

## APLIKASI PLASMA DENGAN METODA DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE (DBD) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

**Yulastri<sup>1</sup>, Ariadi Hazmi<sup>1</sup>, Reni Desmiarti<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta,

Email : yulastri051069@yahoo.com

**Abstract** - The processing of palm oil into crude palm oil (CPO) produced palm oil mill effluent (POME) as many as 2500 l/ton of CPO. POME contains Chemical Oxygen Demand (COD) average of 21,280 mg/l, Biochemical Oxygen Demand (BOD) average of 34,720 mg/l, fatty oils average of 3,075 mg/l and the average pH of 4. Wastewater treatment systems in the palm oil industry is the combination of physical processes such as sedimentation and biological processes, either anaerobic or aerobic. The weaknesses of conventional processing systems is a long processing time (10-90 days) and require extensive land area ( $\pm 6$  times the total area of the factory). This study aims to provide an alternative method for POME treatment with plasma system through Dielectric Barrier Discharge (DBD). The results showed removal efficiency for COD, BOD and fatty are 53%, 55 % and 40 % with the processing time of 4 hours, respectively. Beside, consumed energy was 7.2 kWh/l for voltage application of 19 kV.

**Abstrak** - Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah atau Crude Palm Oil (CPO) menghasilkan limbah cair sawit sebanyak 2500 l/ton CPO. Limbah cair kelapa sawit ini mengandung Chemical Oxygen Demand (COD) rata-rata sebesar 21.280 mg/l, Biochemical Oxygen Demand (BOD) rata-rata sebesar 34.720 mg/l, minyak lemak rata-rata sebesar 3.075 mg/l dan pH rata-rata sebesar 4. Sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit di industri adalah dengan kombinasi proses fisik seperti sedimentasi dan proses biologi, baik secara anaerob atau aerob. Kelemahan dari sistem pengolahan konvensional adalah waktu pengolahan yang lama (10-90 hari) dan membutuhkan lahan yang sangat luas ( $\pm 6$  kali dari luas areal pabrik). Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan sistem plasma melalui metoda Dielectric Barrier Discharge (DBD). Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penghilangan COD sebesar 53%, BOD sebesar 55% dan minyak lemak 40% dengan waktu pengolahan 4 (empat) jam. Konsumsi energi yang dibutuhkan 7,2 kWh/l untuk tegangan pembangkitan 19 kV.

Keywords: oil palm wastewater, DBD plasma, compounds organics, energy consumption

### I. PENDAHULUAN

Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) berkisar antara 550-670 kg/ton tandan buah segar (TBS) (Maryadi, 2006). Limbah cair kelapa sawit ini mengandung bahan organik dan anorganik yang cukup tinggi. Semua parameter limbah cair PMKS berada diatas ambang batas baku mutu limbah. Jika tidak dilakukan pencegahan dan pengolahan limbah, maka akan berdampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran air yang mengganggu bahkan meracuni biota perairan, menimbulkan bau, dan menghasilkan gas metan dan CO<sub>2</sub> yang

merupakan emisi gas penyebab efek rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan.

Berbagai jenis penelitian dilaksanakan selain bertujuan untuk menekan dampak negatif limbah terhadap manusia dan lingkungan, juga agar limbah tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal dan tidak menimbulkan sampah (*the zero waste concept*) sehingga memberikan nilai tambah. Di antara upaya tersebut adalah pengolahan limbah cair sawit dengan cara konvensional menggunakan kolam anaerob dan aerob. Pengolahan dengan cara ini mampu menurunkan kadar BOD dan COD sampai 85%-95% (Rahardjo, P.N, 2009). Tetapi proses pengolahan dengan cara ini kurang ekonomis karena memerlukan areal pengolahan limbah yang luas, timbulnya bau,

dan kontaminasi air limbah di daerah sekitar kolam, membutuhkan waktu penahanan hidrolisis yang lama serta gas metana yang dihasilkan tidak dapat dimanfaatkan (Zuhra, 2008). Untuk mengatasi kekurangan metoda ini maka dicoba metoda flotasi (pengapungan) (Zuhra, 2008). Metoda ini bisa mengatasi beberapa permasalahan dari metoda anaerob, tetapi masih membutuhkan areal yang cukup luas, proses yang rumit dan waktu yang lama sampai limbah bisa dialirkan keluar pabrik. Proses degradasi limbah cair sawit dengan menggunakan metoda anaerob dengan membran mampu menghasilkan limbah yang lebih jernih dan tanpa meninggalkan padatan tersuspensi (Reni, D., 2001), tetapi semua proses secara biologi ini masih memerlukan waktu pengolahan yang cukup lama.

Dari beberapa metoda yang sudah dilakukan maka penulis akan mencoba melakukan penelitian pengolahan limbah cair sawit ini dengan teknologi plasma dengan metoda *Dielectric Barrier Discharge (DBD)*. Teknologi plasma ini dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair, padat dan gas (Aguierre, P., 1998). Teknologi plasma *DBD* mampu menurunkan warna, *COD* dan *TSS* pada limbah cair tekstil sebesar 48%, 77% dan 71% (Hadiwidodo, dkk., 2009). Teknologi plasma merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan dapat melakukan degradasi senyawa racun (R.C, Daniel, 1996). Proses ini merupakan alternatif pengolahan untuk mengurangi lahan, memperpendek waktu pengolahan dan mengurangi bau. Penelitian ini akan memanfaatkan metoda *DBD* sistem *batch* untuk mengolah limbah cair kelapa sawit.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teknologi Plasma

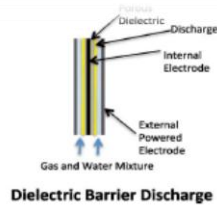
Plasma merupakan gas terionisasi yang terdiri dari partikel bermuatan positif, negatif dan netral dimana energi potensial antara partikelnya lebih kecil dibanding energi kinetik antara partikel tersebut (Nicholson, D.R, 1983). Derajat ionisasi bisa dikontrol dengan tegangan yang diaplikasikan. Plasma bisa dinyatakan sebagai fase ke empat selain cairan, padat dan gas (Putut, 2008). Variabel tegangan listrik berhubungan dengan banyaknya elektron berenergi yang dihasilkan reaktor plasma, semakin besar tegangan listrik yang

diberikan pada elektroda maka semakin banyak ion dan elektron bebas yang terbentuk (A.R, Tuhi, 2010). Dengan membuat plasma dalam air akan dihasilkan berbagai macam spesies aktif seperti  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{O}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  (menurut Joshi. dkk., 1995, dari Hariadi dkk., 2012). Hampir seluruh spesies aktif ini memiliki tingkat oksidasi potensial yang tinggi yang berpotensi dalam menguraikan kandungan senyawa organik dalam air. Disamping itu, plasma juga menghasilkan sinar ultraviolet dan gelombang kejut yang juga berpotensi menguraikan kandungan senyawa organik dalam air secara signifikan (menurut Robinson dkk., 1973, dari Hazmi, A. dkk, 2012).

### 2.2 Reaktor Plasma *Dielectric Barrier Discharge (DBD)*

*Dielectric Barrier Discharge (DBD)* merupakan peluahan listrik antara dua elektroda terpisah dengan isolator dielektrik. *DBD* dapat dibuat dalam beberapa konfigurasi diantaranya tipe planar dengan plat paralel terpisah dengan sebuah dielektrik silinder, dan planar dengan plat koaksial dengan dielektrik tabung diantara keduanya. Elektroda positif merupakan elektroda jarum dan elektroda negatif berupa logam berbentuk silinder tabung dan *dielectric* berupa tabung berbahan kaca pyrex yang berfungsi sebagai penghalang *discharge*.

Kondisi jarak elektroda pada reaktor *DBD* sangat berpengaruh terhadap kualitas proses pengolahan limbah cair (Khoiriyah,A.,dkk., 2012). Di sini plasma dekat ke permukaan cairan sehingga spesies aktif yang dihasilkan bisa berinteraksi dengan cairan. Interaksi plasma dengan cairan yang menghasilkan peluahan dengan cairan itu sendiri, metoda ini sangat cepat (Brugmann, P.,dkk., 2009). Reaktor ini ditunjukkan dengan gambar 2.1.



**Gambar 1.** Reaktor *Dielectric Barrier Discharge* (Sumber: Foster, J., dkk., 2012)

### III. METODOLOGI

#### 3.1 Karakteristik dari limbah cair kelapa sawit

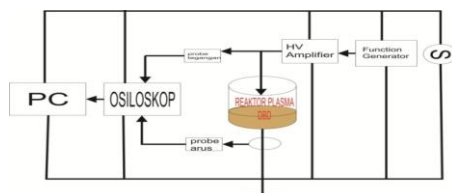
Limbah cair kelapa sawit yang diteliti diambil dari kolam setelah *Fat-Pit* PTPN VI Kinali Pasaman. Karakteristik limbah cair tersebut ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 1 Karakteristik limbah cair kelapa sawit setelah *Fat-Pit*

Parameter	Satuan	Nilai
pH		3,9
BOD	mg/L	251,36
COD	mg/L	440,84
Minyak lemak	mg/L	132,39
Oxidation-Reduction Potential (ORP)	mV	162,3
Electrostatic Conductivity (EC)	$\mu\text{S/cm}$	64,8
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	32.400

#### 3.2 Percobaan

Percobaan untuk mengurangi nilai *BOD*, *COD* dan minyak lemak limbah cair kelapa sawit dilakukan dengan reaktor plasma *DBD* menggunakan sistem *batch*. Tegangan pembangkitan plasma divariasikan dari 13 kV, 16 kV, dan 19 kV selama 2 jam dan 4 jam. Reaktor plasma yang digunakan adalah berupa tabung gelas kimia 250 ml yang diisi dengan limbah cair kelapa sawit sebanyak 75 ml. Skematik proses pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan plasma dapat dilihat pada gambar 3.1.

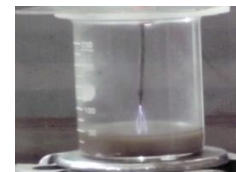


**Gambar 2.** Proses pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan plasma *DBD*

Generator tegangan tinggi digunakan untuk membangkitkan tegangan plasma. Derajat ionisasi plasma dikendalikan oleh variasi tegangan dari plasma. Elektroda jarum yang menghasilkan arus peluahan (*discharge*) diletakan pada jarak 5 mm dari cairan limbah. Elektroda jarum dihubungkan dengan sumber AC tegangan tinggi dan elektroda yang berupa lempeng dihubungkan ke *ground*. Tegangan dan arus plasma diukur dengan menggunakan osiloskop (Tektronix TDS500) melalui probe tegangan (Tektronik P6015A) dan probe arus (Tektronix P6021A). Perbedaan pijar plasma dengan variasi tegangan dapat dilihat pada gambar 3.2.



a. Pijar plasma dengan tegangan 13 kV



b. Pijar plasma dengan tegangan 16 kV



c. Pijar plasma dengan tegangan 19 kV

**Gambar 3.** Pijar plasma dengan variasi tegangan

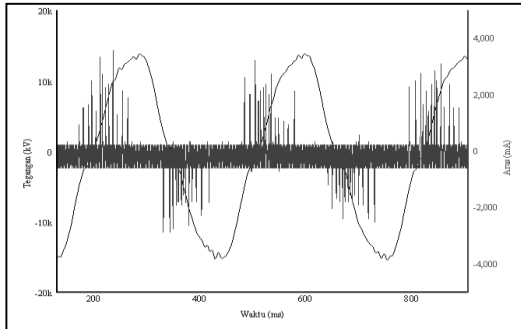
#### 3.3 Metoda Pengukuran

Pengukuran parameter *BOD*, *COD* dan minyak lemak adalah berdasarkan standar *American Public Health Association* untuk air dan limbah cair. Sedangkan pengukuran parameter *ORP*, *EC*, pH, *TDS* dan suhu dianalisa menggunakan Milwaukee MI 180.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik arus peluahan

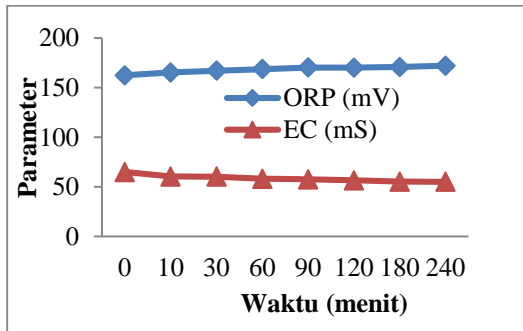
Gambar 4.1 menunjukkan tegangan plasma dan arus peluahan yang terjadi pada sudut fasa  $90^\circ$  untuk siklus positif dan pada sudut fasa  $270^\circ$  untuk siklus negatif. Pulsa peluahan arus ini akan bertambah dengan bertambahnya nilai tegangan plasma yang diberikan.



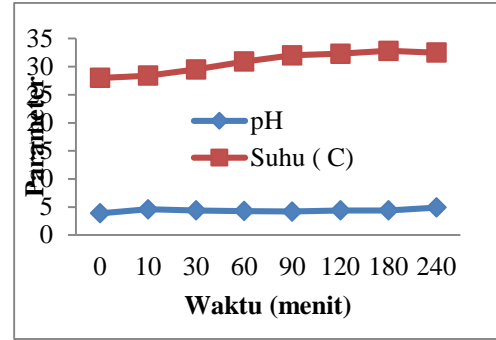
Gambar 4. Bentuk gelombang tegangan dan arus plasma untuk tegangan 16 kV

4.2 Profil *ORP*, *EC*, *pH* dan suhu

Profil *ORP*, *EC*, *pH* dan suhu dari limbah cair kelapa sawit ditunjukkan pada gambar 4.2. *ORP* adalah hasil pengukuran untuk menentukan tegangan oksidasi atau reduksi dari potensial racun dalam limbah cair. Sedangkan *EC* digunakan untuk menentukan anion dan kation dalam limbah cair. Pada gambar 4.2a terlihat bahwa *ORP* nilainya cenderung bertambah dan *EC* cenderung berkurang dengan semakin lamanya proses plasma dilakukan. Pada gambar 4.2b ditunjukkan bahwa *pH* cenderung stabil dan suhu mengalami kenaikan dengan semakin lamanya proses plasma dilakukan. Untuk penelitian selanjutnya perlu ditambahkan NaOH untuk menaikkan *pH* dari limbah setelah proses plasma *DBD*.



a)



b)

Gambar 5. Profil *ORP* dan *EC*(a) dan profil *pH* dan suhu (b)

4.3 Karakteristik limbah cair kelapa sawit

Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik dari limbah cair kelapa sawit setelah melalui proses plasma dengan reaktor *DBD* selama 2 jam dan 4 jam. Hasil yang ditunjukkan menyatakan bahwa setelah melalui proses plasma selama 2 jam dan 4 jam limbah cair kelapa sawit telah mencapai baku mutu limbah. Waktu yang diperlukan untuk pencapaian baku mutu limbah tersebut lebih cepat dibandingkan dengan proses konvensional aerob dan anaerob yaitu selama 40-65 hari (Y.T. Wu dkk., 2010) dan proses dengan system membran yaitu 1-2,2 hari (Y.T. Wu dkk., 2010 dan N.H. Abdurrahman, 2011)

4.4 Konsumsi energi

Konsumsi energi dari sistem plasma *DBD* dapat dihitung dengan persamaan 4.1.

$$Energi = \frac{V \cdot i \cdot t}{volume} \left( \frac{kWh}{L} \right) \quad (4.1)$$

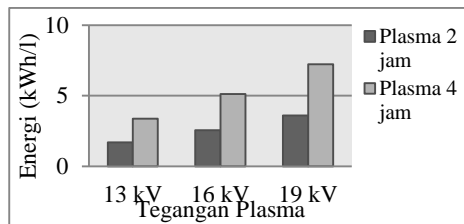
Dimana *V* adalah tegangan plasma (kV), *i* adalah arus (A), *t* adalah waktu dalam jam dan volume merupakan volume limbah cair kelapa sawit. Konsumsi energi untuk proses plasma limbah cair kelapa sawit sebanyak 75 ml

Tabel 2. Karakteristik limbah cair kelapa sawit

Karakteristik	Sampel limbah cair setelah <i>Fat-Pit</i>	Baku Mutu*	Tegangan					
			13 kV	16 kV	19 kV	13 kV	16 kV	19 kV
			2 jam			4 jam		
<i>BOD</i> (mg/L)	251.36	110	194.71	180.3	169.26	205.93	189.3	113.69
<i>COD</i> (mg/L)	440.84	250	375.5	354.19	303.65	360.15	324.71	207.84
Minyak lemak(mg/L)	132.39	30	134.02	126.88	101.43	116.45	105.88	79.1
<i>pH</i>	3,9	6 s/d 9	3,9	3,9	4,4	3,9	3,9	4,91

\*Keputusan Menteri KLH(Kep-51/Men KLH/10/1995, Lamp. C berlaku 1 Januari 2000)

selama 2 jam dan 4 jam ditunjukkan pada gambar 4.3.



**Gambar 6.** Konsumsi energi untuk proses plasma

Untuk proses plasma limbah cair kelapa sawit dengan tegangan 19 kV dibutuhkan energi sebesar 3,6 -7,2 kWh/L untuk pengolahan selama 2 jam dan 4 jam.

## V. KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan metoda plasma DBD bisa dilakukan. Efisiensi penurunan BOD, COD dan minyak lemak bisa ditingkatkan dengan kenaikan tegangan plasma yang diberikan. Konsumsi energi yang diperlukan untuk pengolahan limbah cair kelapa sawit tersebut adalah 3,6 – 7,2 kWh/L. Untuk penelitian selanjutnya pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan plasma DBD dapat dikombinasikan dengan sistem pengolahan limbah lainnya untuk mendapatkan standar mutu lingkungan yang lebih baik.

## REFERENSI

- [1] A.Hazmi et al., J. of Engineering and Technol. Sci., 45, No. 1, (2013), 1-8.
- [2] A.R, Tuhu, "Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Teknologi Plasma", Universitas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya, 2010.
- [3] Aguirre,P.,dkk., "Treatment of Industrial Wastes by Plasma Technology", The Institution of Electrical Engineers, 1998.
- [4] Foster,J.,dkk., "Perspectives on the Interaction of Plasmas With Liquid Water for Water Purification", IEEE Trans. On Plasma Science, Vol. 40, No. 5, May 2012.
- [5] Hadiwidodo, M., dkk., "Penurunan Warna, COD Dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge Dengan Variasi Tegangan Dan Flow Rate Oksigen", Jurnal Presipitasi, Vol. 2 No. 7 September 2009.
- [6] Khoiriyah, A.,dkk., "Studi Reaktor Plasma DBD Planar to Planar untuk

Pre-treatment Limbah Plastik Polipropilen menjadi Bahan Bakar Cair", Jurnal Teknologi Kimia dan Industri Vol 1, No 1, 2012.

- [7] Maryadi, "Analisis Ekonomi Pemanfaatan Limbah Cair di Kebun Sawit Sei. Manding Riau", J.Tek.Ling. P3TL BPPT, 2006.
- [8] N.H. Abdurrahman, et. al., Desalination, 266 (2011), 208-212.
- [9] Nicholson, D.R., "Introduction to Plasma Theory", John Wiley & Sons, 1983.
- [10] P. Bruggeman and C. Leys, "Non-thermal plasmas in and in contact with liquids", J. Phys. D, Appl. Phys., vol. 42, no. 5, p. 053001, Mar. 2009.
- [11] Putut, "Karakterisasi Reaktor Plasma CVD untuk deposisi diamond-like carbon coating", Universitas negeri Semarang, 2008.
- [12] R. Desmiarti, Thesis Magister, Chem. Eng. Department of Institut Teknologi Bandung, Indonesia (1999).
- [13] R.C, Daniel, "Plasma Technology for Treatment Waste", Plasma Fusion Center, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, USA, 1998.
- [14] Rahardjo,P.N, "Studi Banding Pengolahan Minyak Kelapa Sawit", J. Tek.Ling., 2009.
- [15] Y.T. Wu et. al., J. of Environmental Management, 91 (2010), 1467-1490.
- [16] Zuhra, "Pengolahan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Dengan Metoda Pengapungan (Flotasi)", REINTEK, 2008.

## Biodata Penulis

Yulastri dilahirkan di Bukittinggi tanggal 5 Oktober 1969. Menamatkan sekolah di SMA Negeri I Bukittinggi tahun 1989. Meneruskan pendidikan di Politeknik Engineering Unand dan tamat tahun 1992. Menyelesaikan S1 lintas jalur di ITB tahun 1999-2001. Meneruskan pendidikan S2 di Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unand selesai Agustus 2013. Jabatan sebagai staf pengajar pada Politeknik Negeri Padang dari tahun 1992 sampai sekarang