 \times 10^7$.

Proses ionisasi yang terjadi semakin sering dan banyak terjadi sehingga terjadi pelipatgandaan elektron (Nur, 2011). Kemudian elektron – elektron yang menumbuk molekul air menyebabkan proses disosiasi molekul air menjadi OH^\bullet dan H^\bullet seperti pada persamaan berikut ini:



Apabila jumlah elektron semakin banyak di dalam reaktor, maka

kemungkinan pembentukan OH^\bullet , H^\bullet , O^\bullet dan H_2O_2 semakin banyak pula. Menurut Sugiarto dan Sato (2009), spesies aktif yang terbentuk akan mendekomposisi material organik di dalam air dan menghasilkan karbondioksida dan air pada produk akhirnya.

Pada uji normalitas COD terlihat pada kolom *asym. sig.* didapatkan nilai sebesar $0,877 > 0,05$ sehingga hipotesa H_0 diterima atau data COD berdistribusi normal. Pada hasil uji statistik korelasi *bivariate*, didapatkan nilai *person correlation* untuk tegangan terhadap COD sebesar $-0,625$. Nilai $-0,625$ menunjukkan bahwa korelasi antara tegangan dan konsentrasi COD kuat. Tanda minus (-) menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin rendah konsentrasi COD di dalam air limbah. Signifikansi dilihat dari bilai Sig (2-tailed) menunjukkan angka $0,003$ sehingga dapat dikatakan bahwa nilai tegangan dan konsentrasi COD berkorelasi signifikan ($0,003 < 0,05$). Pada uji regresi pengaruh tegangan dan lama waktu kontak terhadap konsentrasi COD didapatkan hasil R square sebesar $0,935$. Artinya variabel tegangan dan waktu lama kontak memiliki pengaruh sebesar $93,5\%$ terhadap konsentrasi COD sedangkan $6,5\%$ dipengaruhi oleh faktor lain. Pada tabel *coefficient*, diperoleh nilai t sebesar $-10,075$ dan signifikansi $0,000 < 0,05$ pada tegangan dan diperoleh nilai t sebesar $-11,896$ untuk waktu dengan signifikansi $0,000 < 0,05$ maka variabel tegangan berpengaruh secara signifikan terhadap konsentrasi COD.

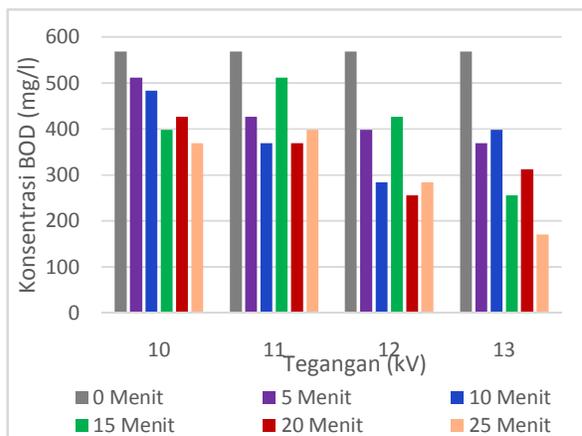
Berdasarkan hasil uji regresi didapatkan model sebagai berikut:

- Tegangan dan waktu terhadap konsentrasi COD
 $y = 3.243,815 - 159,760x - 29,825z$
dimana :
y = Konsentrasi COD
x = Tegangan
z = Lama waktu kontak

Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan Parameter BOD

Tabel 4 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan BOD

Waktu (Menit)	Konsentrasi BOD (mg/l)			
	10 kV	11 kV	12 kV	13 kV
5	511	426	398	369
10	483	369	284	398
15	398	511	426	256
20	426	369	256	313
25	369	398	284	170



Gambar 4 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan BOD

Konsentrasi BOD yang tidak stabil dapat dilihat pada pengolahan plasma tegangan 13 kV waktu kontak 10 menit dengan konsentrasi 398 mg/l dan waktu kontak 20 menit sebesar 313 mg/l, kemudian tegangan 11 kv waktu kontak 15 menit dengan konsentrasi 511 mg/l dan waktu kontak 25 sebesar 398 mg/l. Menurut penelitian yang dilakukan Ryane (2014) pada pengolahan plasma nilai BOD menjadi tidak dapat ditentukan dikarenakan adanya spesies aktif yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme dalam menguraikan zat organik. Sejalan dengan itu pada penelitian Amat., dkk (2003) yang menggunakan spesies aktif untuk mendegradasi senyawa organik juga menjelaskan bahwa nilai BOD dianggap tidak dapat menunjukkan nilai yang pasti akibat tidak stabilnya nilai BOD pada proses pengolahan menggunakan spesies aktif. Hal tersebut diperkuat oleh

Isyuniarto, dkk., (1988) dan Yazid, dkk., (2007) bahwa spesies aktif dapat menghambat pertumbuhan bakteri bahkan dapat sampai membunuh bakteri, disebabkan oleh karena membran seluler bakteri rusak sehingga menyebabkan keluarnya materi intraseluler.

Konsentrasi BOD pada hampir disetiap tegangan terlihat mengalami ketidakstabilan dalam penurunannya. Rendahnya akurasi dari metode pengujian BOD dibandingkan dengan COD merupakan salah satu faktor penyebab tidak stabilnya konsentrasi dari BOD itu sendiri dimana proses – proses mikrobiologis pada analisa BOD kurang dapat diatur oleh manusia (Febrian, 2008).

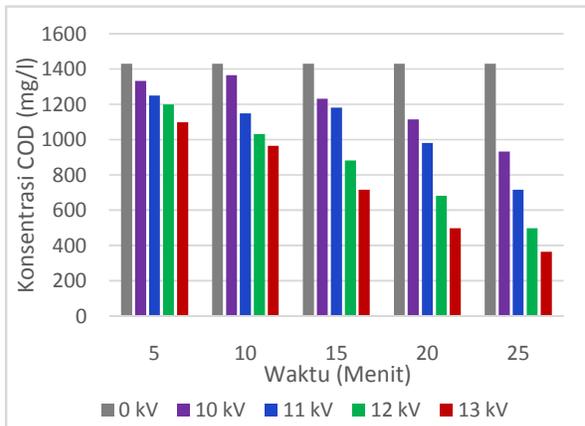
Pada uji normalitas BOD terlihat pada kolom *asym. sig.* didapatkan nilai sebesar 0,496 > 0,05 sehingga hipotesa H_0 diterima atau data BOD berdistribusi normal. Pada hasil uji statistik korelasi *bivariate*, didapatkan nilai *person correlation* untuk tegangan terhadap BOD sebesar -0,641. Nilai -0,641 menunjukkan bahwa korelasi antara tegangan dan konsentrasi BOD kuat. Tanda minus (-) menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin rendah konsentrasi BOD di dalam air limbah. Signifikansi dilihat dari bilai Sig (2-tailed) menunjukkan angka 0,02 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai tegangan dan konsentrasi BOD berkorelasi signifikan ($0,02 < 0,05$). Pada uji regresi pengaruh tegangan dan lama waktu kontak terhadap konsentrasi BOD didapatkan hasil R square sebesar 0,611. Artinya variabel tegangan dan waktu lama kontak memiliki pengaruh sebesar 61,1% terhadap konsentrasi BOD sedangkan 38,9% dipengaruhi oleh faktor lain. Pada tabel *coefficient*, diperoleh nilai t sebesar -4,237 dan signifikansi $0,001 < 0,05$ pada tegangan dan diperoleh nilai t sebesar -2,961 untuk waktu dengan signifikansi $0,009 < 0,05$ maka variabel tegangan berpengaruh secara signifikan terhadap konsentrasi BOD. Berdasarkan hasil uji regresi didapatkan model sebagai berikut:

- Tegangan dan waktu terhadap BOD
 $y = 1.013,970 - 48,780x - 5,390z$
 dimana :
 y = Konsentrasi BOD
 x = Tegangan
 z = Lama waktu Kontak

Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan Parameter COD

Tabel 5 Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD

Tegangan (kV)	Konsentrasi COD (mg/l)				
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	20 Menit	25 Menit
10	1.332	1.365	1.232	1.115	932
11	1.248	1.148	1.182	982	715
12	1.198	1.032	882	682	498
13	1.098	965	715	498	365



Gambar 5 Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD

Diketahui dari gambar 5 bahwa terdapat peningkatan konsentrasi COD atau pengurangan efisiensi removal yang terjadi pada waktu kontak pengolahan 10 menit dengan tegangan 10 kV dan pada waktu kontak pengolahan 15 menit dengan tegangan 11 kV. Terjadinya pengurangan efisiensi pengolahan tersebut dapat diakibatkan tidak terjadinya tumbukan secara maksimal antara spesies aktif di dalam reaktor pengolahan plasma DBD dengan limbah cair industri karet selama waktu pengolahan. Hal tersebut ditambah lagi akibat pH saat pengolahan plasma

DBD berada dalam keadaan asam atau kurang dari 7 kejadian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Gao (2013) yang menunjukkan bahwa pada pH 7-10 (kondisi netral dan basa) jumlah OH[•] yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan pada kondisi asam selama proses plasma DBD.

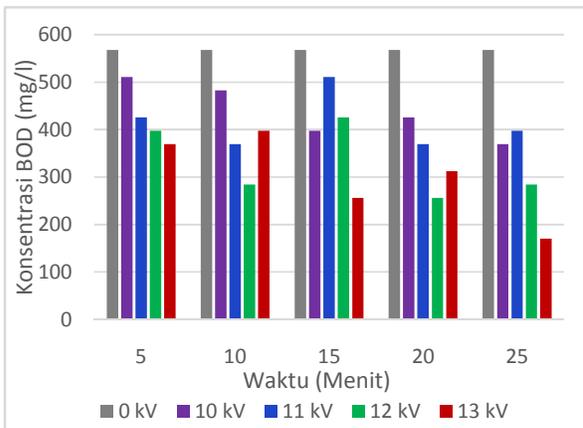
Waktu kontak dalam pengolahan plasma merupakan faktor yang perlu diperhatikan. Karena waktu hidup (*lifetime*) beberapa spesies aktif yang terbentuk sangat pendek (Sugiarto, 2005 dalam Karina, 2014). Lama waktu dalam pengolahan plasma bertujuan agar meningkatkan dan memperbanyak tumbukan antara elektron dengan gas atau limbah cair. Banyaknya tumbukan yang terjadi oleh elektron tersebut menghasilkan jumlah spesies aktif yang banyak dan berperan dalam mendegradasi limbah. Hal tersebut untuk mengatasi faktor *lifetime* dari spesies aktif yang berada di reaktor dimana terdapat spesies aktif yang tidak berumur panjang menurut Setyaningtyas & Dwiasi (2012). Oleh karena itu, lama waktu pengolahan plasma sangat berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD. Adapun mekanisme penyisihan COD pada pengolahan Plasma DBD sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

Pada hasil uji statistik korelasi *bivariate*, didapatkan nilai *person correlation* untuk waktu terhadap COD sebesar -0,738. Nilai -0,738 menunjukkan bahwa korelasi antara lama waktu kontak dan konsentrasi COD kuat. Tanda minus (-) menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin rendah konsentrasi COD di dalam air limbah. Signifikansi dilihat dari nilai Sig (2-tailed) menunjukkan angka 0,000 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai tegangan dan konsentrasi COD berkorelasi signifikan (0,000 < 0,05).

Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan Parameter BOD

Tabel 6 Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan BOD

Tegangan (kV)	Konsentrasi BOD (mg/l)				
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	20 Menit	25 Menit
10	511	483	398	426	369
11	426	369	511	369	398
12	398	284	426	256	284
13	369	398	256	313	170



Gambar 6 Pengaruh Lama Waktu Kontak terhadap Penyisihan BOD

Diketahui dari gambar 6 bahwa terdapat peningkatan konsentrasi BOD atau pengurangan efisiensi removal yang terjadi pada waktu kontak pengolahan 20 menit dengan tegangan 10 kV dengan konsentrasi sebesar 426 mg/l, pada waktu kontak pengolahan 15 menit dengan tegangan 11 kV dengan konsentrasi sebesar 511 mg/l, kemudian pada waktu kontak pengolahan 15 dan 25 menit dengan tegangan 12 kV dengan konsentrasi sebesar 426 mg/l dan 313 mg/l, serta pada waktu kontak pengolahan 10 dan 20 menit tegangan 13 kV dengan konsentrasi sebesar 398 mg/l dan 313 mg/l.

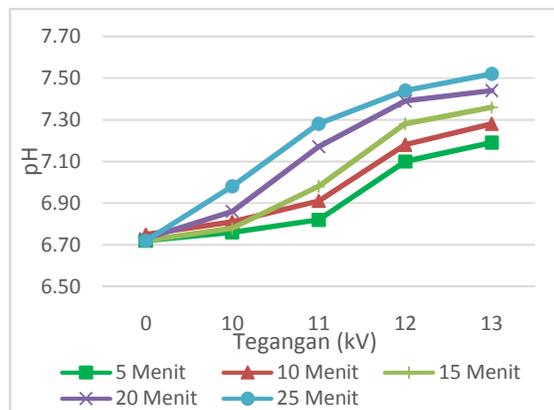
Penyisihan konsentrasi BOD seperti yang sudah dijelaskan pada sebelumnya bahwa nilai konsentrasi BOD mengalami penurunan yang tidak stabil. Hal ini disebabkan adanya faktor penghambat pertumbuhan bakteri. Sehingga

konsentrasi BOD menjadi tidak stabil. Fenomena tersebut juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Karina (2014) dan Amat, dkk., (2003) diketahui hasil konsentrasi BOD pengolahan plasma DBD menghasilkan nilai yang tidak stabil seperti penjelasan sebelumnya.

Dari keseluruhan data konsentrasi BOD tersebut dapat dilihat data pada Gambar 6 terjadi fluktuasi konsentrasi BOD namun pada akhir waktu pengolahan terlama mempunyai kecenderungan turun hal tersebut terjadi juga pada penelitian sebelumnya (Yazid, dkk., 2007 ; Amat, A. M., 2003 ; Ryane, A., 2014).

Pada hasil uji statistik korelasi *bivariate*, didapatkan nilai *person correlation* untuk waktu terhadap BOD sebesar -0,448. Nilai -0,448 menunjukkan bahwa korelasi antara lama waktu kontak dan konsentrasi BOD sedang. Tanda minus (-) menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin rendah konsentrasi BOD di dalam air limbah. Signifikansi dilihat dari bilai Sig (2-tailed) menunjukkan angka 0,048 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai tegangan dan konsentrasi BOD berkorelasi signifikan ($0,048 < 0,05$).

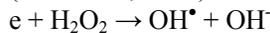
Kondisi pH Selama Pengolahan Plasma DBD



Gambar 7 Kondisi pH Selama Pengolahan Plasma DBD

Diketahui pada awal sebelum pengolahan Plasma DBD range pH berkisar 6,72-7,52 dan pH tertinggi selama pengolahan yaitu 7,52. Pada Gambar 4.7

menunjukkan semakin meningkatnya pH akibat semakin lamanya waktu pengolahan dan semakin tingginya tegangan yang diberikan. Hal ini menunjukkan adanya penambahan ion OH^- selama proses pengolahan Plasma DBD. Adapun reaksi spesies aktif yang menyebabkan naiknya pH dapat dilihat pada persamaan berikut (Mok & Jo, 2006).



Dari persamaan tersebut dapat kita analisis bahwa semakin tingginya pH akibat adanya ion OH^- maka semakin banyak pula terdapat senyawa spesies aktif yang terbentuk didalam reaktor plasma DBD. Menurut Gao (2013) pada pH 7-10 (kondisi netral dan basa) jumlah OH^\bullet yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan pada kondisi asam selama proses plasma DBD. Hal tersebut didukung akibat berkurangnya efisiensi pengolahan konsentrasi COD pada variasi tegangan 10 kV waktu kontak 10 kV dan tegangan 11 kV waktu kontak 15 menit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pengaruh pengolahan *pretreatment* limbah cair industri karet menggunakan *Vertical Roughing Filtration* dengan media filter batu apung, mampu menyisihkan parameter COD awal pengolahan sebesar 2.263 mg/l menjadi 1.430 mg/l dengan efisiensi sebesar 37% dan BOD awal pengolahan sebesar 881 mg/l menjadi 568 mg/l dengan efisiensi sebesar 36%.
- Pengaruh variasi tegangan pada penyisihan Plasma DBD didapat penyisihan terbaik konsentrasi COD pada tegangan 13 kV waktu pengolahan 25 menit dengan konsentrasi awal 1.430 mg/l dan akhir 365 mg/l dengan presentase penyisihan sebesar 74%. Pada penyisihan BOD didapat konsentrasi hasil pengolahan plasma DBD terbaik pada tegangan 13 kv waktu pengolahan 25 menit dengan konsentrasi awal 881 mg/l dan akhir 170 mg/l dengan presentase penyisihan sebesar

70%. Dari hasil tersebut diketahui semakin tinggi tegangan maka semakin besar penyisihan COD namun pada BOD hal tersebut tidak berlaku akibat konsentrasi BOD yang tidak stabil pada setiap variasi perlakuan terhadap tegangan.

- Pengaruh variasi waktu pengolahan pada penyisihan Plasma DBD didapat penyisihan terbaik konsentrasi COD pada waktu pengolahan 25 menit tegangan 13 kV dengan konsentrasi awal 1.430 mg/l dan akhir 365 mg/l dengan presentase penyisihan sebesar 74%. Pada penyisihan BOD didapat konsentrasi hasil pengolahan plasma DBD terbaik pada waktu pengolahan 25 menit tegangan 13 kv dengan konsentrasi awal 881 mg/l dan akhir 170 mg/l dengan presentase penyisihan sebesar 70%. Dari hasil tersebut diketahui semakin lama waktu pengolahan maka semakin besar penyisihan COD namun pada BOD hal tersebut tidak berlaku akibat konsentrasi BOD yang tidak stabil pada setiap variasi perlakuan terhadap waktu pengolahan.

SARAN

Saran yang dapat diberikan adalah

- Perlu penelitian lanjutan mengenai variasi waktu yang lebih lama dan tegangan yang lebih tinggi agar konsentrasi COD dan BOD dapat memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.
- Perlu penelitian lanjutan mengenai penambahan aliran gas oksigen pada reaktor plasma DBD agar lebih efektif dalam mendegrasi senyawa organik yang terdapat pada limbah cair.
- Media filter yang digunakan pada VRF disarankan menggunakan media bantuan yang mempunyai permukaan kasar sehingga terjadi proses pelekatan film (pengolahan biologis lanjutan). Dan memperhatikan waktu tinggal yang cukup agar terjadi penyisihan biologis.
- Metode *pretreatment* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan VRF yang dianggap hanya bisa menyisihkan

partikel tersuspensi bukan yang terlarut, oleh karena itu masih belum begitu maksimal dalam *pretreatment*. Adanya penyisihan selama *pretreatment* disebabkan adanya faktor terbentuknya lapisan karet yang mengapung di dalam bak penampungan, selain factor penyisihan di dalam reaktor.

5. Dilakukan pengecekan terhadap parameter kekeruhan selama proses VRF.
6. Terdapat keterbatasan volume limbah yang dapat diolah dalam pengolahan Plasma DBD, yaitu hanya 35 mL.

DAFTAR PUSTAKA

- Affam, A. C., Adlan, M. N., 2013. *Operational performance of vertical upflow roughing filter for pre-treatment of leachate using limestone filter media*. Journal of Urban and Environmental Engineering, V-7, n-1, p.117-125
- Agung R, Tuhi & Winata. H. S., 2010. *Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Menggunakan Teknologi Plasma*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2, No.2
- Amat, dkk. 2003. *Ozonisation Coupled with biological Degradation for treatment of Phenolic Pollutants: A Mechanistically Based Study*. Chemosphere 53 (2003) 79 - 86
- Arifin, F., Warsito, A., Syakur, A.2011. *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Tknologi Plasma Lucutan Korona*. Undergraduate thesis, University Diponegoro.
- Baharudin, Y., Warsito, A., Syakur, A., Widiasta, I Nyoman. 2011. *Aplikasi Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Pembuatan Reaktor Ozon*. Undergraduate thesis, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
- Bismo. S., dkk, 2008. *Studi Awal Degradasi Fenol dengan Teknik Ozonisasi di Dalam Reaktor Annular*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2015. *Rencana Strategis Direktorat Jendral Perkebunan Tahun 2015-2019*. Jakarta
- Gao. L., dkk. 2013. *Degradation Kinetics and mechanism of emerging contaminants in waterby Dielectric Barrier Discharge Non-Thermal Plasma: The Case of 17 β Estradiol*. Chemical Engineering Journal 28 (2013) 790-798
- Heryanto, R F. 2015. *Studi Penurunan COD dan Warna dengan Teknologi Plasma Pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Variasi Tegangan dan Banyaknya Sirkulasi*. Universitas Diponegoro
- Indrasarimmawati. 2008. *Penurunan Warna COD dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge dengan Variasi Tegangan dan Flow Rate Oksigen*. Universitas Diponegoro
- Isyuniarto, dkk. 2006. *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Teknik Lucutan Plasma*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan - BATAN
- Isyuniarto, dkk. 1988. *Identifikasi Ozon dan Aplikasinya Sebagai Desinfektan*. Ganendra Vol. V No.1 ISSN 1410-6957
- Karina, Amalia. 2014. *Studi Penurunan COD dan TSS pada Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Menggunakan Teknologi Plasma*. Universitas Diponegoro
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2014. *Baku Mutu Limbah Cair*. Jakarta
- Komala, Puti Sri., Sy, Salmariza., Murti, Nelda. 2007. *Peran media pendukung perlit dalam pengolahan limbah cair industri karet menggunakan tumbuhan mensiang (Scripus Grossus L. F) (Studi kasus: limbah cair industry karet remah PT. Batang Hari Barisan Padang)*. Jurnal Bionatura, Vol.9, No.3, hal. 258-278
- Lestari, Y., Hasbi, M., Budijono. 2014. *Remediation of organic pollutant's in the wastewater of rubber by biosand filter media and water plants (Echinodorus palaeofoliu and*

- Limnnocharis flava*) for media of fish life. Fisheries and Marine Science Faculty of Riau University
- Mohammadi, M., Man, H.C., Hassan, M.A., Yee, P.L., 2010. *Treatment of wastewater from rubber industry in Malaysia*. African Journal of Biotechnology 9. p. 6233.
- Mok, Y. S. & Jo, J. H. 2006. *Degradation Of Contaminant by Using Dielectric Barrier Discharge Reactor Immersed in Wastewater*. IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.34, No.6
- Nguyen. N. H., Luong, T. T. 2012. Situation of Wastewater Treatment of Natural Rubber Latex Processing in The Southeastern region, Vietnam. J. Viet. Env Vol. 2, No. 2, pp. 58-64
- Nkwonta, O & Ochieng, G. 2009. *Roughing Filter Water Pre-Treatment Tachnology Developing Countries: A Review*. Tshwane University of Technology
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Universitas Diponegoro Semarang: Semarang
- Provinsi Jawa Tengah. 2012. *Peraturan No. 5: Baku Mutu Air Limbah*. Jawa Tengah
- Riskawanti, dkk., 2016. *Pengolahan Limbah Perendaman Karet Rakyat dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan $Al_2(SO_4)_3$, FeCl dan PAC*. Biopropal Industri Vol.7 No.1, 17-25
- Ryane, A. 2014. Penggunaan Teknologi Plasma dalam Mengurangi Kandungan BOD dan Warna pada Limbah Cair Industri Minuman Ringan. Universitas Diponegoro
- Sarengat, N., Setyorini, I., Prayitno. 2015. Pengaruh Penggunaan Adsorben Terhadap Kandungan Amonia (NH_3-N) pada Limbah Cair Industri Karet RSS. Yogyakarta
- Setyamidjaja, Djoehana. 1993. *Seri Budi Daya Karet*. Yogyakarta: Kanisius
- Setyaningtyas, T. & Dwiasi, D. W. 2012. *Degradasi Zat Warna Azo Tartazin Pada Limbah Cair Mie dengan Metode AOPs (Advanced Oxidation Processes)*. Universitas endral Soedirman. Purwokerto
- Sugiarto, A. T. & Sato, M. 2000. *Pulsed Plasma Processing of organic Compounds in Aqueous Solution*. Thin Solid Films, Vol 386, pp. 295-299
- Sugiarto, A. T & Oshima. T. 2015. *Active Species Formation of Pulsed Plasma in Water with Ring-to-cylinder Reactor Type Electrode*. International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT), Bandung, Indonesia
- Susilowati, G., Warsito, A., Syakur, A. 2011. *Perbandingan Konfigurasi Geometri Elektroda pada Reaktor Plasma Lucutan Korona Tegangan Tinggi Impuls dan Aplikasinya sebagai Pengolah Limbah Cair*. Undergraduate thesis, Diponegoro University.
- Tekasakul, P. & Tekasakul, S. 2006. *Environmental problems related to natural rubber production in Thailand*. J. Aerosol Res 21, 122-129.
- Utami, F., Samudro, G., Sumiyati, S. 2012. *Studi Penurunan Parameter BOD, COD dan BOD/COD Menggunakan Gabungan Vertical Roughing Filter dan Horizontal Roughing Filter pada Limbah Cair Domestik Artificial*. Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP
- Wegelin, M. 1996. *Surface water treatment by roughing filters. A design, construction and Operation manual*, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) and Department Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).
- Widyaningsih, T. S. 2016. *Breksi Batu Apung sebagai Alternatif Teknologi Tepat Guna untuk Menurunkan Kadar TSS dan BOD dalam Limbah Cair Domestik*. Institut Teknologi Yogyakarta



- Yazid, M., Bastianudin, A., Usada, W.
2007. Pengaruh Ozonisasi Terhadap
DO, BOD dan Pertumbuhan Bakteri
Di dalam Limbah Cair Industri
Penyamakan Kulit. GANENDRA,
Vol. X, No.1, Januari 2007
- Yulastri, Hazmi. A, Desmiarti. R. 2013.
*Aplikasi Plasma Dengan Metode
Dielectric Barrier Discharge (DBD)
Untuk Pengolahan Kelapa Sawit.*
Vol. 2 No. 2 ISSN 2302-2949