

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT
DENGAN *Typha angustifolia* DALAM SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
SEBAGAI SUMBER BELAJAR KONSEP PENCEMARAN LINGKUNGAN
BAGI SISWA SMA KELAS X**

Leni Fitria¹, Dr. Suwondo², Ir. Zulfarina²

¹Mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi (fitri_moeslimah@yahoo.com)

²Dosen Prodi Pendidikan Biologi

Program Studi Pendidikan Biologi

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Riau

ABSTRACT

*Research on phytoremediation of palm oil wastewater by *Typha angustifolia* within constructed wetland (CTW) as learning source for high school was conducted. The aim of this research is to observe potency of *T. angustifolia* within constructed wetland in improve palm oil wastewater quality. Free Water Surface of CTW was use in this research, compiled into one set that consist of 4 basin. Palm oil waste water was discharged into basin with *Typha angustifolia* plant respectively form: (A) Palm oil wastewater pass basin 1st, (B) Palm oil wastewater pass basin 2nd, (C) Palm oil wastewater pass basin 3rd, (D) Palm oil wastewater pass basin 4th. Parameter to be measured are BOD, COD, TSS, oil, and pH, analyzed at 1st, 4th, 8th, and 12th week after discharged. Data were analyzed by description analysis. The experiment results showed that BOD value was decrease attain 95.21%, COD value was decrease attain 91.36%, TSS value was decrease attain 99.07%, oil/grease value was decrease attain 94.09%, while pH value still within the range of quality standard. *T. angustifolia* could be used for palm oil wastewater treatment by phytoremediation. The results of this research could be used as alternative learning source in the form of Student Assignment Sheet on environmental pollution concept for grade X high school student.*

*Keyword: palm oil wastewater, phytoremediation, *Typha angustifolia*, pollution, learning source*

Pendahuluan

Limbah yang dihasilkan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) termasuk kategori limbah berat dengan kuantitas yang tinggi dan kandungan kontaminan mencapai 8.200-35.000 mg/L untuk BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan 15.103-65.100 mg/L untuk COD (*Chemical Oxygen Demand*), 1.330-50.700 mg/L untuk TSS (*Total Suspended Solid*). Limbah cair menyumbang sekitar 50% dari keseluruhan limbah PKS per ton Tandan Buah Segar (Kep. Men LH no 51 th 1995).

Untuk menurunkan beban pencemar yang terdapat di dalam limbah, tiap PKS biasanya memiliki sistem pengolahan limbah atau IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Pengolahan limbah pada PKS meliputi beberapa tahapan fisika, kimia, dan

biologi. Meskipun sudah mengalami pengolahan, limbah yang dibuang ke sungai masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Raharjo, 2009). Hal ini terjadi karena IPAL belum berfungsi dengan baik (Azwir, 2006). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengolahan limbah yang dapat memberikan hasil yang optimal dalam mengolah dan mengendalikan limbah sehingga dampaknya terhadap lingkungan dapat dikurangi.

Teknik yang pernah diperkenalkan dalam pengolahan limbah adalah dengan penggunaan tumbuhan. Banyak penelitian yang sudah pernah dilakukan yang menunjukkan kemampuan tanaman air dalam mengurangi beban pencemar pada limbah cair. Tumbuhan *Typha (cattails)* merupakan vegetasi lahan basah yang memiliki banyak manfaat. Berdasarkan laporan kajian FAO (*Food and Agriculture Organization*, 2007) tentang sistem pengolahan limbah, bahwa *Typha angustifolia* berpotensi mengolah limbah buangan industri. *T. angustifolia* mampu mereduksi kandungan logam (Bareen & Khilji, 2008), menurunkan beban BOD, COD, dan TSS limbah cair domestik (Hidayah & Aditya, 2010).

Pemanfaatan hasil penelitian ini sebagai sumber belajar biologi dapat memberikan keleluasaan bagi guru dalam memilih sumber belajar dan siswa dapat mengembangkan kemampuan, kebutuhan dan minatnya. Penggunaan strategi pembelajaran yang tepat dituntut untuk menunjang pencapaian tujuan pembelajaran biologi. Berdasarkan hal di atas, maka dilakukan penelitian fitoremediasi limbah cair kelapa sawit dengan *T. angustifolia* untuk memperbaiki kualitas limbah cair kelapa sawit yang nantinya hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif sumber belajar.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan model *Constructed Treatment Wetland (CTW)* tipe *Free Water Surface Treatment Wetlands (FWS)*. Perangkat penelitian terdiri dari 4 bak yang dihubungkan dengan pipa dan disusun seri. Selanjutnya limbah cair PKS dialirkan pada setiap bak yang berisi tanaman *Typha angustifolia*, dengan urutan sebagai berikut: (A) Limbah cair PKS melewati bak 1, (B) Limbah cair PKS melewati bak 2 (C) Limbah cair PKS melewati bak 3 (D) Limbah cair PKS melewati bak 4. Parameter yang diukur adalah BOD, COD, TSS, minyak dan pH. Pengamatan dilakukan pada minggu pertama setelah pengaliran, ke empat, ke delapan dan minggu ke 12. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

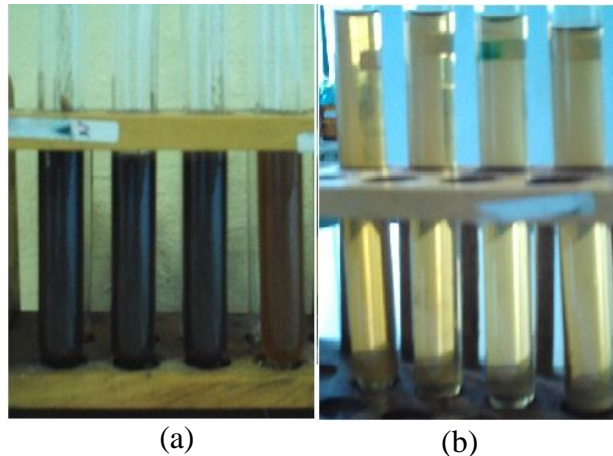
Hasil pengukuran analisis awal limbah cair PKS disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Awal Kualitas Limbah Cair PKS

Parameter Limbah	Satuan	Nilai	Baku Mutu (Kep. Men. LH no 51 th 1995)
BOD	mg/L	1900	100
COD	mg/L	2800	350
TSS	mg/L	5400	250
Minyak	mg/L	13280	25
pH	-	7,6	6-9

Berdasarkan pada Tabel 1 terlihat bahwa kadar bahan pencemar yang terdapat pada limbah cair PKS memiliki nilai yang tinggi. Parameter kualitas limbah yang diukur meliputi BOD, COD, TSS dan minyak memiliki nilai melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Untuk itu diperlukan pengolahan terlebih dahulu terhadap limbah cair PKS sebelum dibuang ke lingkungan.

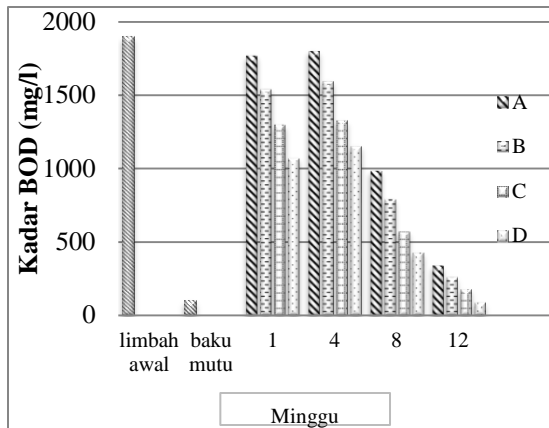
Warna limbah cair PKS sebelum dan sesudah fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 1.



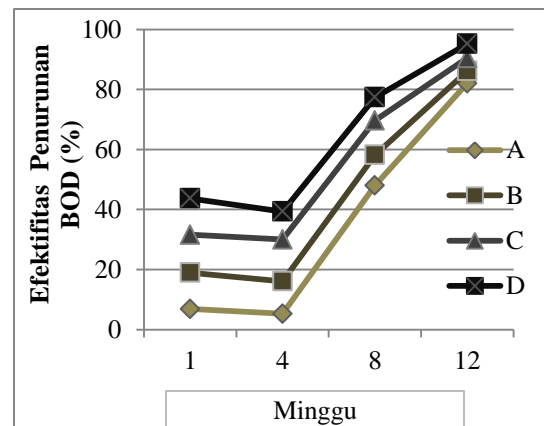
Gambar 1. Limbah Cair PKS: Sebelum fitoremediasi (a), Setelah fitoremediasi (b)

Dari gambar 1 terlihat perubahan warna yang sangat berbeda pada limbah cair PKS sebelum dan sesudah fitoremediasi. Pada gambar 4 warna limbah cair PKS sebelum fitoremediasi terlihat sangat gelap. Hal ini mengindikasikan limbah tersebut mengandung banyak partikel bahan tersuspensi sehingga menimbulkan warna gelap. Bahan-bahan yang menyebabkan warna gelap tersebut antara lain tanah, lumpur, bahan-bahan organik dan partikel-partikel kecil tersuspensi lainnya. Warna limbah cair PKS tampak lebih jernih setelah proses fitoremediasi. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengendapan, penguraian serta penyerapan bahan organik dan partikel-partikel yang menyebabkan limbah berwarna gelap.

Hasil pengukuran kadar BOD limbah cair PKS dan efektifitas penurunannya disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Kadar BOD



Gambar 3. Efektifitas Penurunan BOD

Ket : A = limbah yang melewati bak 1
 B = limbah yang melewati bak 2
 C = limbah yang melewati bak 3
 D = limbah yang melewati bak 4

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa kadar BOD limbah cair PKS mengalami penurunan akibat fitoremediasi dengan tanaman *T. angustifolia*. Penurunan kadar BOD limbah terjadi pada limbah yang melewati bak 1 (A), bak 2 (B), bak 3 (C) dan bak 4 (D). Pada minggu pertama setelah pengaliran limbah, kadar BOD limbah yang melewati bak 1 mengalami penurunan menjadi 1770 mg/L dibandingkan kadar BOD awal limbah yaitu 1900 mg/L. Sampai dengan minggu ke 12 kadar BOD limbah yang melewati bak 1 mengalami penurunan menjadi 342 mg/L. Walaupun penurunan kadar BOD limbah cair PKS yang melewati bak 1 cukup baik, namun sampai dengan minggu ke 12 kadar BOD belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Kadar BOD limbah mencapai baku mutu pada limbah yang melewati bak 4 pada minggu ke 12 dengan kadar 91 mg/L.

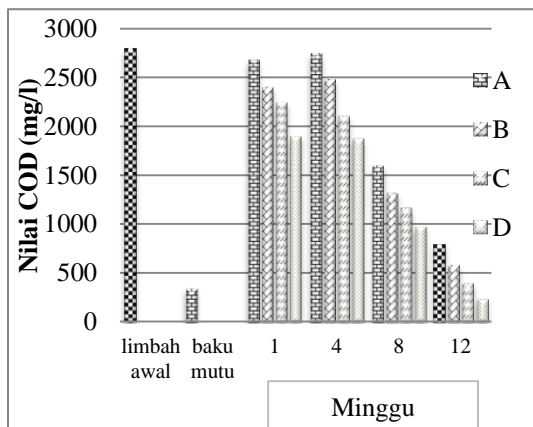
Dari Gambar 3 terlihat bahwa fitoremediasi limbah cair kelapa sawit efektif menurunkan kadar BOD limbah cair PKS. Efektifitas penurunan BOD pada limbah yang melewati bak 1 (A) selama 4 kali pengukuran dari minggu pertama hingga minggu ke 12 berkisar antara 6.26% - 82%. Efektifitas penurunan kadar BOD limbah cair PKS pada minggu ke 8 untuk limbah yang melewati bak 2 (B) hampir mencapai 60% dan pada minggu ke 12 efektifitas penurunan mencapai 86.11%. Pada limbah cair PKS yang melewati bak 3 (C) efektifitas penurunan kadar BOD berkisar dari 31.58% - 90.42%. Meskipun sudah mencapai 90%, kadar BOD limbah masih berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Pada limbah cair PKS yang melewati bak 4 (D) kisaran efektifitas penurunannya yaitu 43.68% - 95.21%. Dengan efektifitas lebih dari 95%, limbah cair PKS sudah memenuhi baku mutu dan layak dibuang ke lingkungan.

Penurunan kadar BOD dalam limbah cair PKS menunjukkan bahwa tanaman *T. angustifolia* mampu menurunkan kadar BOD limbah. Tanaman *T. angustifolia* mampu meningkatkan proses penyerapan terhadap bahan pencemar yang terdapat dalam limbah. DeBusk dan DeBusk (2001) menyebutkan bahwa tanaman lahan basah

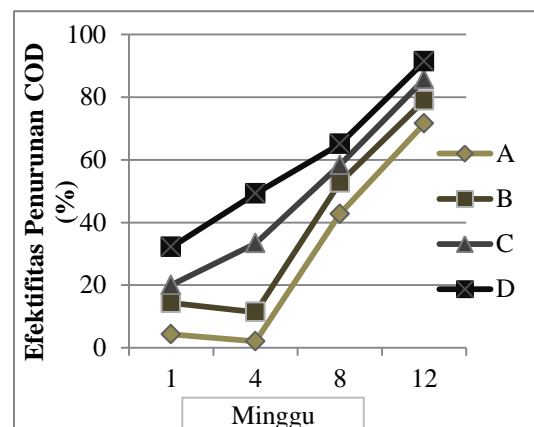
dapat menyerap kontaminan yang juga merupakan nutrisi penting bagi tanaman. Selanjutnya Deny *dalam* Kansiiime dan Nalubega (1999) menjelaskan bahwa penyerapan unsur hara (bahan pencemar) berhubungan langsung dengan laju pertumbuhan tanaman, di mana unsur hara akan diubah dan digunakan dalam produksi sel-sel baru selama pertumbuhan. Unsur hara diserap tanaman sebagai nutrisi untuk membantu pertumbuhannya.

Kansiiime dan Nalubega (1999) menjelaskan bahwa mekanisme penurunan kadar pencemar organik seperti adsorpsi, nitrifikasi/denitrifikasi, juga berlangsung di mana tanaman lahan basah secara tak langsung menyediakan tempat bagi mikroorganisme yang terlibat dalam siklus dan degradasi pencemar organik dalam limbah. Penurunan BOD juga disebabkan oleh aktivitas tanaman yang melibatkan mikroorganisme untuk memecah senyawa organik dalam proses fitoremediasi (Suhendrayatna, Marwan, Andriani, Fajriana & Elvitriana, 2012). Prabu dan Udayasoorian *dalam* Suhendrayatna *et al.* (2012) menguatkan pendapat ini dengan penjelasan bahwa bahan organik menyediakan energi bagi metabolisme mikroba. Zhang, Liu, Yang dan Chen *dalam* Suhendrayatna *et al.* (2012) juga menambahkan bahwa hal yang ikut mempengaruhi penurunan BOD yaitu lama waktu fitoremediasi.

Hasil pengukuran kadar COD limbah cair kelapa sawit selama 12 minggu dan efektifitas penurunannya disajikan pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kadar COD



Gambar 5. Efektifitas Penurunan COD

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu tinggal limbah di dalam sistem semakin besar penurunan kadar COD. Kadar COD limbah yang melewati bak 1 pada minggu pertama setelah pengaliran mengalami penurunan menjadi 2680 mg/L dari kadar awal yaitu 2800 mg/L. Sampai dengan minggu ke 12 kadar COD limbah yang melewati bak 1 turun menjadi 796 mg/L. Kadar COD mencapai baku mutu pada minggu ke 12 pada limbah yang melewati bak 4 dengan nilai 242 mg/L.

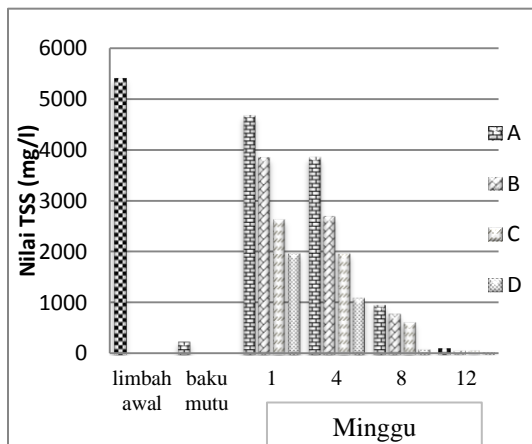
Penurunan kadar COD limbah cair PKS berdasarkan Gambar 5 menunjukkan efektifitas tanaman *T. angustifolia* dalam mengolah limbah dengan kadar pencemar yang tinggi. Efektifitas penurunan kadar COD limbah yang melewati bak 1 berkisar antara 2.04% - 71.57%. Pada limbah yang melewati bak 2, efektifitas berkisar antara

11.36% - 78.96%. Pada limbah yang melewati bak 3, efektifitas penurunan COD mencapai 58.32% pada minggu ke 8 dan mencapai 85.71% pada minggu ke 12. Pada limbah yang melewati bak 4, efektifitas penurunan mendekati 50% di minggu ke 4 dan pada minggu ke 12 efektifitas mencapai 91.36%. Pada minggu ke 12, kadar COD limbah yang melewati bak 4 sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Kep. Men LH no 51 th 1995.

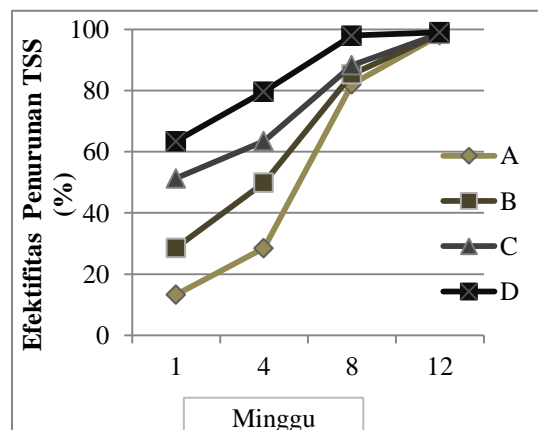
Limbah cair PKS merupakan limbah organik yang mengandung senyawa protein, karbohidrat, dan lemak. Ketiga jenis pencemar tersebut terutama disusun unsur karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Keberadaan tanaman *T. angustifolia* dalam fitoremediasi limbah cair PKS membantu mengurangi tingginya kadar pencemar tersebut. Brahmna dan Hidayat (2008) menjelaskan bahwa bahan-bahan pencemar tersebut akan diserap oleh akar tanaman setelah didegradasi oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Menurut Heers (2006), tanaman mencuat seperti *T. angustifolia* menyediakan area permukaan bagi mikroorganisme dan punya kemampuan untuk mentransfer oksigen dari daun ke akarnya. Heers menambahkan, oksigen yang dilepaskan ke zona perakaran digunakan bakteri aerobik untuk mengoksidasi karbon organik. Apriadi (2008) menguatkan pendapat ini berdasarkan hasil penelitiannya, bahwa bakteri akan mengubah bahan organik menjadi lebih sederhana serta menghasilkan energi untuk sintesis sel bakteri itu sendiri. Greenway dan Woolley dalam Al-Asad *et al.* (2011) menjelaskan aktivitas mikroorganisme yang mempengaruhi berkurangnya kadar pencemar antara lain memetabolisme, mendegradasi, kemudian memineralisasi bahan kimia pencemar untuk kemudian dapat diserap tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan mikroorganisme dan tumbuhan air memiliki pengaruh yang besar dalam penurunan kadar pencemar dalam limbah cair PKS.

Hasil pengukuran kadar TSS limbah cair kelapa sawit selama 12 minggu dan efektifitas penurunannya disajikan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Kadar TSS



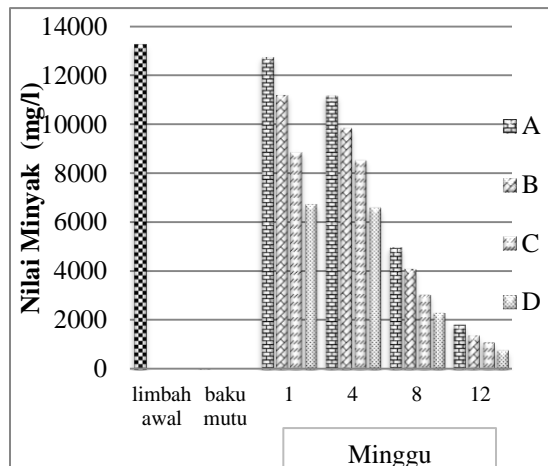
Gambar 7. Efektifitas Penurunan TSS

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat penurunan kadar TSS yang signifikan. Pada minggu ke 12 pengukuran, kadar TSS limbah pada semua perlakuan sudah memenuhi baku mutu. Efektifitas menunjukkan persentase yang mendekati 100%.

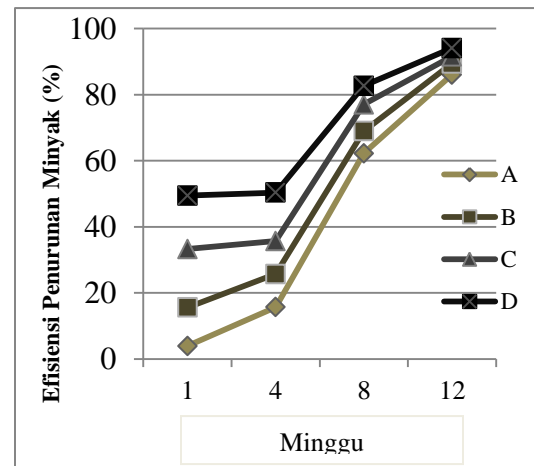
Penurunan yang besar ini menunjukkan kemampuan pengolahan kadar pencemar oleh *T. angustifolia* yang ditanam dalam sistem lahan basah buatan. Al-Saad *et al.* (2011) menyebutkan bahwa proses fisika berpengaruh cukup besar terhadap penurunan kadar padatan tersuspensi dalam pengolahan limbah dengan lahan basah buatan. Seperti pada lahan basah alami, sistem lahan basah buatan juga mengalami pengolahan fisik diantaranya filtrasi dan sedimentasi. Tangehu dan Warmadewanthi dalam Supradata (2005) menyebutkan bahwa proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tanaman yang terdapat di dalam bak. Proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat dalam limbah. Hal yang sama juga disebutkan Haddad *et al.* (2012) bahwa efektifitas pembersihan TSS merupakan filtrasi langsung oleh media tumbuh dan akar tanaman. Semakin banyak akar tanaman, maka proses filtrasi akan semakin baik. Meskipun proses fisika berperan cukup besar, namun proses biologi juga memiliki peran penting dalam penurunan kadar TSS ini. Hal ini karena limbah cair PKS termasuk limbah yang mengandung banyak bahan organik. Karathanasis, Potter dan Coyne (2003) membenarkan bahwa pada limbah yang mengandung banyak bahan organik, maka penurunan kadar TSS juga dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dan tanaman.

Tanaman menyediakan tempat bagi mikroba untuk menguraikan bahan organik dalam TSS melalui proses dekomposisi (Karathanasis *et al.*, 2003). Ditambahkan juga bahwa meskipun beban TSS yang masuk tinggi, sistem dengan tumbuhan menunjukkan efektifitas penurunan lebih baik. Purwati dan Surachman (2007) menyebutkan bahwa dibandingkan perlakuan tanpa tanaman, perlakuan sistem lahan basah buatan bersinergi dengan tanaman lebih efektif mereduksi TSS. Supradata (2005) menyatakan bahwa dengan adanya komposisi media pada sistem lahan basah buatan juga mempengaruhi besarnya penurunan TSS, serta penurunan yang lebih besar dengan adanya tanaman sebagai penyerap kandungan TSS limbah.

Hasil pengukuran kadar minyak limbah cair PKS dan efektifitas penurunannya disajikan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Kadar Minyak



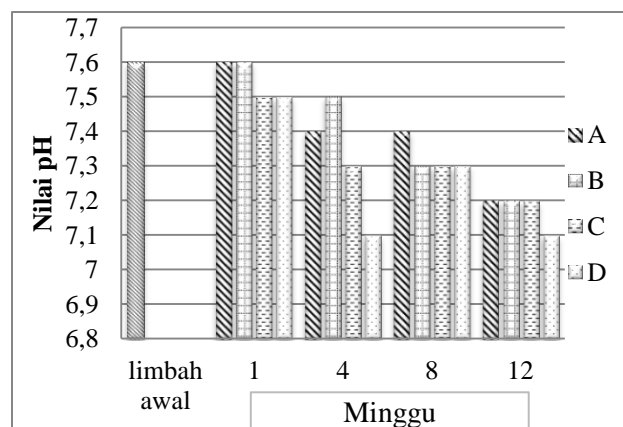
Gambar 9. Efektifitas Penurunan Minyak

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat terjadinya penurunan kadar minyak yang terkandung dalam limbah cair PKS setelah fitoremediasi dengan tanaman *T. angustifolia*. Pada minggu pertama setelah fitoremediasi, kadar minyak limbah yang melewati bak 1 turun menjadi 12.760 mg/L dan pada minggu ke 12 kadar minyak turun menjadi 1.850 mg/L. Kadar minyak limbah yang melewati bak 4 hingga minggu ke 12 masih berada jauh di atas baku mutu yang sudah ditetapkan dengan kadar 785 mg/L di mana baku mutunya 25 mg/L (Kep.Men. LH no 51 th 1995).

Penurunan kadar minyak setelah melalui fitoremediasi menunjukkan efektifitas yang besar. Efektifitas penurunan kadar minyak pada limbah yang melewati bak 1 berkisar dari 3.92% - 86.07%. Efektifitas penurunan kadar minyak pada limbah yang melewati bak 3 hingga minggu ke 12 mencapai 91.59%. Selanjutnya pada limbah yang melewati bak 4, di minggu ke 4 efektifitas penurunannya mencapai 50.37% dan pada minggu ke 12 efektifitasnya mencapai 94.09%. Walaupun tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan, penurunan kadar minyak limbah cair PKS terhitung cukup besar, mengingat pada awal pengukuran kandungan minyak pada limbah cair PKS sangat besar. Efektifitas penurunan yang cukup besar menunjukkan kemampuan *T. angustifolia* untuk meremediasi kandungan pencemar.

Penggunaan tanaman untuk membantu menurunkan kadar minyak sudah pernah dibuktikan. Tanaman menyerap dan menyimpan bahan pencemar di dalam jaringan setelah didegradasi oleh mikroba (Azeez & Sabbar, 2012). Hal ini sesuai dengan pendapat Zhao dan Allen dalam Azeez dan Sabbar (2012) yang menyatakan bahwa pengolahan dengan sistem lahan basah buatan efektif membersihkan bahan pencemar melalui degradasi oleh mikroba atau diambil langsung oleh tanaman. Cohen *et al.* (2003) mengemukakan bahwa tanaman mampu melakukan bioremediasi dengan sendirinya tetapi keunggulan utamanya adalah menyediakan lingkungan yang sesuai untuk mikroba bisa mengurai senyawa hidrokarbon minyak. Sebagaimana disebutkan juga oleh Al-Asad *et al.* (2011) bahwa tanaman lahan basah memiliki karakteristik khusus yang dapat mendorong jumlah dan keragaman spesies mikroorganisme yang besar untuk berkembang di bagian perakarannya.

Hasil analisa kadar pH setelah mengalami fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Analisis pH Selama Perlakuan

Hasil analisis data memperlihatkan kadar pH sejak awal pengukuran hingga akhir pengukuran berada dalam ambang batas yang diizinkan dengan baku mutu 6-9 (Kep.Men. LH no 51 th 1995). Azwir (2006) menyebutkan bahwa pada Instalasi Pengolahan Air Limbah biasanya terdapat kolam netralisasi yang berfungsi untuk menetralkan kondisi asam pada limbah. Limbah dengan pH yang berada dalam ambang batas yang telah ditetapkan dapat dibuang ke lingkungan. Sebagaimana diketahui bahwa pada pH 6-9, kehidupan biota dalam suatu perairan dapat berlangsung secara normal, baik kehidupan hewan maupun tanaman air, karena dalam kondisi tersebut tidak terjadi proses-proses kimia dan mikrobiologis yang menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kehidupan biota dan kelestarian lingkungan.

Hasil penelitian penggunaan tumbuhan *T. angustifolia* untuk memperbaiki limbah cair kelapa sawit ini sesuai dengan materi pembelajaran Biologi SMA kelas X pada standar kompetensi 'Menganalisis hubungan antara komponen ekosistem, perubahan materi dan energi serta peranan manusia dalam keseimbangan ekosistem', dan kompetensi dasar 'menganalisis jenis-jenis limbah dan daur ulang limbah'. Penggunaan tumbuhan dalam mengolah limbah sebagai salah satu kajian penelitian memuat materi pokok pada konsep Pencemaran Lingkungan pada siswa kelas X meliputi upaya penanggulangan pencemaran lingkungan oleh limbah cair.

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber belajar pada sub konsep upaya penanganan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan hasil penelitian penggunaan tumbuhan *T. angustifolia* untuk memperbaiki kualitas limbah cair kelapa sawit ini bertujuan untuk memperkaya informasi kepada siswa dengan memperluas konsep pembelajaran tentang Pencemaran Lingkungan. Hasil penelitian ini digunakan untuk memperkaya sumber belajar siswa sehingga dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi pelajaran karena memiliki alternatif sumber belajar yang beragam, tidak terbatas hanya pada buku pegangan yang digunakan.

Dengan adanya pemanfaatan hasil penelitian ini, diharapkan siswa lebih mampu memahami tentang pencemaran lingkungan, kontribusi makhluk hidup dalam pencemaran lingkungan, upaya-upaya yang dapat dilakukan dalam mengatasi pencemaran lingkungan, kemudian dapat mengaplikasikan ilmu yang telah dipelajarinya.

Kesimpulan

Hasil analisa beberapa parameter terhadap limbah cair yang sudah mengalami fitoremediasi memperlihatkan:

1. Fitoremediasi limbah cair kelapa sawit menggunakan *Typha angustifolia* dalam sistem lahan basah buatan mampu memperbaiki kualitas limbah cair kelapa sawit dengan efektifitas penurunan BOD mencapai 95.21%, COD 91.36%, TSS 99.07%, minyak 94.09%.
2. Proses dan hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber belajar yaitu LTS pada konsep Pencemaran Lingkungan di SMA.

Saran

Dari penelitian ini, ada beberapa hal yang bisa direkomendasikan dan dikembangkan:

1. Penelitian lanjutan dengan menambah waktu tinggal limbah terhadap tanaman.
2. Penelitian lanjutan menggunakan beberapa jenis CTW (FWS, SSF, dan Mix) dan komposisi tanaman air yang berbeda.
3. Aplikasi sistem lahan basah buatan (CTW) yang disinergikan dengan tanaman air untuk memperbaiki kualitas limbah cair, baik skala rumah tangga maupun industri.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Pabrik Kelapa Sawit PT Surya Intisari Raya, Perawang yang telah menyediakan limbah cair kelapa sawit untuk digunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Al-Saad, M.H., A.I. Elaibi., dan I.S. Mageed. (2011). Improving Nutrient Removal in Constructed Wetland Wastewater treatment. *Journal of Petroleum Research and Studies*, vol 3, 44-64. Diperoleh dari <http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&ald=58821>
- Apriadi, T. (2008). *Kombinasi Bakteri dan Tumbuhan Air sebagai Bioremediator Dalam Mereduksi Kandungan Bahan Organik Limbah Kantin*. Diperoleh dari IPB Repository.
- Azeez, N.M., dan Sabbar, A.A. (2012). Efficiency of Duckweed (*Lemna minor L.*) in Phytotreatment of Wastewater Pollutants from Basrah Oil Refinery. *Journal of Applied Phytotechnology in Enviromental Sanitation*, vol 1(4), 163-172. Diperoleh dari <http://www.trisanita.org/japes>
- Azwir. (2006). *Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. P Putra Masterindo di Kabupaten Kampar*. Diperoleh dari eprints.undip.ac.id/15421/
- Bareen, F., dan Khilji, S. (2008). Bioaccumulation of Metals from Tannery Sludge by *Typha angustifolia L.* *African Journal of Biotechnology*, vol 7(18), 3314-3320. Diperoleh dari <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/download/59277/47575>
- Brahmana, S.S., dan Hidayat, R. (2008). Pengendalian Pencemaran Air dengan Ekoteknologi (*wetland* buatan). *JSDA* vol 4 (2), 111-124. Diperoleh dari <http://www.digilib.ui.ac.id/file?file=pdf/metadata-121088.pdf>
- Cohen, M., Yamasaki, H., dan Mazzola, M. (2003). *Degradation of Petroleum Hydrocarbons by Plant-Microbe System*. [Abstrak]. Diperoleh dari

Agricultural Research Service United States Department of Agriculture database.

- DeBusk, T.A., dan W.F. DeBusk. (2001). Wetland for Water Treatment. In D.M. Kent (Ed.), *Applied Wetlands Science and Technology* (pp. 243-279).
- Ditjen Jenderal Pengolahan dan Pengembangan Hasil Pertanian. (2006). *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Diperoleh dari <http://pphp.deptan.go.id>
- Food and Agriculture Organization (FAO) Assessment Report (2007). <http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e05.htm>. Diakses tanggal 02 Januari 2013.
- Haddad, M., Mizyad, N., dan Masoud, M. (2012). Evaluation of gradual hydroponic system for decentralized wastewater treatment and reuse in rural areas of Palestine. *Int. Journal Agr & Bio Eng*, vol 5(4), 47-53. Doi: 10.3965/j.ijabe.20120504.005
- Heers, Martin. (2006). *Constructed Wetlands under Different Geographic Condition: Evaluation Of the Suitability and Criteria for the Choice of Plants Including Productive Species*. Diperoleh dari <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-constructed-wetlands-under-different-geographic-conditions-2006.pdf>
- Hidayah, E.N., dan W. Aditya. (2010). Potensi dan Pengaruh Tanaman pada Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Sistem Constructed Wetland. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol 2 (2), 11-18. Diperoleh dari eprints.upnjatim.ac.id/1257/2/2._Jurnal_Euis.pdf
- Kansiime, F., dan Nalubega, M. (1999, 20 May). *Wastewater Treatment by Natural Wetland; The Nakubivo Swamp, Uganda* [pdf] (Dissertation defense, Board of Deans of Wageningen Agricultural University and the Academic Board of the International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering). Diperoleh dari <http://edepot.wur.nl/192727>.
- Karathanasis, A.D., C.L. Potter., dan M.S. Coyne. (2003). Vegetation Effect on Fecal Bacteria, BOD, and Suspended Solid Removal in Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater. *Ecological Engineering*, vol 20(2003), 157-169. Doi: 10.1016/S0925-8574(03)00011-9
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no 51 th 1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri. Diperoleh dari

pembkmedan.info/libraries/fdownload.php?jenis=file&path=33_11-12-01-2-40-27_16494_2.pdf

- Purwati, S., dan A. Surachman. (2007). Potensi dan Pengaruh Tanaman pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas dengan Sistem Lahan Basah. *Berita Selula*, vol 42 (2), 45-53. Tersedia online di <http://www.bbpk.go.id>
- Raharjo, P.N. (2009). Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol 10(1), 09-18. Diperoleh dari <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/585>.
- Suhendrayatna., Marwan., R. Andriyani., Y. Fajriana., dan Elvitriana. (2012). Removal of Municipal Wastewater BOD, COD, and TSS by Phyto-Reduction: A Laboratory-Scale Comparison of Aquatic Plants at Different Species *Typha latifolia* and *Saccharum spontaneum*. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol 2(6), 333-337. Diperoleh dari http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Removal%20of%20Municipal.pdf