

## Effectiveness of EAPR (Electro Assisted Phytoremediation) Method for Palm Oil Mill Effluent Using Water Hyacinth Plants (*Eichhornia crassipes*) Electrical Voltage Variation and Surface Area of Zinc (Zn) Electrodes

Panca Nugrahini Febriningrum dan Ati Nuria Rohmah<sup>✉</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Jl. Prof. Dr. Soemantri Bojonegoro No.1 Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

### Info Artikel

Diterima : 09-07-2024

Disetujui : 18-07-24

Dipublikasikan : 26-08-2024

#### Keywords:

EAPR

Eceng Gondok

Fitoremediasi

Elektrokoagulasi

Limbah Cair Kelapa Sawit

### Abstrak

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah utama industri kelapa sawit dengan potensi pencemaran lingkungan yang besar sehingga diperlukan pengolahan limbah cair kelapa sawit yang tepat guna, ekonomis, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik dan luas permukaan elektroda seng (Zn) pada pengolahan limbah cair industri kelapa sawit dengan metode EAPR (*Electro Assisted Phytoremediation*) sehingga dapat diketahui perbandingannya terhadap konsentrasi nilai pH, COD, BOD, TSS, VSS, serta minyak dan lemak. Penelitian ini menggunakan limbah sebanyak 5 liter dan tanaman eceng gondok dengan jumlah daun 5-8 helai, serta waktu kontak selama 60 menit perhari. Perlakuan dihentikan jika penurunan mencapai angka konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH pada semua perlakuan sudah mencapai baku mutu dimana nilai tertinggi sebesar 7,5; penurunan COD tertinggi sebesar 34.190 mg/L dengan persentase 92,96%; penurunan TSS tertinggi sebesar 28.000 mg/L dengan persentase 97,22%; penurunan VSS tertinggi sebesar 23.000 mg/L dengan persentase 25,05%; serta penurunan minyak dan lemak tertinggi sebesar sebesar 8.540 mg/L dengan persentase 98,61% pada variasi tegangan listrik 12 volt, sedangkan penurunan BOD tertinggi sebesar 174,3 mg/L dengan persentase 35,16% pada variasi tegangan listrik 6 volt di reaktor 2 (luas permukaan katoda 500 cm<sup>2</sup> dan anoda 14 cm<sup>2</sup>).

### Abstract

Palm Oil Mill Effluent (POME) is the main waste of the palm oil industry with great potential for environmental pollution so that it is necessary to process palm oil liquid waste that is appropriate, economical, and environmentally friendly. Therefore, this study was conducted to determine the effect of electrical voltage and surface area of zinc electrodes (Zn) on the treatment of liquid waste in the palm oil industry using the EAPR (Electro Assisted Phytoremediation) method so that the comparison can be known to the concentration of pH, COD, BOD, TSS, VSS, as well as oil and fat. This study uses 5 liters of waste and water hyacinth plants with a number of 5-8 leaves, as well as a contact time of 60 minutes per day. Treatment is stopped if the decline reaches a constant number. The results showed that the pH value in all treatments had reached the quality standard where the highest value was 7,5; the highest COD decrease was 34.190 mg/L with a percentage of 92,96%; the highest TSS decrease was 28.000 mg/L with a percentage of 97,22%; the highest VSS decrease was 23.000 mg/L with a percentage of 25,05%; and the highest decrease in oil and fat was 8.540 mg/L with a percentage of 98,61% at the 12 volt voltage variation, while the highest BOD decrease was 174,3 mg/L with a percentage of 35,16% at the 6-volt voltage variation in reactor 2 (cathode surface area of 500 cm<sup>2</sup> and anode 14 cm<sup>2</sup>).

© 2024 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Prof. Dr. Soemantri Bojonegoro No.1 Bandar Lampung, Lampung 35145

E-mail: [atinuriarohmah123@gmail.com](mailto:atinuriarohmah123@gmail.com)

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

## Pendahuluan

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah utama yang dihasilkan dari industri kelapa sawit dengan potensi pencemaran lingkungan yang besar. Dimana dalam satu ton minyak sawit mentah produksi membutuhkan 5-7,5 ton air dan lebih dari 50% nya berakhir sebagai POME. Untuk saat ini pengolahan POME yang umum digunakan pada industri kelapa sawit yaitu dengan menggunakan reaktor anaerobik unggul tetap (RANUT) untuk mendapatkan biogas, namun metode ini belum memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Sedangkan jika POME diolah dengan menggunakan bahan kimia akan menimbulkan masalah pencemaran yang baru (Hanum, 2015). Oleh karena itu, diperlukan pengolahan limbah cair kelapa sawit yang tepat guna, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Salah satu metode yang digunakan untuk menurunkan kandungan limbah cair industri kelapa sawit adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan metode pengolahan limbah yang memanfaatkan tumbuhan, dimana tumbuhan tersebut akan bekerjasama dengan mikroorganisme dalam mendegradasi kontaminan menjadi kurang atau tidak berbahaya sama sekali (Siregar *et al.*, 2010). Akan tetapi, metode ini memerlukan waktu yang cukup lama dan juga belum memperoleh hasil yang sesuai dengan baku mutu.

Seiring dengan berjalannya waktu, metode fitoremediasi ini digabungkan dengan metode lain seperti filtrasi, aerasi, elektrokoagulasi, dan sebagainya. Seperti yang telah dilakukan oleh Ilmannafian *et al.* (2020) yaitu mengolah limbah cair kelapa sawit dengan metode filtrasi dan fitoremediasi selama empat minggu menggunakan tanaman eceng gondok dengan memvariasikan konsentrasi limbah cair industri kelapa sawit sebesar 100%, 75%, dan 25%. Metode ini hanya berhasil menurunkan kandungan BOD pada konsentrasi 25%, TSS pada konsentrasi 75% dan 25%, serta menetralkan pH pada semua variasi.

*Electro Assisted Phytoremediation* (EAPR) merupakan salah satu metode pengolahan limbah cair dengan memanfaatkan tanaman dan bantuan arus listrik. Arus listrik pada metode EAPR berfungsi untuk meningkatkan transportasi zat-zat hara dan air yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman (Bi *et al.*, 2010). Dimana pada tahun 2014, Novarita *et al.* telah melakukan penelitian dengan metode EAPR yang dibandingkan dengan hanya menggunakan metode fitoremediasi saja untuk peningkatan remediasi Cu dengan bantuan tanaman eceng gondok, serta menggunakan 2 jenis elektroda, yaitu titanium dan stainless steel. Diperoleh hasil bahwa remediasi logam Cu lebih efektif dengan menggunakan metode EAPR yaitu sebesar 50% dibandingkan proses fitoremediasi yang hanya sebesar 39%. Selain itu dinyatakan bahwa, metode EAPR tidak menimbulkan stress pada tanaman eceng gondok. Dengan ini dinyatakan bahwa metode EAPR layak dilakukan penelitian untuk pengolahan limbah cair lainnya.

Berdasarkan kajian di atas dalam penelitian ini menggunakan metode EAPR (*Electro Assisted Phytoremediation*) untuk menurunkan kandungan limbah cair industri kelapa sawit dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan elektroda seng (Zn) di dalam reaktor *batch*. Dimana tegangan listrik dan luas permukaan elektroda divariasikan. Sehingga dapat diketahui efektivitas metode ini untuk penurunan kandungan limbah cair industri kelapa sawit.

## Metode

Alat yang digunakan adalah reaktor EAPR, elektroda seng (Zn), DC *power supply*, *stabilizer*, kabel penghubung, jerigen, gelas beaker, gelas ukur, spatula, rak tabung, pipet ukur, bola hisap, COD reaktor, spektrofotometer, kertas saring, erlenmeyer, corong gelas, neraca analitik, *porcelain*, oven, *furnace*, desikator, pH meter, *stopwatch*, corong pisah, labu destilasi, kabel *ties*, centong, *rotary evaporator*, botol *winkler*, *water cooler*, dan DO meter. Adapun bahan yang digunakan yaitu limbah cair industri kelapa sawit, eceng gondok, reagen COD, aquades, N-heksana, sodium sulfat anhidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), kalium dihidrogen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), dinatrium hidrogen fosfat heptahidrat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), natrium hidroksida (NaOH), magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), kalsium klorida anhidrat ( $\text{CaCl}_2$ ), feri klorida ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

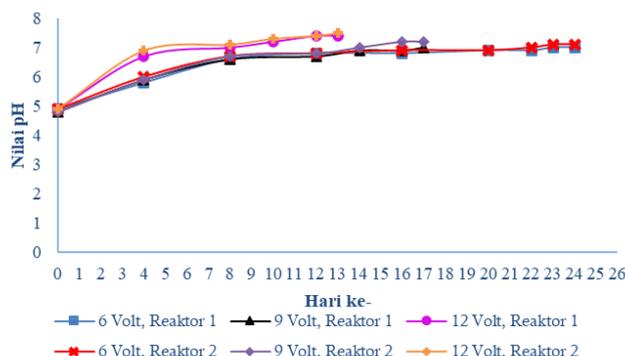
Pada penelitian ini tahapan yang dilakukan pertama yaitu analisis awal kondisi limbah cair dengan cara sampel limbah cair industri kelapa sawit diukur nilai pH, COD, BOD, TSS, VSS, minyak dan lemak. Selain itu, juga dilakukan pemilihan dan aklimatisasi tanaman. Tanaman eceng gondok diambil dari perairan di sekitar Bandar Lampung yang kemudian dipilih berdasarkan jumlah daun yang berkisar antara 5-8 helai daun. Tanaman dibersihkan terlebih dahulu dengan air untuk menghilangkan sisa pengotor di akar dan daun tanaman yang selanjutnya tanaman di aklimatisasi (proses adaptasi terhadap lingkungan) selama 7 hari dengan air segar. Dilanjutkan dengan proses EAPR pada reaktor EAPR (25 cm (p) x 20 cm (l) x 15 cm (t)) diisi limbah cair industri kelapa sawit sebanyak 5 liter dan ditambahkan tanaman eceng gondok, serta elektroda seng (Zn) yang divariasikan luas permukaannya. Untuk luas permukaan yang pertama yaitu katoda sebesar  $400 \text{ cm}^2$  ( $74 \text{ cm} \times 5,4 \text{ cm}$ ) dan 4 buah anoda masing-masing berukuran  $11 \text{ cm}^2$  ( $1,1 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ), lalu yang kedua yaitu katoda berukuran  $500 \text{ cm}^2$  ( $74 \text{ cm} \times 6,8 \text{ cm}$ ) dan 4 buah anoda masing-masing berukuran  $14 \text{ cm}^2$  ( $1,4 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ). Waktu kontak yang digunakan pada reaktor EAPR selama 60 menit perhari dengan variasi tegangan listrik sebesar 6, 9, dan 12 volt, serta arus listrik yang menyesuaikan dari power supply. Proses EAPR ini berlangsung hingga penurunan kandungan limbah maksimal. Kemudian tahap berikutnya

yaitu analisis akhir kondisi limbah. Sampel limbah cair industri kelapa sawit yang telah melalui proses EAPR di analisis kadar pH, COD, BOD, TSS, VSS, minyak dan lemak.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Konsentrasi Derajat Keasaman (pH)

Nilai derajat keasaman (pH) merupakan salah satu indikator yang menandakan bahwa terjadinya proses pendegradasian limbah cair industri kelapa sawit. Gambar 1 berikut menunjukkan nilai derajat keasaman (pH) semua variasi selama proses berlangsung. Dimana untuk reaktor 1 menunjukkan luas permukaan katoda 400 cm<sup>2</sup> dan anoda 11 cm<sup>2</sup>, sedangkan reaktor 2 menunjukkan luas permukaan katoda 500 cm<sup>2</sup> dan anoda 14 cm<sup>2</sup>.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Derajat Keasaman (pH)

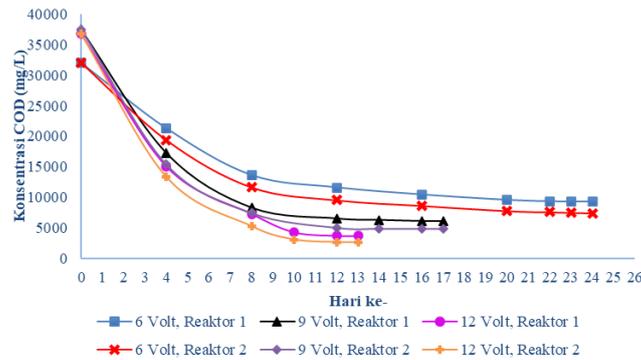
Pada grafik hasil penelitian tersebut nilai awal pH limbah cair kelapa sawit yaitu 4,8 – 4,9. Akan tetapi, setelah dilakukan proses *Electro Assisted Phytoremediation* (EAPR) pH limbah berubah menjadi 7,1 – 7,5. Nilai pH pada setiap perlakuan untuk pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan metode EAPR ini telah memenuhi baku mutu PERMEN LH No.5 Tahun 2014. Dimana untuk variasi tegangan listrik 6 volt dengan nilai pH awal sebesar 4,9 naik menjadi 7,0 pada reaktor 1 dan 7,2 pada reaktor 2 selama 24 hari. Kemudian untuk variasi tegangan listrik 9 volt dengan pH awal sebesar 4,8 naik menjadi 7,0 pada reaktor 1 dan 7,2 pada reaktor 2 selama 17 hari. Sedangkan, untuk variasi tegangan listrik 12 volt dengan nilai pH awal sebesar 4,9 mengalami perubahan pada reaktor 1 sebesar 7,4 dan pada reaktor 2 sebesar 7,5 selama 13 hari. Sehingga penurunan nilai pH tertinggi yaitu sebesar 7,5.

Kenaikan pH ini dipengaruhi oleh dua buah proses yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu proses fitoremediasi dan elektrokoagulasi. Dimana pada proses fitoremediasi, nilai pH naik karena turunnya kandungan CO<sub>2</sub> yang digunakan eseng gondok untuk fotosintesis. Pada awalnya CO<sub>2</sub> akan bereaksi dengan H<sub>2</sub>O kemudian akan membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Asam karbonat ini merupakan asam lemah yang dapat melepaskan ion hidrogen (H<sup>+</sup>). Oleh karena itu, peningkatan kandungan CO<sub>2</sub> dalam air akan meningkatkan konsentrasi ion hidrogen (H<sup>+</sup>) yang mengakibatkan penurunan pH. Akan tetapi, pada saat CO<sub>2</sub> berkurang untuk proses fotosintesis jumlah asam karbonat yang dihasilkan dari reaksinya dengan air juga akan berkurang. Hal ini dapat mengurangi konsentrasi ion hidrogen (H<sup>+</sup>) dalam limbah sehingga dapat menyebabkan naiknya nilai pH (Ilmannafian *et al.*, 2020).

Pada proses elektrokoagulasi kenaikan pH dapat terjadi karena produksi ion OH<sup>-</sup> pada saat proses elektrolisis terjadi. Dimana anoda seng akan menghasilkan ion logam sebagai agen koagulan. Kation yang dihasilkan yaitu Zn<sup>2+</sup> akan berikatan dengan ion hidroksida (OH<sup>-</sup>) yang dihasilkan pada katoda dan membentuk senyawa hidroksida berupa flok yaitu Zn(OH)<sub>2</sub>. Oleh karena itu, semakin besar tegangan yang diberikan dan semakin luas permukaan logam akan semakin baik menaikkan pH yang awalnya bersifat asam. Hal ini dikarenakan semakin banyak ion hidroksida yang dihasilkan.

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) menunjukan jumlah bahan organik dan anorganik yang dapat dioksidasi dalam limbah (Atima, 2015). Gambar 2. berikut menunjukkan hasil analisis konsentrasi COD selama proses berlangsung.



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda terhadap COD

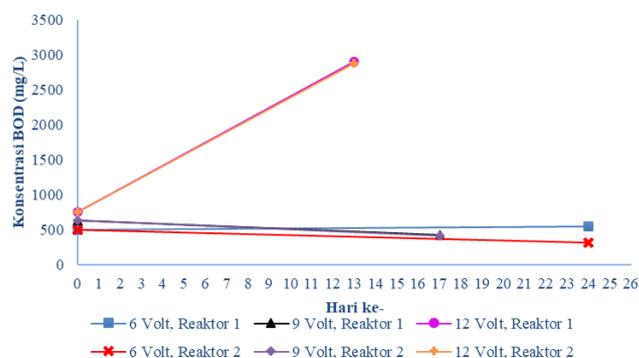
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa kadar COD pada setiap perlakuan mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Dari data pengamatan didapatkan penurunan COD terbaik pada variasi tegangan listrik 12 volt di reaktor 2 yaitu sebesar 34.190 mg/L dengan presentase sebesar 92,96%. Meskipun penurunan konsentrasi COD cukup tinggi, akan tetapi belum sesuai dengan baku mutu yang telah diatur PERMEN LH No.5 Tahun 2014.

Berdasarkan proses fitoremediasi tanaman eceng gondok berperan penting dalam penurunan konsentrasi COD. Tanaman eceng gondok akan menghasilkan oksigen dari proses fotosintesis. Oksigen yang disuplai oleh eceng gondok akan digunakan oleh mikroorganisme yang berada pada sekitar akar tanaman untuk mereduksi senyawa-senyawa kompleks yang terkandung di dalam limbah (Djo *et al*, 2017). Berkurangnya senyawa-senyawa dan logam berat yang berada dalam limbah inilah yang menyebabkan penurunan konsentrasi COD.

Selanjutnya, berdasarkan proses elektrokoagulasi pada elektroda akan terbentuk gas hidrogen dan oksigen yang dapat mengangkat partikel-partikel padat dan zat-zat terlarut dalam limbah cair ke permukaan. Selain itu, terdapat ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dan ion logam ( $\text{Zn}^{2+}$ ) yang bereaksi menjadi  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . Dimana  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  ini akan berperan sebagai koagulan. Koagulan ini juga dapat mengikat partikel-partikel dalam limbah, membentuk flok, dan membantu menghilangkannya dari larutan sehingga dapat menurunkan konsentrasi COD (Yuniarti, 2021). Oleh karena itu, semakin besar tegangan listrik dan semakin luas permukaan elektroda yang digunakan akan semakin besar penurunan konsentrasi COD.

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik dalam kondisi aerobik. Konsentrasi BOD yang tinggi menunjukkan rendahnya kandungan oksigen terlarut dalam limbah (Nurjanah, 2017). Gambar 3. berikut menunjukkan hasil analisis konsentrasi BOD selama proses berlangsung.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda terhadap BOD

Berdasarkan gambar di atas penurunan konsentrasi BOD terbaik terjadi pada reaktor 2 dengan variasi tegangan listrik 6 volt yaitu sebesar 174,3 mg/L dengan presentase penurunan 35,16%. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan, maka semakin tidak baik juga penurunan BOD yang terjadi bahkan mengalami kenaikan. Pada variasi 6 volt di reaktor 1 juga terjadi kenaikan karena *power supply* bermasalah. Melihat hasil pada variasi 9 dan 12 volt penurunan yang lebih baik terdapat di reaktor 2, maka dapat

disimpulkan pula pada variasi 6 volt yang terbaik di reaktor 2. Berdasarkan PERMEN LH No.5 Tahun 2014 penurunan BOD pada semua variasi belum mencapai baku mutu yang telah ditentukan 2014.

Konsentrasi BOD dapat berubah akibat pada proses fitoremediasi digunakan tanaman eceng gondok, dimana di sekitar akar tanaman eceng gondok terdapat mikroorganisme yang dapat mendegradasi polutan berupa senyawa organik yang terkandung dalam limbah. Senyawa organik ini akan dijadikan sumber nutrisi untuk mikroba dan kemudian diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana (Djo *et al*, 2017). Mikroorganisme pada akar eceng gondok, misalnya *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* dapat merombak ammonia ( $\text{NH}_3$ ) menjadi nitrit ( $\text{NO}_2$ ) kemudian nitrit akan menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang akhirnya dapat diserap tanaman (Novita *et al*, 2022). Kemudian, senyawa organik akan masuk ke bagian batang tanaman melalui pembuluh pengangkut yang akan menyebar ke seluruh bagian tanaman (Djo *et al*, 2017). Proses fotosintesis memperkuat kinerja mikroorganisme di akar tanaman eceng gondok. Hal ini karena tanaman akan menyuplai oksigen yang cukup untuk mikroorganisme pada zona *rhizosphere* untuk mendegradasi limbah.

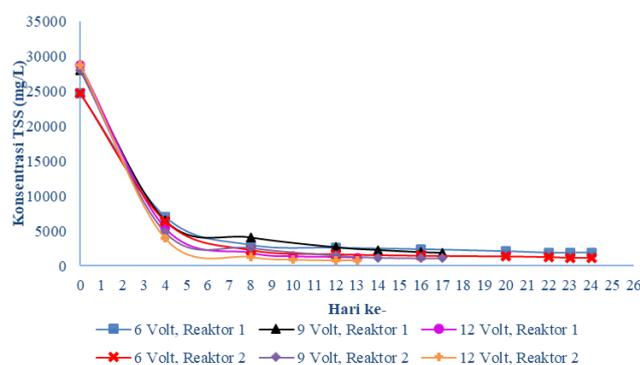
Pada proses elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda seng, perubahan BOD dapat terjadi karena ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) akan berikatan dengan ion logam ( $\text{Zn}^{2+}$ ) yang berasal dari elektroda akan membentuk  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  sebagai koagulan. Sifat dari koagulan tersebut dapat mengikat senyawa-senyawa organik, sehingga terjadi pembentukan flok dan akhirnya flok tersebut dapat mengendap. Selain itu, pembentukan gas hidrogen dan oksigen pada elektroda akan membantu mengangkat flok-flok dalam limbah cair ke permukaan.

Di samping itu, konsentrasi BOD menjadi naik karena berkurangnya kandungan oksigen pada limbah di reaktor. Hal ini dapat terjadi karena berkurangnya kemampuan tanaman eceng gondok untuk melakukan fotosintesis akibat dialirkan tegangan listrik. Sehingga semakin besar tegangan listrik yang diberikan membuat eceng gondok menjadi lebih cepat mengalami kematian. Berkurangnya oksigen juga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan mikroorganisme bahkan dapat mengalami kematian sehingga mempengaruhi nilai BOD (Nurjanah, 2017). Semakin besar tegangan listrik yang diberikan juga menghambat oksigen yang masuk ke dalam limbah pada reaktor. Hal ini karena semakin besar tegangan listrik yang diberikan membuat bagian atas dari reaktor tertutupi oleh flok-flok yang mengapung akibat proses elektrolisis.

Menurut Putra *et al* (2015) seharusnya dengan metode EAPR ini dapat membantu meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam air limbah untuk penguraian bahan organik. Selain itu dapat membantu pemindahan ion kontaminan organik dari air ke dalam tumbuhan melalui elektromigrasi. EAPR juga dapat merangsang tumbuhan untuk mengalami proses transpirasi, yaitu proses penguapan air melalui daun. Dimana hal ini dapat membantu pergerakan air dan nutrisi sehingga mampu mempengaruhi biodegradasi dan pengurangan konsentrasi BOD.

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS)

Analisis *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah total partikel padat yang terlarut dalam air limbah yang mencakup partikel-partikel padat yang tidak larut dalam air dan tetap tersuspensi dalam cairan. Gambar 4. berikut menunjukkan penurunan konsentrasi TSS selama proses berlangsung.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda terhadap TSS

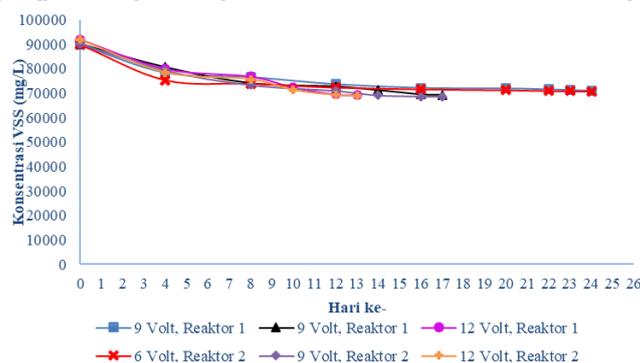
Dari grafik penelitian tersebut diperoleh bahwa hasil terbaik terdapat pada reaktor 2 dengan variasi tegangan listrik 12 volt yaitu menurunkan nilai TSS sebesar 28.000 mg/L dengan presentase 97,22%. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan dan semakin luas permukaan elektroda yang digunakan penurunan TSS akan menjadi lebih baik. Meskipun penurunan konsentrasi TSS cukup tinggi, nilai TSS yang diperoleh belum memenuhi baku mutu PERMEN LH No.5 Tahun 2014.

Pada penelitian ini penurunan konsentrasi TSS terjadi karena kedua proses yang digunakan yaitu fitoremediasi dan elektrokoagulasi. Pada proses fitoremediasi konsentrasi TSS dapat turun karena kerja dari tanaman eceng gondok. Dimana akar eceng gondok mampu menangkap partikel padat yang terdapat dalam limbah cair kelapa sawit. Tanaman eceng gondok memiliki 108ka na akar yang sangat kompleks dengan banyak rambut akar dan memiliki banyak cabang, sehingga mampu menahan partikel padat dalam air yang mengalir melalui akar-akar tersebut. Pada akar tanaman eceng gondok juga terdapat mikroorganisme yang dapat menguraikan partikel padat dalam limbah, terutama partikel yang berasal dari bahan organik. Proses ini disebut dengan dekomposisi atau biodegradasi. Mikroorganisme dapat menghasilkan enzim yang dapat merombak berbagai senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga senyawa organik tersebut lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme (Widiyanti *et al.*, 2020).

Sedangkan pada proses elektrokoagulasi penurunan TSS dikarenakan penggunaan elektroda yaitu anoda dan katoda yang dialiri arus listrik menghasilkan reaksi elektrokimia disekitar elektroda. Ion logam yang dihasilkan dari elektroda ( $Zn^{2+}$ ) akan berikatan dengan ion hidroksida ( $OH^-$ ) yang sifatnya menarik senyawa-senyawa lain seperti padatan-padatan yang terdapat di dalam air limbah. Padatan tersebut akan membentuk flok yang terpisah dari air limbah, dimana flok-flok ini 108ka nada yang mengendap ke bawah dan ada yang terapung ke atas. Sehingga berkurangnya kandungan padatan yang tersuspensi pada air limbah.

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap *Volatle Suspended Solid (VSS)*

Nilai VSS dapat digunakan untuk mengetahui jumlah mikroorganisme di dalam air limbah. Berikut merupakan Gambar 5. yang menunjukkan penurunan konsentrasi VSS selama proses berlangsung.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda terhadap VSS

Dari grafik hasil penelitian tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi VSS mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Dimana diperoleh bahwa hasil penurunan tertinggi terdapat pada variasi tegangan listrik 12 volt di reaktor 2 yaitu sebesar 23.000 mg/L dengan persentase penurunan VSS sebesar 25,05%.

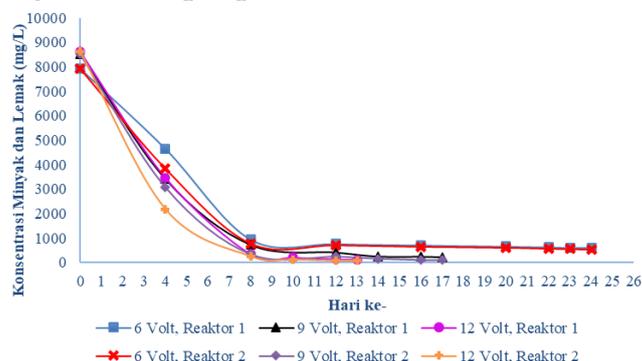
Nilai VSS sendiri berbanding lurus dengan laju kinetika dekomposisi atau penguraian bahan organik dalam air limbah. Dimana semakin banyak mikroorganisme dalam limbah, maka semakin tinggi juga laju kinetika dekomposisi bahan organiknya. Dalam arti bahan organik yang terdapat di dalam limbah berkurang karena diuraikan oleh mikroorganisme. Bahan organik yang dimaksud yaitu seperti mikroorganisme yang sudah mati, senyawa organik yang telah mengalami dekomposisi mikrobiologis, serta senyawa organik lainnya, seperti minyak dan lemak (Trisakti *et al.*, 2020). Pengukuran VSS pada beberapa titik dapat membantu dalam mengamati perubahan konsentrasi bahan organik yang mudah menguap.

Perubahan konsentrasi VSS pada penelitian ini dapat terjadi akibat proses fitoremediasi dan proses elektrokoagulasi. Pada proses fitoremediasi digunakan tanaman eceng gondok, dimana eceng gondok akan menghasilkan oksigen pada reaktor akibat proses fotosintesis. Oksigen tersebut akan dikonsumsi oleh mikroorganisme yang terdapat pada sekitar akar tanaman, sehingga jumlah mikroorganisme yang ada akan bertambah dan proses degradasi akan semakin cepat.

Di samping itu, pada proses elektrokoagulasi dengan dialirkannya arus listrik menggunakan elektroda sng akan membantu aktivitas mikroorganisme dalam air limbah. Menurunnya nilai VSS walaupun tidak terlalu signifikan menandakan bahwa mikroorganisme berkurang. Hal ini dapat terjadi karena tidak kuatnya mikroorganisme terkena aliran listrik. Semakin besar tegangan listrik dan semakin luas permukaan elektroda yang digunakan, maka semakin banyak kematian mikroorganisme. Selain itu dapat disebabkan karena ketersediaan bahan organik di dalam air limbah semakin menurun, yang menandakan bahwa kualitas air limbah semakin baik (Trisakti *et al.*, 2020).

### Pengaruh Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda Terhadap Konsentrasi Minyak dan Lemak

Kandungan minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah merupakan sisa dari aktivitas saat proses pengolahan. Semakin kecil kandungan minyak dan lemak pada limbah cair kelapa sawit, maka akan semakin baik kualitas air buangnya. Berikut merupakan Gambar 6. yang menunjukkan penurunan konsentrasi minyak dan lemak selama proses berlangsung.



**Gambar 6.** Hubungan Tegangan Listrik dan Luas Permukaan Elektroda terhadap Minyak dan Lemak

Dari hasil pengamatan, didapatkan penurunan tertinggi terdapat pada variasi tegangan listrik 12 volt di reaktor 2 yaitu sebesar 8.540 mg/L dengan presentase penurunan sebesar 98,61%. Akan tetapi, walaupun penurunan konsentrasi minyak dan lemak cukup tinggi, masih belum ada konsentrasi minyak dan lemak yang memenuhi baku mutu sesuai dengan PERMEN LH No.5 Tahun 2014.

Penurunan konsentrasi minyak dan lemak dipengaruhi oleh proses fitoremediasi dan elektrokoagulasi. Pada proses fitoremediasi penurunan minyak dan lemak ini juga dipengaruhi oleh tanaman eceng gondok. Dimana akar tanaman eceng gondok akan menarik minyak dan lemak dari air limbah. Minyak dan lemak yang terakumulasi di sekitar akar, kemudian akan diserap oleh tanaman. Selain itu, mikroorganisme yang terdapat di sekitar akar tanaman eceng gondok juga akan mengurai minyak dan lemak. Jika hanya penggunaan eceng gondok untuk mengurai minyak dan lemak dalam skala besar memerlukan waktu yang cukup lama dan perlu pengolahan tambahan (Putra, 2018).

Pada proses elektrokoagulasi penurunan minyak dan lemak terjadi karena terbentuknya  $Zn(OH)_2$ . Dimana  $Zn(OH)_2$  adalah senyawa koagulan yang memiliki fungsi sebagai bahan penyerap dan penggumpal, salah satunya dapat menggumpalkan konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah, sehingga dapat lebih mudah untuk diendapkan (Sutanto, 2017). Jenis minyak dan lemak termasuk golongan koloid hidrofilik yang memiliki muatan negatif. Jumlah  $Zn^{2+}$  yang dilepaskan saat proses berlangsung sangat mempengaruhi interaksi yang terjadi pada mekanisme destabilisasi minyak dan lemak (Nur, 2017). Sehingga semakin besar tegangan listrik yang diberikan dan semakin besar luas permukaan elektroda membuat kandungan minyak dan lemak dalam limbah semakin berkurang. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya pembentukan  $Zn(OH)_2$ .

### Simpulan

Metode EAPR mampu menetralkan pH serta menurunkan kandungan COD, BOD, TSS, VSS, Minyak dan Lemak. Semakin besar luas permukaan elektroda yang digunakan maka lebih cepat menetralkan nilai pH, serta semakin tinggi penurunan nilai COD, BOD, TSS, VSS, Minyak dan Lemak pada limbah cair kelapa sawit. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka lebih cepat menetralkan nilai pH dan semakin tinggi penurunan nilai COD, TSS, VSS, Minyak dan Lemak, akan tetapi lebih buruk untuk penurunan nilai BOD pada limbah cair kelapa sawit.

### Daftar Referensi

- Atima, Wa. (2015). *BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah*. Jurnal Biology Science & Education 2015 Vol. 4 No.1: 83-93.
- Bi, R., Schlaak, M., Siefert, E., Lord, R., & Connolly, H. (2010). *Alternating Current Electric Field Effects on Lettuce (Lactuca sativa) Growing in Hydroponic Culture with and without Cadmium Contamination*. Journal of Applied Electrochemistry 40: 1217-1223.
- Djo, Y. H. W., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., & Sulihingtyas, W. D. (2017). *Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana*. Cakra kimia. Vol. 5, No. 2: 137-144.

- Hanum, F., Tambun, R., Ritonga, M. Y., & Kasim, W. W. (2015). *Aplikasi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 4, No. 4: 13-17.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes)*. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 21, No. 2: 244-253.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta.
- Novarita, D., Cahyana, F., & Putra, R. S. (2014). *Peningkatan Remediasi Cu Menggunakan Metode EAPR dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. Tokyo Tech Indonesian Commitment Award (TICA).
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Safrizal, M. R., Puspitasari, A. I., & Pradana, H. A. (2022). *Kajian Perbaikan Kualitas Air Limbah Pengolahan Kopi Menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*. Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 11 No.1: 192-203.
- Nur, A. & Jatnika, A. (2017). *Elektrokoagulasi Monopolar untuk Menyisihkan Organik dan Minyak Lemak Air Buangan Domestik (Grey Water)*. Jurnal Dampak Teknik Lingkungan UNAND Vol. 14 No.2: 81-86.
- Nurjanah, S., Zaman, B. & Syakur, A. (2017). *Penyisihan BOD dan COD Limbah Cair Industri Karet dengan Sistem Biofilter Aerob dan Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD)*. Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro Vol. 6 No.1.
- Putra, Reynaldi. (2018). *Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Tanaman Phyto Treatment dalam Proses Pengolahan Limbah Cair Penyulingan Minyak Kayu Putih*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Putra, R. S., Cahyana, F., & Novarita, D. (2015). *Removal of Lead and Copper from Contaminated Water Using EAPR System and Uptake by Water Lettuce (Pistia Stratiotes L.)*. Procedia Chemistry Vol. 14: 381-386.
- Siregar, U. J., & Siregar, C. A. (2010). *Fitoremediasi: Prinsip dan Prakteknya dalam Restorasi Lahan Paska Tambang di Indonesia, Seameo Biotrop*. Jakarta: Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology.
- Sutanto, Rohadi, N. & Hidjan. (2017). *Penggunaan Zeolit Terpadu Proses Elektrokoagulasi untuk Menurunkan Kandungan Minyak dan Lemak dalam Air Limbah*. 2<sup>nd</sup> Seminar Nasional IPTEK Terapan (SENIT). ISSN: 2579-9045. ISBN: 978-602-74355-1-3. 144-148.
- Trisakti, B. & Sijabat, I. P. (2020). *Profil pH dan Volatile Suspended Solids pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Pupuk Cair Organik Aktif sebagai co-Composting*. Jurnal Teknik Kimia USU. Vol. 09, No. 1: 11-15.
- Widiyanti, A., Oktavia, L., & Setiawan, A. (2020). *Fitoteknologi Pengolahan Limbah Cair Depo Pemasaran Ikan (DPI) Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dan Kangkung Air (Ipomoea aquatic)*. Journal of Research and Technology. Vol. VI. 227-236.
- Yuniarti, B. I. & Widayatno, T. (2021). *Analisa Perubahan BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Elektrooksidasi-Elektrokoagulasi Elektroda Fe-C dengan Sistem Semi Kontinyu*. Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan Vol. 5 No. 3: 238-247.