

**PEMANFAATAN ECENG GONDOK (*EICHHORNIA CRASSIPES*)
SEBAGAI TANAMAN *PHYTO TREATMENT* DALAM PROSES
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PENYULINGAN MINYAK KAYU
PUTIH**

*(Utilization of Water Hyacinth as Phyto Treatment Plant in Eucalyptus Oil
Refinery Wastewater Treatment)*

Reynaldi Putra

Fakultas Teknik Sipil dan Pembangunan Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam
Indonesia

ABSTRACT

*Sendang Mole's eucalyptus oil industry in Gading Village, Playen District, Gunung Kidul Regency, DI Yogyakarta is a part of the revenue original source for the Province of Yogyakarta. In the processing of eucalyptus oil, it is produced wastewater of eucalyptus oil derived from residue of the distillation. The resulting liquid effluent is directly discharged into the river body without being processed in advance can disrupt the life of other living things around it. In the research, researchers do the processing of liquid waste from distillation of eucalyptus oil by phytoremediation process using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plant with aquatic plant treatment system. The aim of the research is to find out how much efficiency and effectivity of phytomediation process using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on the decrease of COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biological Oxygen Demand), oil and fat, and pH neutralization in the processing of liquid waste distillation eucalyptus oil. The researches used a variation of mass of water hyacinth plant, 1st tub (1,5 kg), 2nd tub (1 kg), 3rd (0,5 kg) and control tub that not given water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plant treatment. The concentration reduction of the waste component is reviewed and tested every two days for 8 days of laboratory study. From the results of this study, obtained the percentage of decreased levels of COD by 67%, 68% and 68% respectively. And the percentage decrease in BOD content by 53%, 50% and 51% respectively. Furthermore, the percentage decrease in total oil and fat content is 83%, 83% and 83% respectively. These results indicate that the mass of water hyacinth plants has no effect on the percentage decrease in COD, BOD and Total Oil and Fats in the waste water of eucalyptus oil refinery. The hyacinth waterplant is efficient and effective solution for reducing the COD, BOD and Oil and Fat concentration the wastewater from the eucalyptus oil refinery compared to the control. The hyacinth water (*Eichhornia crassipes*) plant produce a near-neutral pH from wastewater become 7,6. The result of pH value penetration makes the treated wastewater of refined eucalyptus oil safe to be discharged into the environment.*

*Keywords : *Eichhornia crassipes*, eucalyptus oil wastewater, phytoremediation, COD, BOD, pH, Oil and Fat*

INTISARI

Hingga saat ini industri minyak kayu putih Sendang Mole di Desa Gading, Kec. Playen, Kab. Gunung Kidul, DI. Yogyakarta merupakan bagian sumber pendapatan asli daerah bagi Provinsi Yogyakarta. Dalam pengolahan minyak kayu putih, dihasilkan limbah cair minyak kayu putih yang berasal dari sisa penyulingan. Limbah cair yang dihasilkan langsung dibuang ke badan sungai tanpa diolah terlebih dahulu dapat mengganggu kehidupan makhluk hidup lain di sekitarnya. Pada penelitian ini, dilakukan pengolahan limbah cair dengan proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dengan sistem *Aquatic plant treatment*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar efisiensi dan efektivitas proses fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) terhadap penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), Minyak dan Lemak dan penetralan pH dalam pengolahan limbah cair penyulingan minyak kayu putih. Peneliti menggunakan variasi massa tanaman eceng gondok, yaitu bak 1 (1,5 kg), bak 2 (1 kg), bak 3 (0,5 kg) dan bak kontrol yang tidak diberi perlakuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*). Penurunan konsentrasi dari komponen limbah ditinjau dan diuji setiap dua hari selama 8 hari masa penelitian di laboratorium. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan hasil persentase penurunan kadar COD sebesar 67%, 68% dan 68% secara berurutan. Dan hasil persentase penurunan kadar BOD sebesar 53%, 50% dan 51% secara berurutan. Selanjutnya, hasil persentase penurunan kadar Minyak dan Lemak Total sebesar 83%, 83% dan 83% secara berurutan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa massa tanaman eceng gondok tidak berpengaruh terhadap persentase penurunan kadar COD, BOD dan Minyak dan Lemak Total pada air limbah penyulingan minyak kayu putih. Tanaman eceng gondok terbukti efisien dan efektif dapat menurunkan kadar COD, BOD dan Minyak dan Lemak pada limbah cair hasil penyulingan minyak kayu putih dibandingkan dengan kontrol. Tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) menghasilkan peningkatan pH mendekati netral sebesar 7,6 selama proses fitoremediasi. Hasil penetralan nilai pH membuat air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih yang diolah aman untuk dibuang ke lingkungan.

Kata Kunci : *Eichhornia crassipes*, Limbah Minyak Kayu Putih, Fitoremediasi, COD, BOD, pH, Minyak dan Lemak.

PENDAHULUAN

Meningkatnya sektor industri pertanian dapat meningkatkan kesejahteraan dan mempermudah manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup. Namun di samping itu, industri yang ada tidak hanya menghasilkan produk saja, melainkan juga menghasilkan limbah. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat, gas, dan cair. Sebelum dibuang ke lingkungan, keberadaan suatu limbah membutuhkan pengolahan dan pengendalian agar tidak terjadi pencemaran lingkungan. Kerusakan yang terjadi akibat limbah yang tidak terkendali meliputi kerusakan biologis, fisik dan kimia. Pengolahan limbah sangat penting dalam suatu industri sehingga limbah yang dibuang tidak menimbulkan bahaya sehingga kehidupan manusia dan kelestarian lingkungan.

Industri penyulingan minyak kayu putih menghasilkan minyak kayu putih mentah sebagai produk utama. Dalam pengolahan minyak kayu putih, dihasilkan limbah padat berupa sisa daun dan ranting hasil dari proses distilasi dan limbah cair minyak kayu putih yang berasal dari air sisa penyulingan. Pada industri minyak kayu putih Sendang Mole di Desa Gading, Kec. Playen, Kab. Gunung Kidul, DI.Yogyakarta, proses produksi minyak kayu putih dilakukan dengan teknik penyulingan secara uap langsung dengan mengalirkan uap air pada bak penyulingan

atau tangki distilasi. Limbah cair yang dihasilkan langsung dibuang ke badan sungai tanpa diolah terlebih dahulu sedangkan limbah cair ini memiliki kandungan organik yang mengacu pada baku mutu Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih.

Salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah cair penyulingan minyak kayu putih dapat dilakukan dengan proses biologi yang menggunakan tanaman atau dikenal sebagai proses fitoremediasi yang selanjutnya diaplikasikan dengan sistem *Aquatic plant treatment*. Pada penelitian sebelumnya tentang pengolahan limbah industri minyak kayu putih Sendang Mole, menjelaskan tentang pengolahan limbah minyak kayu putih dengan proses koagulasi, netralisasi dan filtrasi anaerobik sehingga membutuhkan tambahan bahan kimia dalam pengolahannya, biaya pengolahannya lebih besar serta proses perencanaannya lebih rumit dibandingkan dengan proses fitoremediasi yang secara alami.

Fitoremediasi sebagai salah satu upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk mengurangi beban pencemaran lingkungan dengan penggunaan biaya yang rendah dibandingkan metode lainnya, proses fitoremediasi ini berlangsung secara alami tanpa menimbulkan dampak pencemaran lainnya. Fitoremediasi juga menawarkan

remediasi permanen bukan sekadar pemindahan masalah. Teknik fitoremediasi pada awalnya banyak digunakan untuk mengolah bahan-bahan buangan organik maupun bahan-bahan anorganik berupa logam berbahaya dan beracun yang mencemari lingkungan, khususnya lingkungan terestrial dan lingkungan perairan.

Pemilihan metode fitoremediasi ini didasarkan pada pengoperasiannya tidak rumit, biaya operasional relatif murah, alat dan bahan yang digunakan mudah diperoleh, tanaman bisa dengan mudah dikontrol pertumbuhannya, merupakan cara fitoremediasi yang paling aman bagi lingkungan karena memanfaatkan tumbuhan serta dapat memelihara keadaan alami lingkungan sehingga ketika diaplikasikan ke industri terkait, pihak industri mampu melaksanakannya secara teknik dan ekonomis.

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) pada penelitian ini akan dimanfaatkan sebagai salah satu cara untuk menurunkan konsentrasi BOD, COD, Minyak & Lemak Total dan penetralan pH dalam limbah cair penyulingan minyak kayu putih sehingga memenuhi parameter standar baku mutu sesuai PERDA No. 7 Tahun 2016.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efisiensi proses fitoremediasi terhadap penurunan kadar COD, BOD, Minyak & Lemak Total dan penetralan pH

dalam pengolahan limbah cair penyulingan minyak kayu putih menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*).

Penelitian ini penting untuk dilakukan agar limbah cair dari hasil penyulingan minyak kayu putih dapat segera diolah secara ekonomis, efektif dan efisien agar tidak mencemari kualitas dan kuantitas air.

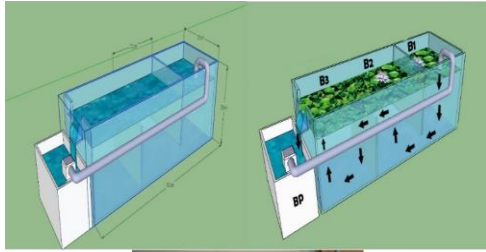
Manfaat lain dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai pengolahan limbah cair minyak kayu putih dengan sistem *Aquatic Plant Treatment* menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) terhadap kadar kandungan COD, BOD, Minyak & Lemak Total dan penetralan pH dalam limbah cair.

METODELOGI

Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan adalah bak sistem *Aquatic Plant Treatment* skala laboratorium, ember, jerigen, timbangan, termometer, pH meter, dan peralatan uji laboratorium parameter uji COD, BOD dan Minyak dan Lemak.

Bahan-bahan yang digunakan adalah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), sampel air limbah penyulingan minyak kayu putih dan bahan uji laboratorium parameter uji COD, BOD dan Minyak & Lemak Total.



Pengambilan dan Pengujian Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di kawasan industri minyak kayu putih Sendang Mole, Desa Gading, Kec. Playen, Kab. Gunung Kidul, DI.Yogyakarta Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan 4 jerigen dengan volume masing-masing 30 liter pada saluran outlet limbah cair penyulingan minyak kayu putih, kemudian sampel diuji laboratorium kadar BOD, COD dan Minyak Lemak Total. Untuk parameter pH dan suhu dilakukan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat pH meter dan termometer.

Terdapat 3 perlakuan dalam penelitian ini dengan pembagian pada bak 1 berisi 1,5 kg tanaman eceng gondok sedangkan bak 2 berisi eceng gondok seberat 1 kg, bak 3 berisi eceng gondok dengan berat 0,5 kg dan bak kontrol terpisah berisi limbah cair penyulingan minyak kayu putih tanpa

perlakuan. Penentuan variasi massa tanaman dan bak kontrol dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai konsentrasi sesuai parameter limbah cair penyulingan minyak kayu putih terhadap masing-masing bak.

Tabel 1 Data Hasil Uji Laboratorium Kadar Awal dan Karakter Awal Limbah Hasil Penyulingan Minyak Kayu Putih

No	Parameter	Karakter Air Limbah	Kondisi Awal
1	COD	1357 mg/L	1120 mg/L
2	BOD	380 mg/L	265 mg/L
3	Minyak dan Lemak Total	60 mg/L	60 mg/L
4	pH	3,7	5,3

Dalam penelitian ini pengenceran dilakukan agar tanaman tetap hidup selama proses penelitian berlangsung. Pengenceran dilakukan dengan mencampur 50% limbah cair penyulingan minyak kayu putih dan 50% air bersih. Adapun karakter awal dan kadar awal hasil uji laboratorium pada tabel di atas.

Proses Penelitian

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses penelitian, yaitu sebagai berikut :

- a. Aklimatisasi tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), merupakan upaya penyesuaian fisiologis tumbuhan Eceng Gondok terhadap perubahan beberapa faktor lingkungan. Tujuan pemeliharaan tanaman eceng gondok pada proses aklimatisasi yaitu untuk menstabilkan dan menyesuaikan keadaan lingkungan baru untuk memulai proses fitoremediasi. Tumbuhan Eceng Gondok yang didapat kemudian dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel untuk selanjutnya diaklimatisasi sebelum penelitian. Aklimatisasi Eceng Gondok dilakukan dengan menumbuhkan tanaman dalam bak terkontrol berisikan air bersih yang di campur secara bertahap dengan air uji sampel selama 7 hari sebelum dipindahkan ke bak uji sesungguhnya. Setelah 7 hari aklimatisasi maka dilakukan penyortiran. Tanaman Eceng Gondok yang sudah di aklimatisasi ditimbang dengan berat 100 gram dan dipilih dengan kriteria tanaman berdaun segar berwarna hijau, sedangkan tinggi, akar, dan jumlah daun masing-masing individu di anggap homogen.
- b. Penelitian ini dilakuan selama 8 hari dengan jarak waktu hari ke 2, hari ke 4, hari ke 6 dan hari ke 8.
- c. Mengamati perubahan-perubahan yang terjadi pada seluruh bagian tanaman eceng gondok,
- d. Mengamati dan mengukur perubahan paramater fisik air, yaitu pada warna, suhu dan pH air limbah sesuai waktu yang di tentukan.
- e. Pengambilan sampel untuk 1 kali uji untuk 3 parameter tiap bak sebesar 330 ml.
- f. Menguji kadar karakteristik air limbah cair penyulingan minyak kayu putih secara duplo (1 kali pengulangan) dengan parameter yang diuji.
- g. Mengukur penurunan kandungan BOD, COD, Minyak & Lemak Total, besarnya penyerapan oleh tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan periode waktu ke 2, 4, 6 dan 8 hari.

Analisis Data

Analisis hasil uji dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan metode yang sama serta dengan membandingkan kadar BOD, COD, Minyak & Lemak Total dan pH dalam air limbah sebelum dan sesudah dilakukannya *Treatment* dengan periode pengujian sampel 2 hari sekali selama waktu kontak 8 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Awal Limbah Cair Penyulingan Minyak Kayu Putih

Penentuan karakter awal dari parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), Minyak dan Lemak Total pada penelitian ini dilakukan 1 hari setelah pengambilan sampel di industri minyak kayu putih Sendang Mole. Penentuan karakter awal diperlukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap penurunan kandungan bahan organik dalam air limbah penyulingan minyak kayu putih seperti BOD, COD, Minyak Lemak Total dibandingkan dengan kadar akhir setelah proses fitoremediasi. Penentuan nilai awal pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap perubahan nilai pH air limbah. Karakter awal air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

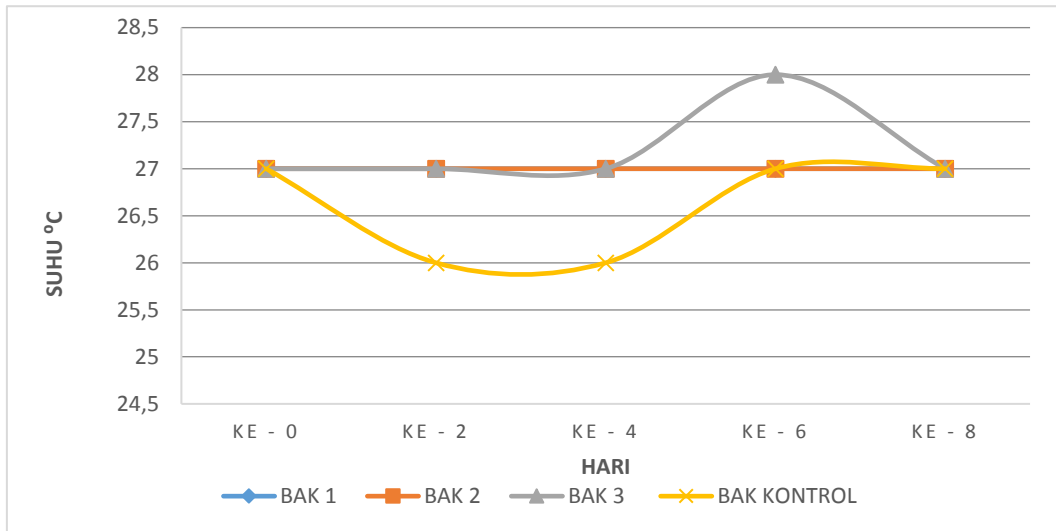
Tabel 2 Karakter Air Limbah Hasil Penyulingan Minyak Kayu Putih

No	Parameter	Karakter Air Limbah
1	COD	1357 mg/L
2	BOD	380 mg/L
3	Minyak dan Lemak Total	60 mg/L
4	pH	3,7

Perubahan Kondisi Fisik Air Limbah Setelah Proses Fitoremediasi oleh Tumbuhan Eceng Gondok

Suhu

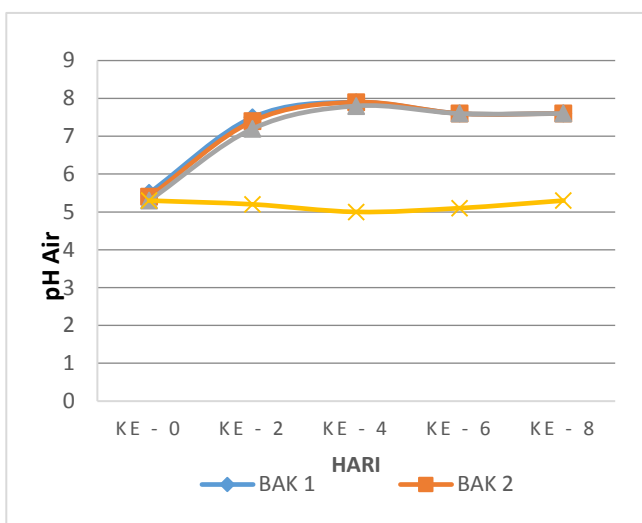
Menurut Madkar dan Kurniadie (2003) selain dipengaruhi oleh pH, pertumbuhan tanaman eceng gondok juga dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu rata-rata sebesar 26°C - 28 °C (dapat dilihat pada gambar 4.3). Hal ini sesuai dengan Gopal dan Sharma dalam Iman (2002) bahwa suhu optimum pertumbuhan tanaman eceng gondok adalah 25-30°C. Pertumbuhannya akan terganggu bila suhu perairan di bawah 10 °C atau di atas 40 °C dan akan mati bila suhu perairan 45 °C.



Gambar 2 Suhu Selama Proses Penelitian

pH

Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses fitoremediasi oleh tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap perubahan nilai pH air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih. Pengujian yang dilakukan menggunakan pH universal. Data perubahan pH air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih :



Gambar 3 Hasil Uji pH Air Limbah Hasil Penyulingan Minyak Kayu Putih

Nilai pH pada hari ke-0 pada bak 1 (1,5 kg), bak 2 (1 kg), bak 3 (0,5 kg) dan bak kontrol (tanpa eceng gondok) menunjukkan nilai sebesar 5,5; 5,4; 5,3; dan 5,3 secara berurutan. Perubahan nilai pH dari hari ke-0 hingga hari ke-8 menunjukkan perubahan nilai pH yang sama pada setiap variasi massa tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pada bak 1, 2 dan 3. Perubahan nilai pH yang dihasilkan pada bak 1, 2 dan 3 mengalami peningkatan ke arah nilai pH netral, yaitu 7,6. Sedangkan pada bak kontrol, nilai pH tidak mengalami perubahan ke arah nilai netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses fitoremediasi oleh tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat memberikan peningkatan nilai pH ke arah netral jika dibandingkan dengan bak kontrol yang tidak diberikan perlakuan tumbuhan eceng gondok. Berdasarkan Baku Mutu untuk Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih

yang ditentukan oleh Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih batas nilai pH yang di sarankan sebesar 6 sampai dengan 9.

Perubahan nilai pH disebabkan karena adanya proses fotosintesis oleh tumbuhan. Pada proses fotosintesis, oksigen terlarut pada media tanam akan ditransfer ke akar tumbuhan. Hal ini menyebabkan tingginya CO₂, sehingga CO₂ yang dikeluarkan tumbuhan pada proses fotosintesis. Meningkatnya konsentrasi CO₂ menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah kanan yang berarti terjadi pengurangan ion H⁺ sehingga terjadi peningkatan nilai pH (Dinda WS, 2013).

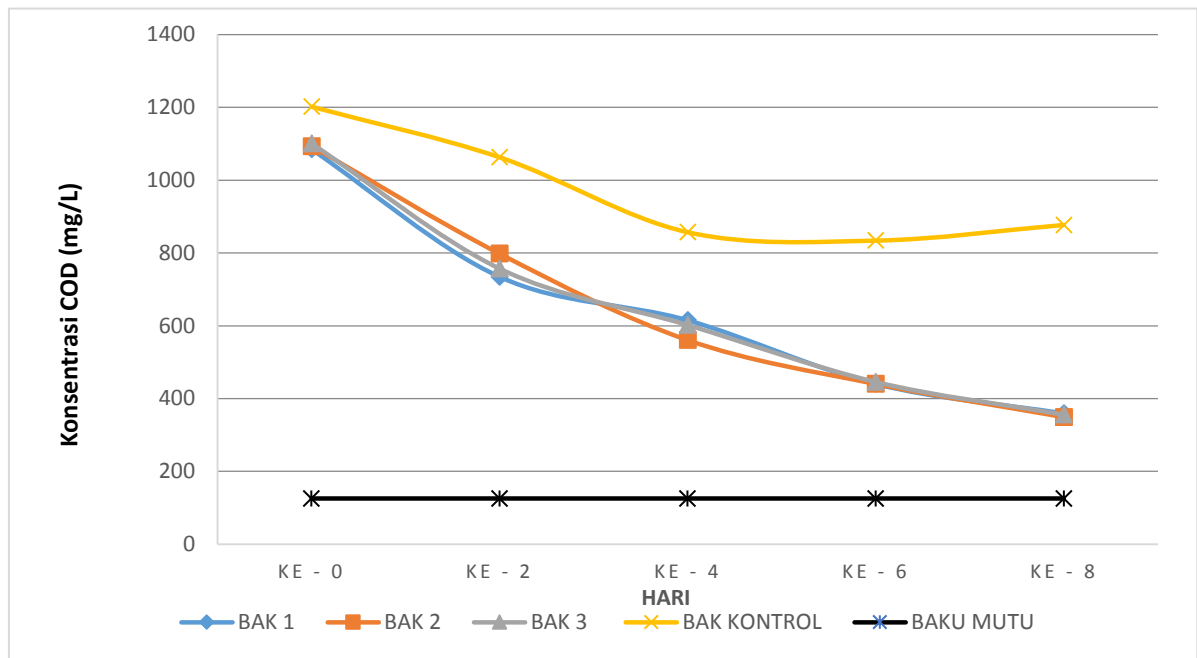
Perubahan Kondisi Kimia Air Limbah Setelah Proses Fitoremediasi oleh Tumbuhan Eceng Gondok

COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengujian kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam penelitian ini dilakukan selama 8 hari. Bak *Aquatic plant treatment* dibuat menjadi 3 sekat berukuran sama dengan sistem *continues upflow* dan *downflow*. Terdapat 3 perlakuan dalam penelitian ini dengan pembagian pada bak 1 berisi 1,5 kg tanaman eceng gondok sedangkan bak 2 berisi eceng gondok seberat 1 kg, bak 3 berisi eceng gondok dengan berat 0,5 kg dan bak kontrol terpisah tanpa

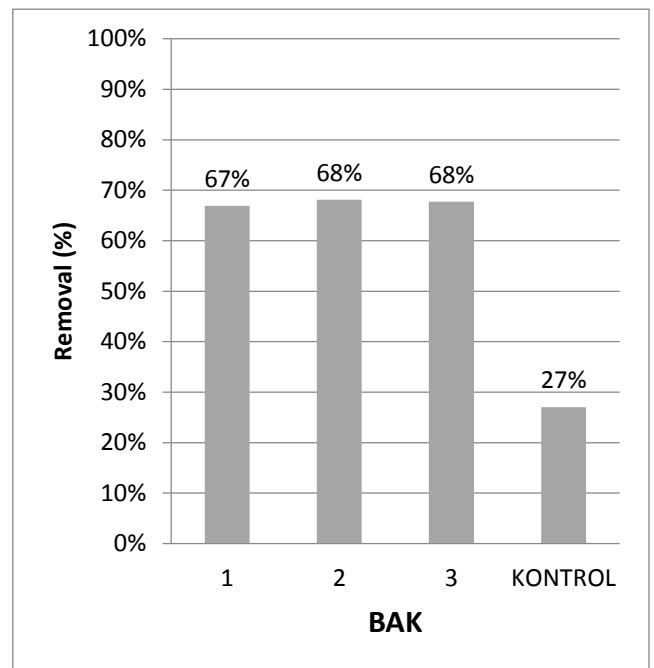
perlakuan. Masing-masing perlakuan diuji setiap 2 hari sekeali. Data penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dengan proses fitoremediasi oleh tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dilihat pada gambar .

Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan adanya penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang terdapat pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dengan proses fitoremediasi oleh tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Konsentrasi COD hari ke-0 pada bak 1, 2, 3 dan bak kontrol sebesar 1085 mg/L, 1093,5 mg/L, 1101 mg/L dan 1202 mg/L secara berurutan. Konsentrasi COD pada bak 1, 2 dan 3 menunjukkan penurunan setelah diberikan perlakuan dengan tumbuhan eceng gondok selama 8 hari. Hasil penurunan ini ditunjukkan dalam persentase removal yang didapatkan. Persentase removal pada bak 1 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 1,5 kg adalah 67%, konsentrasi COD semakin menurun setiap 2 hari hingga pada hari ke-8,



Gambar 4 Hasil Penurunan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) selama Waktu Penelitian

konsentrasi COD menjadi 359 mg/L. Dan pada bak 2 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 1 kg menghasilkan persentase removal 68%, konsentrasi COD semakin menurun hingga pada hari ke-8 dihasilkan konsentrasi sebesar 349 mg/L. Sedangkan pada bak 3 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 0,5 kg menghasilkan persentase removal dengan nilai sama dengan bak 2 yaitu sebesar 68%. Konsentrasi COD pada bak 3 semakin menurun menjadi 355,5 mg/L pada hari ke-8. Dan pada bak kontrol, yaitu bak yang tidak diberi perlakuan menghasilkan presentasi removal hanya sebesar 27%. Konsentrasi COD menurun hingga 877 mg/L pada hari ke-8.



Gambar 4 Persentase Removal (%) Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Berdasarkan data persentase removal yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar massa dari eceng gondok tidak

berpengaruh secara signifikan pada penurunan kadar COD pada air limbah penyulingan minyak kayu putih. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa air limbah yang diberi tumbuhan eceng gondok terbukti berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan (tidak diberi tumbuhan eceng gondok). Namun, penurunan konsentrasi COD yang dihasilkan masih belum memenuhi Baku Mutu Parameter COD untuk Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih yang ditentukan oleh Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih.

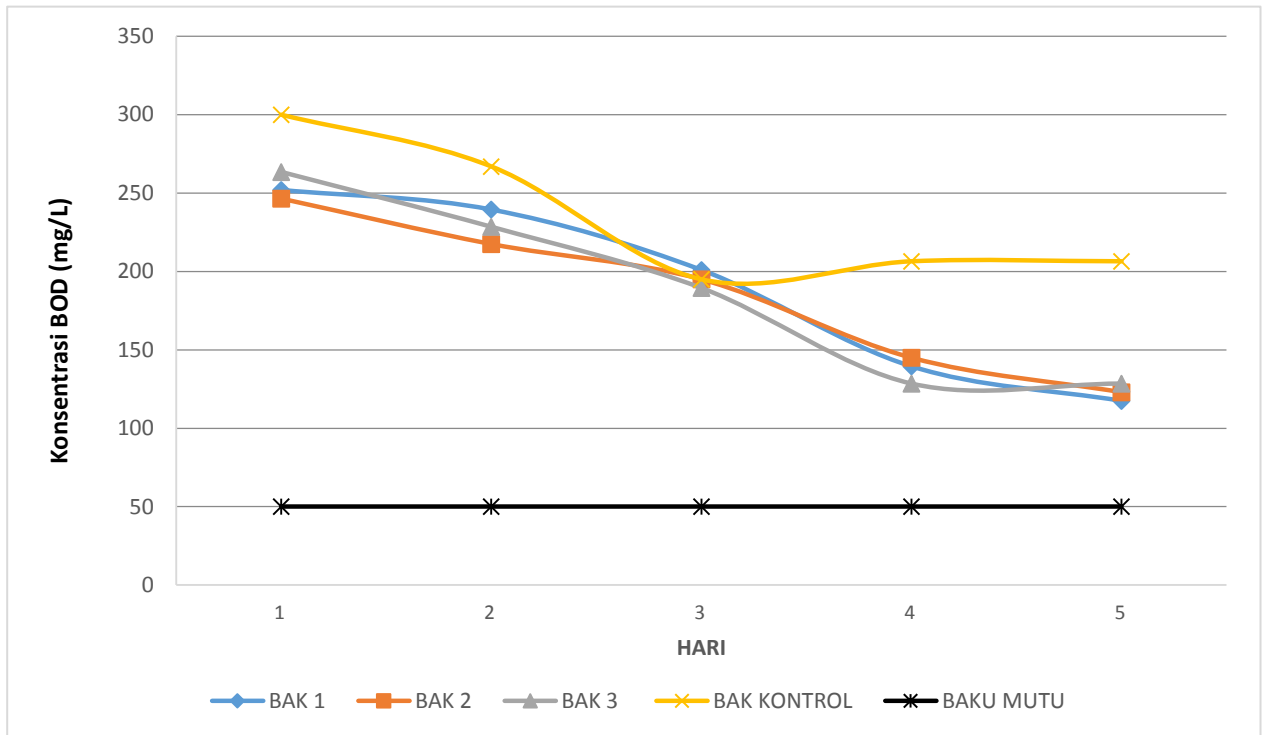
Penurunan konsentrasi COD dapat dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu terdapatnya kandungan organik yang tinggi dapat bertindak sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan mikroba. Dengan pasokan makanan yang berlimpah, mikroorganisme akan berkembang biak dengan cepat dan mereduksi oksigen terlarut dalam air yang menyebabkan pengurangan jumlah oksigen terlarut (Effendi, H. 2003). Hal ini juga dipengaruhi oleh kurangnya waktu kontak eceng gondok dengan air limbah. Berdasarkan Sitorus (1989), semakin lama waktu kontak eceng gondok pada air limbah, maka dalam batas-batas tertentu akan semakin banyak jumlah bahan-bahan organik dalam

bentuk ion yang diserap sehingga berpengaruh pada tingkat penurunan konsentrasi COD.

Biological Oxygen Demand (BOD)

Pengujian kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dalam penelitian ini dilakukan selama 8 hari. Bak *Aquatic plant treatment* dibuat menjadi 3 sekat berukuran sama dengan sistem *continues upflow* dan *downflow*. Terdapat 3 perlakuan dalam penelitian ini dengan pembagian pada bak 1 berisi 1,5 kg tanaman eceng gondok sedangkan bak 2 berisi eceng gondok seberat 1 kg, bak 3 berisi eceng gondok dengan berat 0,5 kg dan bak kontrol terpisah tanpa perlakuan. Masing-masing perlakuan diuji setiap 2 hari sekali. Data penurunan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dengan proses fitoremediasi oleh tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat dilihat pada gambar :

Selama waktu kontak 8 hari, konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD) (mg/L) di dalam air limbah penyulingan kayu putih mengalami penurunan. Ketiga variasi massa tumbuhan menunjukkan penurunan yang tidak signifikan pada hari ke-0 hingga hari ke-8. Selama waktu kontak 8 hari, konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD) (mg/L) di dalam air limbah penyulingan kayu putih

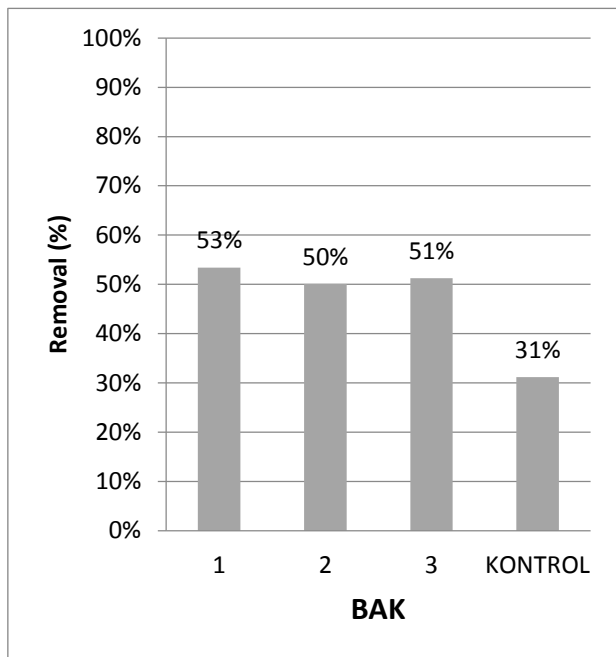


Gambar 6 Hasil Penurunan Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) selama Waktu Penelitian

mengalami penurunan. Ketiga variasi massa tumbuhan menunjukkan penurunan yang tidak signifikan pada hari ke-0 hingga hari ke-8.

Pada bak 1 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 1,5 kg, terjadi penurunan konsentrasi BOD dari 252 mg/L menjadi 117,5 mg/L dengan persentase removal sebesar 53%. Dan pada bak 2 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 1 kg, terjadi penurunan konsentrasi BOD dari 246,5 mg/L menjadi 123 mg/L dengan persentase removal sebesar 50%. Sedangkan pada bak 3, dengan massa tumbuhan eceng gondok terkecil yaitu 0,5 kg, terjadi penurunan konsentrasi BOD dari 263,5

mg/L menjadi 128,5 mg/L dengan persentase removal sebesar 51%. Berdasarkan ketiga bak tersebut, dapat dilihat bahwa masing-masing bak menghasilkan persentase removal yang tidak berbanding jauh nilainya. Berdasarkan gambar 4.7 tampak bahwa air limbah dengan perlakuan eceng gondok, mengalami penurunan konsentrasi BOD dibandingkan dengan bak kontrol. Pada bak kontrol, yaitu bak yang tidak diberi perlakuan eceng gondok hanya mampu menurunkan konsentrasi BOD dari konsentrasi awal sebesar 300 mg/L menjadi 206,5 mg/L dengan persentase removal sebesar 31%. Sedangkan bak dengan perlakuan eceng gondok dapat menghasilkan persentase removal terbesar yaitu 53% pada



Gambar 5 Persentase Removal (%) Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD)

bak 1 dengan massa tumbuhan eceng gondok 1,5 kg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya perlakuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), konsentrasi BOD pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dapat menurun.

Penurunan konsentrasi BOD pada air limbah penyulingan minyak kayu putih yang dihasilkan belum berhasil menurunkan kadar BOD sampai dengan konsentrasi maksimum yang telah ditetapkan Baku Mutu Parameter COD untuk Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih yang ditentukan oleh Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih. Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih menetapkan konsentrasi BOD terbanyak

yang diperbolehkan yaitu sebesar 50 mg/L. Sedangkan, pada penelitian ini dengan waktu kontak selama 8 hari hanya dapat menurunkan konsentrasi BOD sebesar 117,5 mg/L pada bak 1 dengan massa tumbuhan eceng gondok sebesar 1,5 kg.

Hal ini dapat terjadi karena kurangnya kadar oksigen terlarut di dalam air disebabkan oleh kadar minyak yang berada di permukaan air sehingga dapat menghambat oksigen di udara bebas untuk masuk ke dalam air. Hal ini juga dapat dipengaruhi dengan tingginya kandungan organik yang terdapat pada limbah cair penyulingan minyak kayu putih. Hal tersebut dapat terjadi bila bakteri pada bak *Aquatic* mengalami kematian, sehingga proses dekomposisi tidak berjalan dengan maksimal. Selain itu, kurangnya pasokan oksigen juga dapat mempengaruhi tingginya kandungan BOD dalam air. Karena dalam proses dekomposisi secara aerob memerlukan pasokan oksigen secara terus-menerus. Sehingga bila pasokan oksigen kurang, maka proses dekomposisi secara aerob berjalan kurang maksimal.

Pengaruh Proses Fitoremediasi Tumbuhan Eceng Gondok terhadap Kadar Minyak dan Lemak Total

Minyak dan lemak adalah salah satu kelompok golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat di alam serta tidak larut dalam air (Herlina, 2002). Minyak dan lemak

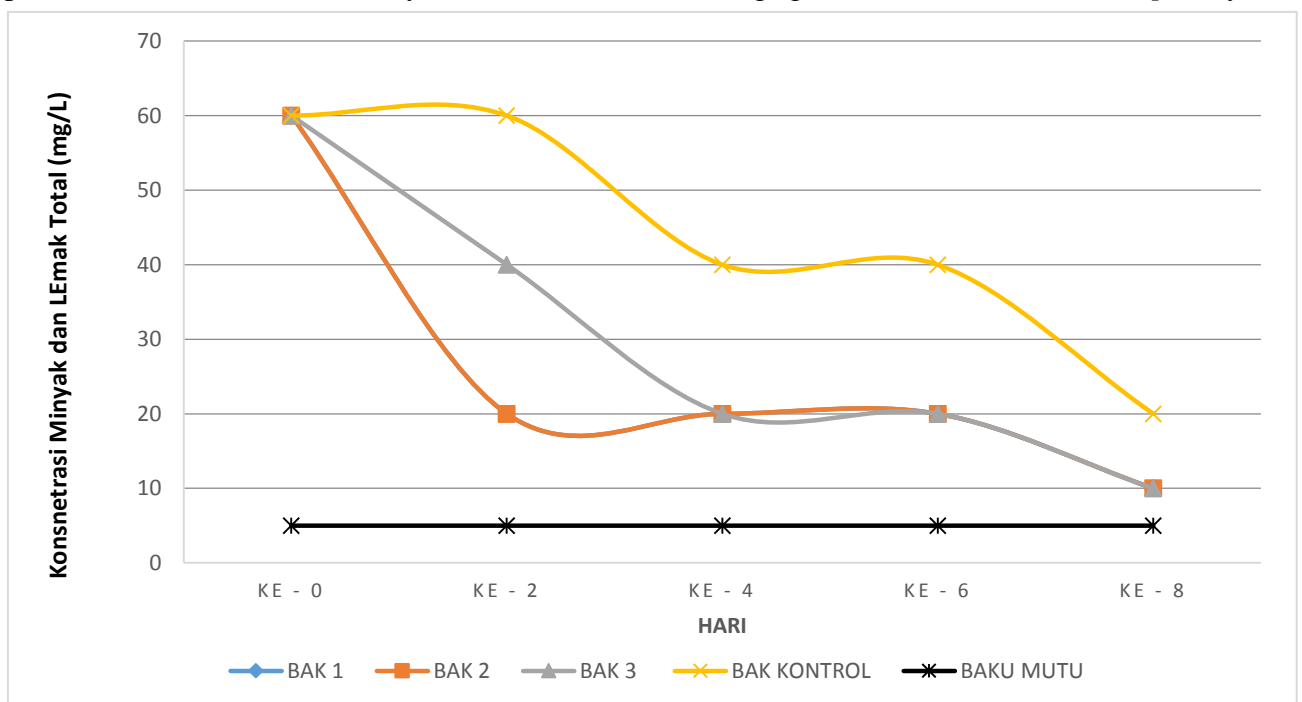
merupakan bahan pencemar yang banyak ditemukan di berbagai perairan, salah satu pencemarnya adalah dari agroindustri. Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Kondisi ini dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Minyak yang menutupi permukaan air juga akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu ketidakseimbangan rantai makanan (Andreozzi dkk, 2000).

Tingginya kandungan minyak dan lemak dalam air dapat merusak ekosistem perairan. Oleh karena itu, minyak dan lemak

Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri kadar paling banyak dari minyak dan lemak total adalah sebesar 5 mg/L.

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap kemampuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dengan proses fitoremediasi oleh tanaman eceng gondok. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel gambar di bawah ini.

Hasil pengujian minyak dan lemak total pada masing-masing variasi tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yaitu



Gambar 7 Hasil Penurunan Kadar Minyak dan Lemak Total selama Waktu penelitian

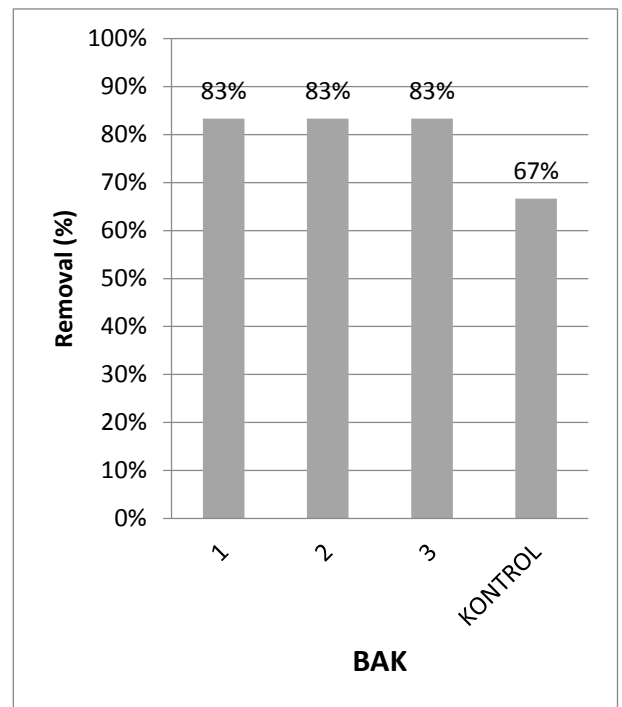
dari limbah cair harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan. Berdasarkan

bak 1 dengan massa 1,5 kg, bak 2 dengan massa 1 kg dan bak 3 dengan massa 0,5 kg

tidak menunjukkan perbedaan persentase removal. Pada bak 1 dengan massa tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebesar 1,5 kg menghasilkan persentase removal sebesar 75%, dengan konsentrasi awal 60 mg/L dan mengalami penurunan menjadi 10 mg/L selama 8 hari. Pada bak 2 dengan massa tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebesar 1 kg menghasilkan persentase removal lebih besar dibandingkan bak 1, yaitu sebesar 83%. Dengan konsentrasi awal 60 mg/L mengalami penurunan menjadi 10 mg/L selama 8 hari. Dan pada bak 3 dengan massa tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebesar 0,5 kg menghasilkan persentase removal sebesar 83% dengan konsentrasi awal 60 mg/L dan mengalami penurunan menjadi 10 mg/L selama 8 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyaknya jumlah dari tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) tidak berpengaruh terhadap besarnya penurunan konsentrasi minyak dan lemak total pada limbah air hasil penyulingan kayu putih.

Berdasarkan hasil persentase removal yang dihasilkan bak 1, 2 dan 3 yang diberi perlakuan dengan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menghasilkan persentase removal penurunan konsentrasi minyak dan lemak total lebih besar dibandingkan dengan bak kontrol, yaitu bak yang tidak diberi perlakuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Bak kontrol

hanya menghasilkan persentase removal sebesar 67% dengan konsentrasi awal 60mg/L dan mengalami penurunan menjadi 20 mg/L. Dari data yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat menurunkan konsentrasi



Gambar 7 Persentase Removal (%) Minyak dan Lemak Total

minyak dan lemak pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih. Penurunan minyak dan lemak ini terjadi karena adanya mekanisme *phytoaccumulation* yang dilanjutkan dengan *rhizodegradation* yang akan menurunkan kandungan minyak dan lemak total dalam kandungan air limbah. Menurut Smith (2005), *phytoaccumulation* adalah proses dimana tumbuhan akan menarik zat kontaminan dari media sehingga

terakumulasi di sekitar akar tumbuhan, sedangkan *rhizodegradation* adalah penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan, sehingga minyak dan lemak yang terkumpul di sekitar akar tumbuhan akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di sekitar akar tumbuhan tersebut.

Penurunan konsentrasi minyak dan lemak total pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih dari bak 1,2 dan 3 yang diberi perlakuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) belum dapat menghasilkan konsentrasi minyak dan lemak total Berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri kadar paling banyak dari minyak dan lemak total yaitu sebesar 5 mg/L. Konsentrasi terkecil yang didapatkan yaitu sebesar 10 mg/L pada bak 1, bak 2 dan bak 3. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya kontak tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan air limbah sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi minyak dan lemak total pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih kurang maksimal. Untuk itu diperlukan waktu kontak yang lebih lama untuk dapat menurunkan konsentrasi minyak dan lemak total hingga konsentrasi Berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan

Industri kadar paling banyak dari minyak dan lemak total yaitu sebesar 5 mg/L.

Kondisi Tanaman Eceng Gondok

Pada hari ke-0 sebelum proses fitoremediasi dimulai, tumbuhan eceng gondok yang ditanam masih dalam kondisi segar dengan jumlah daun berwarna hijau berjumlah 58 lembar daun. Hal ini terjadi karena tanaman eceng gondok baru dipindahkan dari bak aklimatisasi sehingga proses penyerapan kandungan organik oleh tumbuhan eceng gondok belum komponen limbah pada air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih. Pada hari ke-2, tumbuhan eceng gondok masih terlihat segar dengan jumlah daun yang masih berwarna hijau sebesar 57 lembar, dan terdapat 1 lembar daun yang mati. Hal ini terjadi karena proses fitoremediasi belum sepenuhnya berjalan dan tumbuhan eceng gondok masih dalam proses penyesuaian terhadap limbah cair penyulingan minyak kayu putih walau mungkin konsentrasi dari komponen air limbah mulai mengalami penurunan dikarenakan penyerapan oleh akar tumbuhan eceng gondok.

HARI	GAMBAR	JUMLAH DAUN HIDUP (LEMBAR)	JUMLAH DAUN MATI (LEMBAR)
KE - 0		58	-
KE - 2		57	1

Gambar 8 Perubahan Kondisi Tanaman Eceng Gondok Hari Ke - 0 dan Ke - 2

KE - 4		20	38
KE - 6		2	56
KE - 8		1	57

Gambar 9 Perubahan Kondisi Tanaman Eceng Gondok Hari Ke-4, Ke-6 dan Ke

- 8

Perubahan fisik tumbuhan eceng gondok mulai terlihat pada hari ke-4. Tumbuhan eceng gondok sudah tampak tidak terlalu segar seperti pada hari sebelumnya. Pada hari ke-4 terdapat 20 lembar daun yang masih hidup dan 38 lembar daun yang telah mati. Dan pada hari ke-6 perubahan fisik tumbuhan eceng gondok mulai terlihat sangat

jelas. Pada hari ke-6 tumbuhan eceng gondok mulai terlihat layu dengan jumlah daun hidup sebanyak 2 lembar dan 56 lembar daun sisanya telah mati. Pada hari ke-8 yaitu hari terakhir masa penelitian, tumbuhan eceng gondok terlihat sangat layu dan hampir semua daunnya berwarna coklat. Hanya terdapat 1

lembar daun yang masih hidup dan hampir seluruh daun eceng gondok telah mati.

Tumbuhan eceng gondok pada penelitian ini mengalami perubahan kondisi. Tumbuhan yang awalnya memiliki daun dengan warna hijau segar, selama proses penelitian berlangsung, warna daun berubah menjadi kecokelatan hingga mati di hari ke-8. Hal ini terjadi karena adanya akumulasi dari bahan pencemar di air limbah pada tumbuhan eceng gondok. Menurut Environmental Protection Agency, 2001 mengatakan bahwa tumbuhan eceng gondok secara alami sangat efektif dalam menyerap dan mengakumulasi zat organik pada limbah dalam jaringan tumbuhan. Akar tumbuhan eceng gondok memiliki kemampuan untuk menyerap zat organik di dalam air dan kemudian menuju batang dan terakumulasi di bagian daun (Priyanto, 2005). Proses penyerapan pencemar limbah oleh akar hingga terjadinya akumulasi dalam jaringan tanaman menyebabkan perubahan kondisi tumbuhan eceng gondok. Hal ini ditandai dengan bertambahnya jumlah lembar daun yang mati dari hari ke-0 hingga hari ke-8. Hingga pada hari-8 hanya tersisa 1 lembar daun yang hidup.

Selain hal diatas, konsentrasi kandungan bahan pencemar seperti BOD, COD dan TSS di dalam air limbah serta rendahnya oksigen terlarut dan pH di perairan dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan

menimbulkan kematian pada tanaman eceng gondok. Hal ini sesuai dengan pendapat Marianto (2001) yang mengatakan bahwa kualitas air yang buruk bisa menyebabkan busuk atau layu pada tangkai, akar maupun daun yang berujung pada matinya tanaman eceng gondok pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Hasil uji laboratorium terhadap komponen zat pencemar air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan konsentrasi awal COD sebesar 1357 mg/L, konsentrasi awal BOD sebesar 380 mg/L, konsentrasi awal Minyak & Lemak Total sebesar 60 mg/L dan dengan nilai pH awal 3,7. Hasil pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang dilakukan terhadap tiga variasi massa tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (1,5 kg, 1 kg dan 0,5 kg) menghasilkan persentase removal yang masing-masing massa sebesar 67%, 68% dan 68% secara berurutan. Dan hasil pengujian *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang dilakukan terhadap tiga variasi massa tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (1,5 kg, 1 kg dan 0,5 kg) menghasilkan persentase removal yang masing-masing massa sebesar 53%, 50% dan 51% secara berurutan. Selanjutnya, hasil pengujian Minyak dan Lemak Total yang dilakukan terhadap tiga variasi massa

tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (1,5 kg, 1 kg dan 0,5 kg) menghasilkan persentase removal yang masing-masing massa sebesar 83%, 83% dan 83% secara berurutan. Dibandingkan dengan kelompok kontrol, persentase removal yang dihasilkan pada kelompok perlakuan pada parameter COB, BOD dan Minyak dan Lemak Total menghasilkan persentase removal lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) efektif dalam menurunkan konsentrasi COD, BOD dan Minyak dan Lemak Total dalam air limbah hasil penyulingan kayu putih. Pengukuran kadar pH selama 8 hari dalam rentang waktu 2 hari sekali selama proses penelitian membuat perubahan nilai pH pada bak 1, 2 dan 3. Nilai pH mengalami peningkatan ke arah nilai pH netral. pH awal yang diuji yaitu rata-rata sebesar 5,5 sampai 5,3 dan mengalami peningkatannya menjadi 7,6.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian yang sama dengan waktu penelitian yang lebih lama untuk melihat pengaruh kerapatan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap penurunan komponen air limbah hasil penyulingan minyak kayu putih.
2. Pada penelitian selanjutnya diperlukan pengujian pada parameter air limbah

lainnya yaitu TDS, TSS dan Kesadahan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan parameter air limbah tersebut, karena air baku yang digunakan dalam proses penyulingan di industri berasal dari air tanah daerah *Karst* (kapur) yang kemungkinan kadar kesadahnya tinggi.

3. Perlu dilakukan variasi persentase konsentrasi air limbah untuk penelitian selanjutnya agar dapat diketahui batas kemampuan hidup tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap tinggi rendahnya konsentrasi air limbah.
4. Pada penelitian selanjutnya, dapat meneliti kemampuan tumbuhan lain dalam menurunkan komponen organik maupun anorganik air limbah selama proses fitoremediasi untuk memperluas variabel penelitian.
5. Perlu dilakukan penelitian kelanjutan tentang pengolahan kadar minyak dan lemak total dalam limbah cair penyulingan minyak kayu putih secara khusus.
6. Melakukan riset tentang pemanfaatan ulang limbah cair penyulingan minyak kayu putih, karena limbah cair ini kemungkinan masih bisa di manfaatkan kembali dan kemudian diolah residu yang tidak berguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreozzi, R., dkk. 2000. Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Mineral Oil-Contaminated Wastewater. **Water Resource**, Vol. 34(2), 620-628.
- Ardiwinata. R.O., 1985, *Musuh Dalam Selimut di Rawa Pening*, Kementrian Pertanian, Vorking, Bandung.
- Environmental Protection Agency. 2001. **A Citizen's Guide to Phytoremediation**. Available at <http://www.waterontheweb.org/under/waterquality/pH.html> on 31 Januari 2018
- EPA. 2000. **Introduction to Phytoremediation National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development**. U.S. Environment Protection Agency, Ohio.
- Erwin, KW. 2016. **Pemanfaatan Kiapu (*Pistia stratiotes*) sebagai Tanaman Fitoremediasi dalam Proses Pengolahan Limbah Tambah Udang *Vannamei*** [Skripsi]. Tidak Dipublikasi. Universitas Islam Indonesia.
- Fardiaz, S. 2000. **Polusi Air dan Udara**. Penerbit Kanisius Anggota IKAPI, Yogyakarta.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L Mitchell. 1991. **Fisiologi Tanaman Budidaya**. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Guenther, E. 1987. **Minyak Atsiri**. Jilid I. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Hastic, AB. 1992. **The Use of Aquatic Plants in Wastewater Treatment : A Literature Review**. The University of Texas at Austin.
- Huda, T. 2009. **Hubungan Antara Total Suspended Solid dengan Turbidity dan Dissolved Oxygen**. Online <http://thorik.staff.uii.ac.id/2009/08/23/hubungan-antara-total-suspended-solid-dengan-turbidity-dan-dissolved-oxygen/> diakses pada 28 Februari 2017
- Imam, FR. 2002. Penutupan Eceng Gendok (*Eichornia crassipes*) dalam Bak Semen. **Jurnal Central Kalimantan Fisheries**. Vol 3(2) : 59-64.
- Kanabkaew, T. And Puetpaiboon,u. 2004. Aquatic Plants For Domestic Wastewater Treatment : Lotus (*Nelumbo Nucifera*) and Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*) System. **Songklanakar J. Sci. Tecnol**, 26(5) : 749-756
- Kristanto, P. 2002. **Ekologi Industri**. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Lutony TL, Rahmayati Y. 1999. **Produksi dan Perdagangan Minyak Atsiri**. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Madkar, O.R dan D. Kurniadie. 2003. Identifikasi dan Pertumbuhan berbagai Gulma Air sebagai Bahan Biofilter Penyaring Air Limbah. **Jurnal Bionatura**. Vol 5(2): 79-87.
- Mariato, A.D. 2001. **Tanaman Air**. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Mariato, L, A., 2001. Merawat dan Menata Tanaman Air. Agro Media Pustaka, Jakarta.
- Megawati, T. 2012. **Dampak Aktivitas Industri Pengolahan Kayu Putih Terhadap Lingkungan di Desa Jatimunggul Kecamatan Terisi Kabupaten Indramayu**. Universitas Pendidikan Indonesia, Jakarta.
- Monahan S.E. 1993. *Fundamentals of Environmental Chemistry*, Lewis Publishers. London. Hal 41
- Naibaho, PM. 1998. **Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit**. Pusat Penelitian Kelapa Sawit : Medan.
- Nugroho, A. 2006. **Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi "Makara Teknologi**. Graha Ilmu : Jakarta.
- Ogejo, JA, Whn Z, Ignosh J, Bendfeldt E, Collins E. 2009. Biomethane Technology. **Virginia Cooperative Extension Publication**. 1-5.
- Pandey. B.P., 1980. **Plant Anatomy**. S Chard dan Co, Ltdrammnage, New Delhi.
- Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Industri Minyak Kayu Putih.
- Priyanto, B., dan Prayitno, J. 2005. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya

- Logam Berat. Available at <http://www.itl.bppt.com/sublab/lfloral.htm> on 30 Januari 2018.
- Rahman, MA., H. Hasegawa. 2011. Aquatic Arsenic : Phytoremediation Using Floating Macophytes. **Chemosphere**. 83:633-646.
- Retno, TD dan Nuri W. 2011. **Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang**. Jurusan Teknik Kimia UPN Veteran, Yogyakarta.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. 2004. **Kimia Minyak Atsiri**. Gadjah Mada Press, Yogyakarta.
- Setiari, DW dan Sarwoko M, 2013, Penurunan BOD dan COD pada Air Limbah Katering Menggunakan Konstruksi *Subsurface-Flow Wetland* dan Biofilter dengan Tumbuhan Kana (*Canna indica*), **Jurnal Sains dan Seni Pomits**, Vol 2(1), hlm. 2337-3520.
- Sitorus H. 1989. Studi **Penggunaan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solm) dalam Menurunkan Kadar Fenolik pada Limbah Industri Farmasi**. [Tesis]. Fakultas Pascasarjana-Institut Pertanian Bogor.
- Situmorang, M. 2007. **Kimia Lingkungan**. Cetakan I. FMIPA UNIMED, Medan. Hal. 45,115.
- Situmorang, M. 2007. **Kimia Lingkungan**. FMIPA-UNIMED. Medan.
- Sri S. 2013. **Pengukuran Beban Pencemaran Maksimum Limbah Cair pada Stasiun Penyulingan Minyak Kayu Putih di Sendang Mole Playen Gunung Kidul Yogyakarta**. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Subroto, MA. 1996. **Fitoremediasi**. Dalam: Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan, Cibinong.
- Sugiharto. 2008. **Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah**. Universitas Indonesia Press : Jakarta.
- Tan, SN, et al. 2014. Developing Suitable Phytofiltration Systems for Water Cleansing in the Tropics Using Suitable Species Including Plant Hyperaccumulators. **Singapore University of Technology and Design**.
- Tchobanoglous, G, Burton FL, Stensel HD. 1991. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. **The McGraw-Hill Companies, Inc. United States**. 1-222.
- Widyanto, L.S. dan H. Susilo. 1977. **Pencemaran Air oleh Logam Berat dan Hubungannya Dengan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)**. BIOTROP. Bogor, Indonesia.
- Yuliana, Meta, dkk. 2013. Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi *Orthophospat* pada Detergen dengan menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). **Jurnal Program Studi Manajemen Sumber Daya Air, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Univeristas Maritim Raja Ali Haji**.