

Teknologi plasma *dielectric barrier discharge* dalam mengurangi BOD, COD limbah cair industri kelapa sawit

Lailatul Rahmi¹⁾, Sri Yanti Lisha^{2)*}, Vina Lestari Riyandini³⁾

¹²³Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Jln. Prof. Dr. Hamka No. 121 Tabing, Padang, Indonesia

ailarahmisguci@gmail.com; sriyantilisha@gmail.com*; vinalestarird@gmail.com

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Teknologi pengolahan limbah cair kelapa sawit saat ini masih banyak yang menggunakan teknologi konvensional berupa pengolahan biologis seperti kolam aerasi. Pengolahan ini membutuhkan lahan yang luas sehingga perlu dicari alternative teknologi pengolahan lainnya yang tidak membutuhkan lahan luas tapi mampu untuk menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah cair industri kelapa sawit, seperti teknologi plasma. Penelitian ini bertujuan untuk melihat efektivitas teknologi plasma tipe *dielectric barrier discharge* dalam menurunkan BOD dan COD limbah cair kelapa sawit. Dalam pengujian ini limbah cair industri kelapa sawit diberi tegangan yang berbeda-beda sebesar 0 Kv, 15Kv, 20Kv, 25 Kv. Didapatkan kadar BOD dengan tegangan 25 kV sebesar 184 mg/l dengan tingkat efisiensi sebesar 97% dan COD sebesar 321 mg/l dengan tingkat efisiensi sebesar 97%.

Kata kunci: BOD, COD, *dielectrical barrier discharge*, limbah cair kelapa sawit, teknologi plasma.

ABSTRACT

The technology for processing palm oil waste water today still uses conventional technology in the form of biological treatment such as aeration ponds. This processing requires large areas of land, so it is necessary to look for alternative processing technologies that do not require large areas of land but are capable of reducing COD and BOD levels in palm oil industrial wastewater, such as plasma technology. This study aims to examine the effectiveness of plasma *dielectric barrier discharge* technology in reducing BOD and COD of palm oil waste water. In this case, the liquid waste of the palm oil industry was given different voltages of 0 Kv, 15Kv, 20Kv, 25 Kv. Obtained BOD levels with a voltage of 25 kV of 184 mg/l with an efficiency level of 97% and COD of 321 mg/l with an efficiency level of 97%.

Keywords: BOD, COD, *dielectrical barrier discharge*, palm oil waste water, plasma technology.

diunggah: November 2022, direvisi: Juni 2023, diterima: Juni 2023, dipublikasi: Juni 2023

Copyright (c) 2023 Lailatul Rahmi, Sri Yanti Lisha, Vina Lestari Riyandini
This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Perkembangan lahan perkebunan sawit dan industri kelapa sawit membuat industri kelapa sawit berkembang cukup pesat. Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang berperan penting bagi perekonomian Indonesia dan sebagai salah satu penyumbang devisa dari sektor nonmigas (Yuna, 2019). Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 14.326.350 hektar (Direktorat Jendral Perkebunan, 2019). Industri kelapa sawit mengalami peningkatan produksi lima tahun terakhir (Annur, 2022). Peningkatan ini menyebabkan meningkat pula jumlah limbah cair kelapa sawit. Limbah cair tersebut apabila tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air penerima seperti sungai maka akan menyebabkan tercemarnya sungai tersebut. Sungai yang tercemar akan merusak biota air yang ada dan ekosistem lainnya (Syamriati, 2021). Jika air sungai tersebut

digunakan sebagai air baku untuk air minum, maka kandungan polutan pada limbah cair akan menyebabkan berbagai masalah kesehatan bagi manusia yang mengkonsumsinya. Untuk menghindari dampak tersebut maka limbah cair kelapa sawit harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan limbah cair yang dilakukan selama ini masih banyak yang menggunakan metode konvensional berupa pengolahan biologi berupa kolam-kolam yang membutuhkan lahan yang luas dan waktu yang lama untuk menurunkan BOD dan COD pada limbah cair. Diperlukan alternatif pengolahan lain yang tidak membutuhkan lahan yang luas dan waktu yang lama. Salah satunya adalah teknologi plasma tipe *dielectrical barrier discharge*.

Penelitian sebelumnya penggunaan teknologi plasma diterapkan pada limbah cair industri minuman ringan yang menghasilkan penurunan konsentrasi BOD yang tidak stabil. (Ryane, dkk, 2017). Pengolahan dengan teknologi plasma pada limbah tahu menghasilkan penurunan kadar COD yang besar yaitu 75,29%. (Agung, 2021). Penelitian lainnya menggunakan aplikasi Lucutan Plasma Corona Dalam Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit yang juga mampu menurunkan kadar BOD dan COD (Pamungkas, 2020). Penerapan teknologi electrocoagulating (EC) pada limbah cair kelapa sawit juga mampu menurunkan maksimal kadar COD sebesar 8000 mg/l dengan waktu kontak 150 menit dan tegangan 12 volt (Rusdianasari, 2017). Pemurnian polutan organik pada limbah cair dengan menggunakan dielectric barrier discharge juga mampu menyisihkan kadar organik yang dikandungnya. (Ma, dkk, 2020). Berdasarkan penelitian yang sudah diterapkan maka dilakukan penelitian lanjut yang diterapkan pada limbah cair kelapa sawit dengan variabel tegangan listrik pada limbah dalam skala laboratorium.

Pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan teknologi plasma tipe *dielectrical barrier discharge* merupakan proses pembakaran tanpa oksigen dari udara bebas, memanfaatkan peluahan listrik yang berasal dari lucutan elektroda. Lucutan plasma ini akan menghasilkan biogas sebagai produk hasil reaksi pembakaran pada limbah oleh luasan arus listrik. Besarnya tegangan plasma yang diberikan menghasilkan lucutan yang akan menghasilkan senyawa aktif OH, O₃ yang berperan dalam mendegradasi limbah sehingga dapat memisahkan gas organik dalam limbah (Riandini, 2006).

METODE

Teknologi plasma tipe ini dipilih karena merupakan salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah cair yang tidak menggunakan lahan yang luas dan waktu pengolahannya singkat serta tidak menghasilkan bau seperti pada pengolahan konvensional. Jika pengolahan secara kimia digunakan maka akan membutuhkan bahan kimia yang pengadaannya butuh dana yang besar. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan menguji 1000 ml limbah cair kelapa sawit untuk melihat kemampuan teknologi ini menurunkan BOD dan COD dengan memvariasikan tegangan yang digunakan. Data primernya berupa kadar BOD dan COD sebelum diolah dan setelah diolah dengan *dielectric barrier discharge*. Tahapan penelitian diawali dengan pengambilan sampel, pengawetan, pengujian kadar awal limbah, pengolahan dengan *dielectric barrier discharge*, dan pengujian kadar BOD dan COD setelah diolah. Sampel diolah dengan variasi tegangan 15 kV, 20 kV, dan 25 kV dengan waktu detensi 1 jam. Hasil pengolahan dibandingkan kadar BOD dan COD sebelum diolah. Pengujian BOD dan COD mengacu pada SNI 6988-72-2009 tentang Cara Uji Kebutuhan BOD dan pengujian COD dilakukan mengacu pada SNI 6989-2-2009 tentang Cara Uji Kebutuhan COD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi BOD

Dari penelitian diperoleh kadar BOD awal adalah 7601 mg/l (tegangan 0 kV). Hasil pengujian kadar BOD pada sampel limbah cair kelapa sawit dengan tegangan yang ditingkatkan 15 kV, 20 kV, dan 25kV seperti pada Tabel. 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kadar BOD limbah cair kelapa sawit

Tegangan (kV)	BOD (mg/l)
0	7601
15	235
20	187
25	184

Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin rendah pula kadar BOD pada limbah cair kelapa sawit. Sampel awal atau tanpa pemberian tegangan memiliki kandungan BOD sebesar 7.601 mg/l dan terus menurun hingga mencapai 184 mg/l pada pemberian tegangan 25 kV.

Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi COD

Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi COD dilihat dari kadar COD awal (0 kV) adalah 11.357 mg/l dan hasil pengujian kadar COD pada sampel limbah cair kelapa sawit dengan tegangan 15 kV, 20 kV, dan 25 kV seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kadar COD limbah cair kelapa sawit

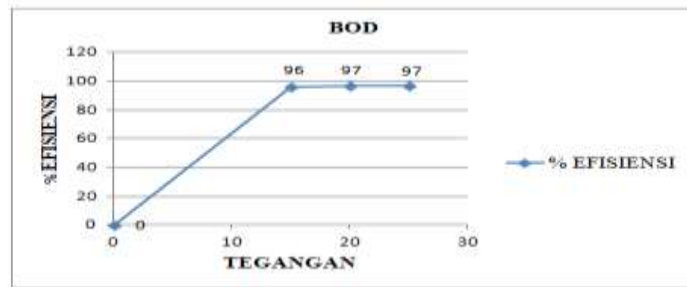
Tegangan (kV)	COD (mg/l)
0	11.357
15	235
20	187
25	184

Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin rendah pula kadar COD pada limbah cair kelapa sawit. Sampel awal atau tanpa pemberian tegangan memiliki kandungan COD sebesar 11.357 mg/l dan terus menurun hingga mencapai kandungan 321 mg/l pada pemberian tegangan 25 kV.

Korelasi tegangan dengan penurunan BOD dan COD dilihat pengaruh tegangan yang semakin tinggi dapat membuat kadar BOD dan COD limbah cair kelapa sawit semakin rendah. Dimana nilai korelasi dari penurunan kadar BOD didapatkan sebesar 0,8611 dan COD sebesar 0,8604. Hasil yang didapatkan memiliki arti sangat kuat menurut tingkat hubungan interval koefisien korelasi. Hasil koefisien korelasi bernilai negatif, berarti hubungan antara kedua variabel tersebut negatif atau saling berbanding terbalik, dimana semakin tinggi tegangan yang diberikan membuat kadar BOD dan COD semakin rendah pada limbah cair kelapa sawit.

Efisiensi Penyisihan BOD Menggunakan Teknologi Plasma Tipe DBD

Penurunan konsentrasi BOD terus meningkat seiring tegangan listrik yang diberikan. Terdapat efisiensi penyisihan BOD maksimal hingga 97 %. Pengaruh tersebut dapat kita lihat pada grafik berikut.

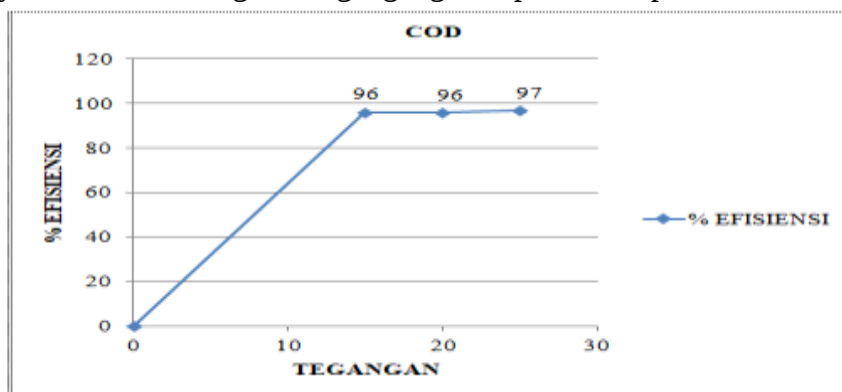


Gambar 1. Pengaruh tegangan dan efisiensi penurunan kadar BOD

Gambar 1 menunjukkan terjadi kenaikan efisiensi dengan adanya kenaikan tegangan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan semakin tinggi pula tingkat efisiensi dari penurunan kadar BOD pada sampel. Dimana dengan tegangan 25 kv dapat menurunkan kadar BOD hingga 184 mg/l atau hingga efisiensi 97%. Namun konsentrasi BOD yang dihasilkan belum memenuhi baku mutu ditetapkan oleh kementrian LH No. 05 tahun 2014 yaitu sebesar 100 mg/l bagi BOD. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya tegangan yang dibutuhkan dalam proses penurunan BOD pada limbah cair. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin banyak senyawa aktif yang dapat mendegradasi limbah seperti $H\bullet$, $OH\bullet$, dan H_2O_2 yang terbentuk sehingga proses pendegradasi limbah semakin lebih baik. Menurut Agung (2017) semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka semakin besar pula ion dan elektron bebas yang terbentuk. Sinar ultraviolet yang dihasilkan mampu mengoksidasi senyawa organik sekaligus membunuh bakteri yang terkandung dalam air limbah, *shockwave* yang ditimbulkan mampu menghasilkan spesies aktif yang merupakan oksidan kuat yang dapat mendegradasi berbagai senyawa organik sekaligus membunuh bakteri yang terkandung dalam air limbah (Agung, 2017).

Efisiensi Penyisihan COD Menggunakan Teknologi Plasma Tipe DBD Terhadap Penyisihan COD

Penurunan konsentrasi COD terus meningkat seiring tegangan listrik yang diberikan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan efisiensi penyisihan COD mencapai 97 %. Besar efisiensi penyisihan dari masing-masing tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh tegangan dan efisiensi penurunan kadar COD

Gambar 2 menunjukkan terjadinya kenaikan efisiensi dengan adanya kenaikan tegangan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan semakin tinggi pula tingkat efisiensi dari penurunan kadar COD pada sampel. Dimana dengan tegangan 25 kv dapat menurunkan kadar COD hingga 321 mg/l atau hingga efisiensi 97%.

Teknologi plasma berfungsi sebagai proses pengoksidasian senyawa organik, aksi reaksi yang terjadi dalam reaktor plasma adalah terbentuknya ion positif, ion negatif, radikal, sinar ultraviolet dan elektron dalam reaktor plasma pada limbah cair industri (Putra, 2020).

Ion dan elektron yang dihasilkan oleh teknologi plasma mempunyai energi yang sangat tinggi sehingga H₂O akan terurai sebagai berikut.

1. H₂O menjadi OH⁻ dan H₂

$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$$
2. H₂O menjadi H₂O₂

$$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$
3. H₂O menjadi O₂

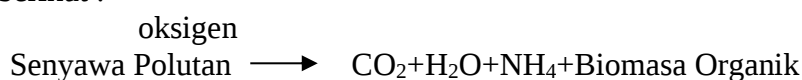
$$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$$

Senyawa aktif tersebut merupakan oksidan kuat yang dapat mengoksidasi sekaligus membunuh bakteri yang terdapat pada limbah cair tersebut, senyawa aktif ini kemudian bereaksi dengan unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S) yang terdapat pada limbah cair industri (Agung, 2017). Tumbukan elektron dan ion dengan molekul air limbah mengakibatkan terjadi reaksi kimia melalui oksidasi reduksi yang dapat menguraikan limbah (Putra, 2020). Sehingga terbukti dapat menurunkan parameter COD pada air limbah sawit.

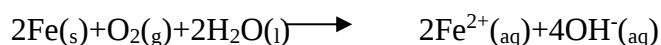
Mekanisme Penurunan BOD dan COD Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Teknologi Plasma Tipe DBD

Lucutan plasma dalam penelitian ini dihasilkan dari reaktor dimana terdapat dua elektorda yang salah satunya dibatasi oleh bahan dielektrik berupa kaca *pyrex*. Jenis reaktor plasma ini disebut sebagai *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) (Ade, dkk, 2017). Penurunan kandungan BOD dan COD limbah cair kelapa sawit terjadi seiring dengan penambahan tegangan. Penurunan ini berlangsung selama proses menggunakan rangkaian teknologi plasma tipe DBD. Dimana proses tersebut menggunakan elektroda jarum yang berasal dari tembaga dan elektroda plat yang berasal dari besi serta adanya ruang kosong antara sampel dan elektroda yang berisi gas oksigen.

Dalam proses pengolahan air limbah organik aerob, senyawa organik akan terurai oleh aktivitas mikroorganisme aerobik. Dalam kegiatannya, mikroorganisme aerob akan membutuhkan oksigen atau udara untuk menguraikan senyawa organik kompleks menjadi CO₂, air, ammonium, kemudian amonium akan dirubah menjadi nitrat dan H²S akan teroksidasi menjadi sulfat (Agung, 2021). Singkatnya dekomposisi aerobik senyawa organik sebagai berikut :



Listrik yang dialirkan ke elektroda plat yang berbahan besi (Fe) akan mengakibatkan reaksi oksidasi dan berikatan dengan oksigen membentuk hidroksida (OH⁻) serta elektron negatif sebagai berikut (Wati, 2019).

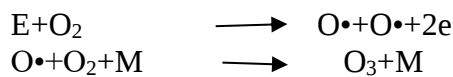


Sementara listrik yang dialirkan ke elektroda jarum yang berbahan tembaga (Cu) jika bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan CuO (Mipi, 2021) dimana atom CuO dapat mengalami proses ionisasi sehingga menghasilkan senyawa karbon dioksida (CO₂) ataupun senyawa karbon monoksida (CO) akibat pemberian arus listrik secara terus menerus. Proses ini merupakan proses ionisasi yang mana terlepasnya elektron suatu atom dari ikatannya (Agung, 2021).

Jika dua buah elektroda dihubungkan ke sumber tegangan, celah antar elektroda tersebut akan membentuk medan listrik kearah tertentu, medan listrik akan mempengaruhi pergerakan elektron bebas dicelah tersebut (Agung, 2021). Elektron bebas ini akan

mendapatkan energi yang akan merangsang ionisasi (Aris, 1975). Elektron yang dihasilkan oleh proses pemberian tegangan ini akan terus bergerak dan bertumbuk menuju elektroda negatif dan elektroda positif sehingga proses tersebut membuat elektron saling berikatan dan mendekomposisi material organik didalam limbah cair sehingga terjadi penurunan konsentrasi BOD dan COD, seiring dengan waktu kontak dan tegangan yang diberikan. Hal ini sejalan dengan Riyandini, (2016) yang menyatakan bahwa lucutan plasma ini akan menghasilkan biogas sebagai produk hasil reaksi pembakaran pada limbah oleh luahan arus listrik, besarnya tegangan plasma yang diberikan menghasilkan lucutan yang akan menghasilkan unsur aktif OH, O₃ yang berperan dalam mendegradasi limbah sehingga dapat memisahkan gas organik dalam limbah.

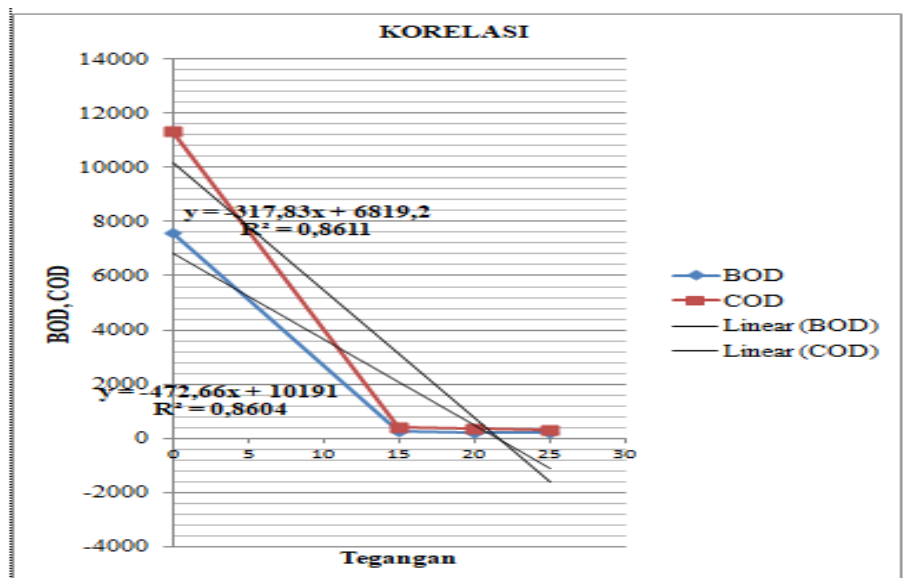
Adanya celah antara sampel dan juga elektroda jarum, dimana pada celah tersebut terdapat oksigen (O₂). Oksigen yang atomnya tertumbuk dapat membentuk ozon sesuai dengan persamaan berikut (Ade, 2017)



Selain dapat mengoksidasi zat organik, ozon yang terbentuk pada kondisi basa (lebih dari 8) dapat pula larut melalui permukaan air dan bereaksi menghasilkan radikal hidroksil (OH $\cdot$), radikal hidroksil memiliki potensial oksidasi lebih besar dibandingkan dengan ozon karena dapat mengoksidasi zat organik lebih cepat dibandingkan ozon sendiri (Ade, 2017). Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan BOD dan COD pada air limbah.

Hubungan Korelasi Tegangan Terhadap Penyisihan BOD dan COD Limbah Cair Kelapa Sawit

Untuk mengetahui apakah tegangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD dapat dianalisa dengan melakukan uji statistik (Ade, 2017). Berdasarkan hasil uji statistik korelasi dan regresi linier, didapatkan bahwa tegangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD dalam air limbah. Hal ini dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 3. Hubungan korelasi BOD, COD dan tegangan

Didapatkan korelasi antara tegangan dan kadar BOD limbah cair kelapa sawit sebesar 0,8604 serta didapatkan hasil korelasi antara tegangan dan COD sebesar 0,8611 dimana

memiliki arti kuat menurut tingkat hubungan interval koefisien korelasi. Nilai R^2 (R^2) digunakan untuk menilai seberapa besar pengaruh variabel laten independen tertentu terhadap variabel laten dependen (Meiryani, 2021). Meiryani menyatakan bahwa nilai R^2 0,75 termasuk kedalam kategori kuat, nilai R^2 0,50 termasuk dalam kategori moderat dan R^2 0,25 termasuk dalam kategori lemah (Meiryani, 2021).

SIMPULAN

Dari penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Penggunaan teknologi plasma tipe DBD mampu menurunkan kandungan BOD limbah cair kelapa sawit dari kadar awal sebesar 7.601 mg/l hingga menjadi 184 mg/l serta mampu menurunkan kandungan COD limbah cair kelapa sawit dari kadar awal sebesar 11.357 mg/l hingga menjadi 321 mg/l dengan perlakuan selama satu jam dengan tingkat efisiensi sebesar 97 % bagi BOD dan COD.
2. Penggunaan teknologi plasma tipe DBD dalam menurunkan kandungan BOD dalam waktu satu jam per tegangan yang berbeda belum mampu menurunkan kadar BOD hingga batas yang telah ditetapkan pada oleh kementerian Lingkungan Hidup No. 05 tahun 2014. Kadar BOD yang didapatkan dengan tegangan 25 Kv sebesar 184 mg/l. Namun kadar COD sudah mampu melewati batas yang ditetapkan yaitu sebesar 321 mg/l.

Dari penelitian ini masih terdapat kekurangan dengan skala laboratorium yang menggunakan volume limbah yang kecil dan tegangan yang tertinggi 25kV. Disarankan untuk penelitian lanjut menggunakan volume limbah dan tegangan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Satria. 2021. Efek Proses Aerobik pada Produksi Gas Hidrogen Pengolahan POME Menggunakan Teknologi Plasma *Dielectric Barrier Discharge*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.
- Agung, Tuhu. 2017. Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Menggunakan Teknologi Plasma. Universitas Pembangunan Nasional “ Veteran” Jawa Timur
- Annur, Cindy Mutia. 2020. Produksi Perkebunan Kelapa Sawit Di Indonesia Terus Naik Selama Lima Tahun Terakhir. <http://databoks.katada.co.id>
- Aris Munandar, A. 1975. Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2019. Kelapa Sawit. Jakarta.
- Ma, Sukhwai, dkk. 2020. *Purification of Organic Pollutants in Cationic Thiazine and Azo Dye Solution Using Plasma- Based Advance Oxidation Process Via Submerged Multi-Hole Dielectric Barrier Discharge. Separation and Purification Technology*. Elsevier
- Pamungkas, 2020, Aplikasi Lucutan Plasma Corona Dalam Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit, Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu, 2020.
- Riandini, Yoel Migei. 2006. Penggunaan Teknologi Plasma (*Electrical Discharge*) Pada Permukaan Aor Dengan Sistem *Non-Contact Electrode* Untuk Menurunkan

Warna, pH, TSS, COD Dalam Limbah Cair Pencelupan Industri Tekstil. Semarang: Universitas Diponegoro.

Rusdianasari, 2017. Treatment Optimization of Electrocoagulation (EC) in Purifying Palm Oil Mill Effluents (POMEs), Chemical Engineering Dept, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Ryane, Ade. 2017. Penggunaan Teknologi Plasma Dalam Mengurangi Kandungan BOD Dan Warna Pada Limbah Cair Industri Minuman Ringan. Universitas Diponegoro.

Syamriati, 2021. Kajian dampak limbah kelapa sawit terhadap kualitas Sungai Bulong-Bulong Sulawesi Selatan, Jurnal Ecosollum Volume 10, No.1

Yuna, Rama, dkk. 2019. Pengujian Karakteristik Kimia Pada Limbah Cair Kelapa Sawit Di Pabrik X. Jurnal Biologica Samudra 1