Implementasi Plasma Tegangan Tinggi Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit

Parade nadeak[1)], Fri Murdiya[2)], David Andrio[3)]
[1)]Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, [2)]Dosen Teknik Elektro, [3)]Dosen Teknik Lingkungan
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam,
Pekanbaru, Riau 28293
E-mail : parade.nadeak@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Water pollution due to waste has become a concern of environmental activists recently. Many technologies have become alternatives to overcome this, such as the use of high voltage plasma. High-voltage plasma technology is included in green technology because it does not use chemicals and with high-voltage plasma technology, processing waste is faster, does not require large areas of land and is environmentally friendly. This research aims to reduce Biochemical Oxygen Demand (BOD) compounds, chemical Oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS) by utilizing high voltage plasma. The method used is to generate plasma using a Neon Power Supply transformer with the voltage of 8 kV and with a frequency of 21 kHz. The plasma is generated by using rod and plate electrodes. Based on the results of plasma experiment, it is able to reduce BOD, COD, TSS compounds in palm waste. In this study the test was carried out with different distances of 2 mm and 4 mm with a time of 20 minutes, 30 minutes, 40 minutes and 60 minutes. This test shows that a distance of 2mm is faster to reduce BOD, COD TSS than a distance of 4mm.

Keywords: Plasma, high voltage, liquid waste, BOD, COD, TSS

I. PENDAHULUAN

Teknologi plasma tegangan tinggi mengolah limbah cair tidak membutuhkan lahan yang luas serta hasil akhir yang ramah lingkungan. Pengolahan limbah lebih cepat dan tidak menggunakan bahan kimia sehingga termasuk dalam green teknologi. Teknologi plasma tegangan tinggi memiliki banyak kelebihan dalam mengolah limbah cair daripada cara konvensional, mikrobiologi dan membran filtrasi. Proses penguraian berlangsung secara cepat oleh plasma yang dihasilkan dan hampir seluruh senyawa organik yang terkandung dalam air limbah dapat diuraikan dengan spesies yang dihasilkan (R & Winata, 2011).

Tegangan tinggi plasma dibangkitkan dengan *neon power supply*. Plasma memanfaatkan tegangan tinggi yaitu dengan menghadapkan elektroda batang dan elektroda plat dengan memberikan tegangan listrik searah yang cukup tinggi. Salah satu dari ektroda harus lebih kecil dari elektroda yang lainnya sehingga medan listrik timbul dibagian kutub elektroda tersebut. Medan listrik yang tinggi akan mengahasilkan plasma yang akan menghasilkan loncatan ion. Ion positif dan ion negatif yang dihasilkan akan mengikat elektron-elektron. Elektron tersebut digunakan untuk meradiasi pengolahan air limbah, interaksi antara radiasi berupa elektron dengan air akan menghasilkan molekul terionisasi yang selanjutnya akan terbentuk spesies reaktif (OH, H, O_3 dan H_2O atau O_2) spesies tersebut bereaksi dengan zat terlarut serta menguraikannya.

LANDASAN TEORI

2.1 Mekanisme Kegagalan Isolasi Udara

Kegagalan Isolasi terjadi akibat dari material udara tidak dapat mempertahankan sifat isolasinya. Mekanisme kegagalan udara dibagi berdasarkan dua teori yaitu teori Towsend dan Streamer yang melalui proses dalam selang waktu tertentu yang disebut waktu tunda. Teori Towsend merupakan proses ionisasi dari benturan elektron bebas terhadap elektron molekul netral. Elektron pada molekul netral akan lepas dari intinya jika energi kinetik dari elektron bebas lebih besar dari energi ikat electron molekul netral. Kemudian elektron bebas dan elektron yang baru akan mengionisasi molekul netral lainnya yang membuat elektron dan ion positif akan semakin banyak (Tobing, 2017).

2.2 Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*)

Peluahan Parsial merupakan peluahan yang terjadi antara elektroda batang dan elektroda plat yang memilikin tegangan yang berbeda dan peluahan ini tidak terhubung antara kedua elektroda secara sempurna. Peristiwa ini terjadi pada bahan isolasi padat, kadang ditemui beberapa kesalahan produksi terhadap bahan isolasi seperti adanya rongga-rongga udara (Tobing, 2017).

2.3 Plasma

Langmunir dan Tonks pertama kali mendefenisikan teknologi plasma pada tahun 1928, mereka mendefinisikan plasma merupakan gas yang terionisasi dalam lucutan listrik(Chang, 1991). Plasma adalah gas terionisasi dan disebut sebagai fase materi keempat setelah fase padat, cair dan gas. Plasma lucutan pijar korona adalah salah satu jenis plasma non termik dan merupakan sumber ion, elektron dan radikal bebas (Nur, 1998).

2.4 Transformator (*Neon Power Supply)*

Transformator adalah sebuah peralatan listrik yang dapat digunakan untuk memindahkan atau mengubah energi listrik arus bolak-balik dari satu level tegangan ke level tegangan tertentu dengan cara menginduksikan medan magnet bolak-balik pada inti trafo berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya hubungan pada kumparan primer dan sekunder dipisahkan oleh inti trafo secara listrik tidak saling terhubung tetapi terhubung secara magnet (Inverterlistrik et al., 2016)

2.5 Kapasitansi *Dielectric Barrier Discharge*

Dielektrik Barrier Discharge merupakan dua buah plat sejajar yang mengapit bahan isolasi yang disebut juga sebagai dielektrik. Oleh karena itu, konfigurasi dari dielektrik barrier discharge ini mirip dengan komponen listrik yang disebut kapasitor.Maka dari itu rangkaian ekivalen dari dielectric barrier discharge dapat direpresentasikan sebagai beban kapasitor. Namun bahan isolasi yang terdapat pada *dielektik barrier discharge* mempunyai dua jenis bahan dielektrik, yaitu udara dan bahan isolasi padat. Sehingga ada dua kapasitansi yang terdapat pada DBD yang dilambangkan dengan C_g dan C_d. Adapun kapasitansi dielektrik (C_d) dan kapasitansi celah/gap (C_g) dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2) dibawah (Shuhai Liu, 2003).

$$C_d = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d_d} \quad \text{.....(1)}$$

$$C_g = \varepsilon_0 \frac{A}{d_g} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:

d_d = Ketebalan Dielectric Barrier

d_g = Ketebalan celah udara

A = Area Discharge

ε_0 = Permitivitas ruang hampa

ε_r = Konstanta dielektrik dari DIelektric barrier

Sehingga kapasitansi total *dielectic barrier discharge* didapatkan dengan menggunakan persamaan (3).

$$C_{DBD} = \frac{1}{\left(1+\frac{C_g}{C_d}\right)} \text{.....(3)}$$

Hubungan antara Arus DBD (I_{DBD}) dan Tegangan DBD (V_{DBD}) terhadap beban

Kapasitansi ditunjukkan dengan Persamaan dibawah.

$$I_{DBD} = \frac{V_{DBD}}{XC_{DBD}} \quad \text{.....(4)}$$

XC_{DBD} merupakan reaktansi kapasitif dari beban *dielectric barrier discharge* yang didapatkan melalui persamaan (5).

$$XC_{DBD} = \frac{1}{\omega C_{DBD}} \quad \text{.....(5)}$$

Dengan $\omega = 2\pi f$, dimana f adalah frekuensi maka persamaan (6) menjadi.

$$XC_{DBD} = \frac{1}{2\pi f C_{DBD}} \quad \text{.....(6)}$$

Maka apabila persamaan (4) disubtitusi ke persamaan (6) didapatkan persamaan (7).

$$I_{DBD} = (V_{DBD})\ (2\pi f C_{DBD}) \quad \text{……..(7)}$$

2.6 *Dielectric barrier discharge*

Lucutan penghalang dielektrik atau disebut juga *silent discharge plasma* (lucutan plasma senyap) adalah lucutan yang dapat dioperasikan pada tekanan atmosfer. Lucutan plasma ini dalam jumlah besar, banyak dipakai perusahaan untuk menghasilkan ozon dengan udara bebas maupun oksigen sebagai gas sumber. Karakteristik utama *dielectric barrier discharge* adalah jarak lucutannya yang sempit dengan celah millimeter antara elektroda ditutupi dengan lapisan osilator (Nur, 2011).

2.7 Ozon

Ozon adalah bagian te rkecil dari atsmosfer bumi dengan total volume 0.03% dari seluruh volume atmosfer bumi. Ozon berada pada lapisan stratosfer yang berfunsi sebagai pelindung dari radiasi langsung sinar ultraviolet. Radiasi ultraviolet menjadi berkurang akibat adanya lapisan ozon sehingga tidak membahayakan makhluk di bumi (Syafarudin, 2013).

2.8 Mean absolute Percentage Error (MAPE)

Validasi keandalan suatu proses dapat dilakukan menggunakan MAPE (Mean Absolute Persentage Error). Nilai MAPE dapat ditentukan dengan penjumlahan dari suatu kesalahan absolut dari beberapa periode dibagi dengan niali observasi yang sebenarnya. Adapun rata-rata kesalahan absolut tadi dibagi dengan jumlah data yang diobservasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y_i - y_i|}{y_i}}{n} \times 100\% \quad \text{.....(8)}$$

II. METODE PENELITIAN

3.1 Metoda Penelitian

Penelitian ini menggunakan metoda dengan membangkitkan plasma tegangan tinggi dengan menghadapkan elektroda batang dan elektroda plat dengan memberikan tegangan listrik yang cukup tinggi untuk mengurangi senyawa *Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total suspended solid (TSS)* dalam limbah cair industri minyak sawit. Proses penelitian dilakukan dengan cara menghasilkan plasma tegangan tinggi dalam celah *dielektrik barrier discharge.* Plasma dihasilkan dari keluaran *trafo power supply* yang dirangkai berupa elektroda batang dan elektroda plat. Penelitian dilakukan dengan mengatur jarak plasma *dielectric barrier discharge* pada jarak 2 mm dan 4 mm, dengan jarak yang berbeda maka medan listrik yang dihasilkan akan berbeda dapat dilihat pada rumus berikut ini (Murdiya, 2018)

$$E_{min} = \frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)} \frac{1}{d} \text{……..9}$$

Persamaan 9 adalah rumus antara elektroda batang dengan elektroda plat

$$E_{max} = \frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)} \frac{1}{r_0} \text{……10}$$

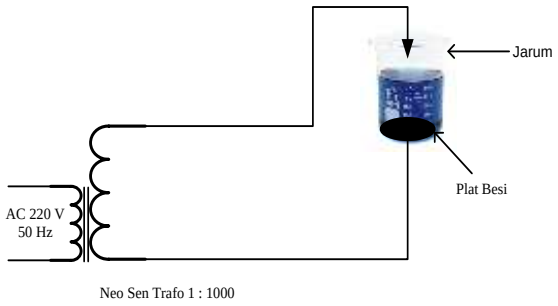
Persamaan 10 adalah rumus antara elektroda batang dengan permukaan air

Dimana :

U : tegangan yang terukur (kV)

d :jarak elektroda batang dengan elektroda plat (cm)

r_0 : diameter elektroda batang (cm)

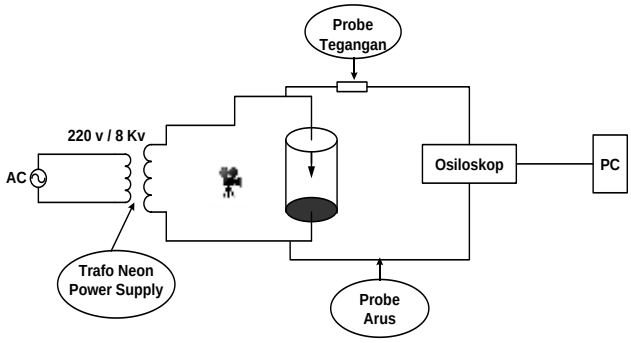


3.2 Objek Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Riau yang bertujuan untuk mengurangi senyawa *Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total suspended solid (TSS)* dalam limbah cair industri minyak sawit dan membandingkan pengaruh jarak antara 2 mm dan 4 mm dengan waktu 20 menit, 40 menit terhadap medan listrik yang dihasilkan. Pengukuran hasil BOD , COD, TSS dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Riau. Penelitian ini menggunakan trafo neon power supply. Trafo ini mampu menghasilkan tegangan 8 kV frekuensi 21 kHz.

3.3 Proses Pengujian Plasma Dielectric Barrier Bischarge

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pada plasma *dielectric barrier discharge* yang terhubung pada trafo *neon power supply* sebesar 8 kV dan frekuensi 21 kHz. Pengukuran yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah Pengukuran arus DBD, tegangan DBD, bentuk plasma dan penurunan senyawa BOD,COD dan TSS dalam limbah sawit. Skema pengujian dapa dilihat pada Gambar 3.dibawah.



Gambar 1. Skema Pengujian Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan trafo neon supply sebagai penaik tegangan dengan spesifikasi sebagai berikut

Spesifikasi trafo neon power supply

Model	:	NG.B108FT
Input	:	220 V- 240 V
Input Frekuensi	:	50 Hz
Input Arus	:	0,32 A
No Load Output	:	8 Kv
Output Frekuensi	:	21 kHz

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Bentuk Plasma

Tabel 1. Intensitas Cahaya

Nama sampel	Intensitas Cahaya
2 mm 20 menit	320
2 mm 40 menit	339
4 mm 20 menit	298
4 mm 40 menit	315

Bentuk plasma dapat dilihat dengan menggunakan kamera *handphone* dan aplikasi android Aspectra Mini. Aspectra Mini merupakan spectrometer yang berfungsi untuk melihat spectrum cahaya dari sebuah gambar. Aspectra ini menunjukkan nilai intensitas cahaya.

Hasil dari intenistas cahaya plasma yang dihasilkan dari setiap pengujian diberikan pada tabel 1. Intensitas cahaya dari plasma terlihat berbeda-beda dari setiap pengujian yang bervariasi dari 289 sampai 339 a.u *(arbitrary unit)* dengan referensi warna putih adalah 1.000 a.u.

4.2. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

Tabel 2. Tegangan, Arus, dan Frekuensi Tegangan tinggi

Nama sampel	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Frekuensi kHz
2 mm 20 menit	7.32	301	20.90
2 mm 40 menit	7.35	306	20.90
4 mm 20 menit	7.29	301	20.90
4 mm 40 menit	7.30	303	20.90

Hasil pengukuran arus dan tegangan pada setiap pengujian diberikan pada tabel 2. Tegangan, arus dan frekuensi tegangan tinggi

pada catu daya menunjukan stabil untuk semua model pengujian.Perlakuan pertama jarak 2 mm dengan waktu 20 menit dengan plasma terhadap limbah industri minyak sawit tegangan yang terbaca pada osiloskop ialah 7.32 kV, arus 301 mA dan frekuensi 20.90 kHz dan seterusnya hingan perlakuan jarak 4 mm dengan wakt u 40 menit.

4.3 Hasil Pengukuran Senyawa Biochemical Oxygen Demand, chemical Oxygen demand, Total suspended solid dalam Limbah Sawit

Tabel 3. TSS, COD, BOD limbah sawit terpapar plasma tegangan tinggi

Nama sampel		parameter		Baku mutu		
	tss	bod	cod	tss	bod	Tss
sampel	7.88	569	987	250	100	350
2mm 20 menit	1.3	420.05	765	250	100	350
2mm 40 menit	0.6	95.96	290	250	100	350
4mm 20 menit	1.5	450	790	250	100	350
4mm 40 menit	0.9	185.46	320	250	100	350

Dari tabel 3 diatas, terlihat bahwa plasma yang dibangkitkan tegangan tinggi dapat mengolah limbah industri minyak sawit yaitu dilihat dari penurunan BOD, COD dan TSS .Pengukuran pada jarak 2 mm dengan waktu 20 menit plasma sudah dapat menurunkan TSS, COD, BOD tetapi belum memenuhi standar baku mutu, maka perlu dilakukan penambahan waktu hingga kadar TSS, COD, BOD turun sesuai dengan standar baku mutu. Plasma memanfaatkan tegangan tinggi yaitu dengan menghadapkan dua kutub elektroda dengan memberikan tegangan listrik bolak-balik yang cukup tinggi, sehingga medan listrik timbul dibagian elektroda tersebut. Medan listrik yang tinggi akan mengahasilkan plasma yang nantinya akan menghasilkan Ozon. Ozon yang dihasilkan bergerak bebas mengikat elektron-elektron. Elektron tersebut digunakan untuk meradiasi pengolahan air limbah, interaksi antara radiasi berupa elektron dengan air akan menghasilkan molekul terionisasi yang selanjutnya akan terbentuk spesies reaktif (OH, H, O_3 dan H_2O atau O_2) spesies tersebut bereaksi dengan zat terlarut serta menguraikannya.

4.4 Kuat Medan Listrik

Kuat medan listrik elektroda batang dengan elektroda plat pada penelitian ini dapat dihitung sebagai berikut:

Jarak antara elektroda batang dan plat adalah 4.5 cm dan jarak elektroda batang dengan permukaan air limbah adalah 2 mm dan 4 mm

1. Pengukuran jarak 2 mm

$$E_{min}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{d}$$

$$E_{min}=\frac{2(7.32)}{\ln\left(\frac{4(4.7)}{1}\right)}\frac{1}{4.7}$$

E_{min} =1.04 kV/cm

$$E_{min}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{d}$$

$$E_{min}=\frac{2(7.35)}{\ln\left(\frac{4(4.7)}{1}\right)}\frac{1}{4.7}$$

E_{min} =1.05 kV/cm

$$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$$

$$E_{max}=\frac{2(7.32)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$$

E_{max}=7.07 kV/cm

$$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$$

$$E_{max}=\frac{2(7.35)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$$

E_{max}=7.1 kV/cm

2. pengukuran 4 mm

$$E_{min}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{d}$$

$$E_{min}=\frac{2(7.29)}{\ln\left(\frac{4(4.9)}{1}\right)}\frac{1}{4.9}$$

E_{min} =0.148 kV/cm

$$E_{min}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{d}$$

$$E_{min}=\frac{2(7.30)}{\ln\left(\frac{4(4.9)}{1}\right)}\frac{1}{4.9}$$

E_{min} =0.148kV/ cm

$$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$$

$$E_{max}=\frac{2(7.32)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$$

E_{max}=7.07 kV/cm

$$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$$

$$E_{max}=\frac{2(7.35)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$$

E_{max}=7.1 kV/cm

$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$

$E_{max}=\frac{2(7.29)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$

E_{max}=6.96 kV/cm

$E_{max}=\frac{2U}{\ln\left(\frac{4d}{r_0}\right)}\frac{1}{r_0}$

$E_{max}=\frac{2(7.30)}{\ln\left(\frac{4(2)}{1}\right)}\frac{1}{1}$

E_{max}=6.97 kV/cm

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian plasma tegangan tinggi dapat ditarik kesimpulan bahwa: plasma dapat menurunkan senyawa BOD, COD dan TSS dalam limbah sawit. Pengujian ini menujukkan bahwa jarak 2 mm lebih cepat menurunkan senyawa BOD,COD, TSS dalam limbah cair bila dibandingkan dengan jarak 4 mm. Variasi waktu pengujian menunjukkan bahwa semakin lama pengujian maka penurunan senyawa BOD, COD, TSS semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, F., Warsito, A., & Syakur, A. (2011). Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan Dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona. *Transient*, 1–7.

Inverterlistrik, P., Inverter, J., & Ke, D. C. (2016). *Rancang Bangun Modul Inverter Gelombang Sinus Menggunakan Low - Pass Filter Orde Dua Sebagai* (Vol. 12, Issue 3).

Khamdi, A., & Aminah, S. (2012). Peranan Plasma Lucutan Pijar Korona Terhadap Penurunan Total Bakteri Susu Segar. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, *3*(5), 115765. https://doi.org/10.26714/jpg.3.2.2012.

Murdiya, F., Febrizal, F., & Amri, A. (2017). The performance of surface barrier discharge in magnetic field driven by half bridge series resonance converter. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, *8*(2), 95. https://doi.org/10.14203/j.mev.2017.v8.95-102

Nur, M. (2011). Fisika Plasma dan Aplikasinya. In *Universitas Diponegoro Semarang*.

Ohshima, T. (2018). *DEVELOPING WATER SURFACE DISCHARGE FOR TREATMENT*. *January*.

Prayudie, U., & Novarini, E. (2015). Modifikasi Permukaan Serat Poliester Menggunakan Sistem Plasma Non Termal Tekanan Atmosfer Dengan Metode Lucutan Korona Oleh Ionisasi Udara. *Arena Tekstil*, *30*(1). https://doi.org/10.31266/at.v30i1.1948

Prodi, D., Biologi, P., & Ambon, I. (2015). *Jurnal Biology Science & Education 2015 SURATI*. *4*(1), 99–111.

R, T. A., & Winata, H. S. (2011). Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Mengguakan Teknologi Plasma. *Jurnal Imiah Teknik Kimia*, *2*(2), 19–28.

Sukmono, A. (2018). Pemantauan total suspended solid (TSS) waduk Gajah Mungkur periode 2013-2017 dengan citra satelit landsat-8. *Jurnal Geodesi Dan Geomatika ELIPSOIDA*, *01*(01), 33–38.

Syafarudin, A. (2013). Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia*, *19*(2), 1–9.

Tobing, Bonggas L. 2017. "Pengujian Tegangan Tinggi" (edisi ketiga). Jakarta: Erlangga.

Zuhal. 1988. " Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Gramedia Pustaka Utama. Jakarta; Gramedia Pustaka Utama.

Murdiya, Febrizal, Amun Amri. 2017. " *The performance of surface barrier discharge in magnetic field driven by half bridge series resonance converter*", Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technolog y, Vol.8, No.2, pp.95-102.

Murdiya, F., Suwitno, Anto, B., Ervianto, E., Hamdani, E., & Amri, A. (2018). *Barrier Discharge In Magnetic Field*: *The Effect Of Magnet Position Induced Discharge In*

Gap. 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (Icon EEI 2018), Batam-Indonesia,

Stanislav Peka´rek "*Experimental Study of Pulse Polarity and Magnetic Field on Ozone Production of the Dielectric barrier dischargein Air*" Plasma Chemistry Plasma Processing, Springer, 2018.

Y. Liu, H. Qi, Z. Fan, C.S. Ren, " *The impacts of magnetic field on repetitive nanosecond pulsed dielectric barrier dischargein air* ", Physic of Plasmas, Volume 23, 2016.

Nur, Muhammad.2011 " Fisika Plasma dan Aplikasinya", Universitas Diponegoro. Semarang.

Wardhana, IS. Warsito, A. Karnoto. (2012) " Perancangan Inverter Push Pull Resonan Paralel Pada Aplikasi Fotovoltaik", Jurnal Tugas Akhir. Teknik Elektro Universitas Diponegoro.s

Liu, S. Neiger, M. 2003. " *Electrical Modelling of Homogeneous Dielectric barrier dischargeUnder Arbitrary Excitation Voltage* ", J.Phys. D:Appl. Phys.36, pp 3144-3150

Said, 2012."*Disinfeksi Untuk Pengolahan AirMinum*". www. kelair. bppt. go.id/Publikasi/Buku Air Minum/BAB12DI SINFEKSI.pdf

Prihatinningtyas , E, 2006. *Ozon Suatu Dilema*, Warta Limnologi, No. 40, Oktober 2006.

Novia dan Syafarudin, A. 2013. " Produksi Ozon Dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator", Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Gerthsen, C. Kneser. Vogel. 1996. *Fisika Listrik Magnet dan Optik*. Diterjemahkan oleh: Musaddiq Musbach. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Rashid, M.H. (2011). " *Power Electronic Handbook Device, Circuit and Applications,* "(3rd Edition). Butterworth-Heinemann.

Hardiwika, Ericko. 2020. Pembangkit Ozon dengan *Dielectric Barrier Discharge*. Universitas Riau. Pekanbaru.