

Pengaruh Kedalaman Rhizofe Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Terhadap Kuantitas Oksigen Terlarut Pada Sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland*

Mona Loshinta¹, Haryati Bawole Sutanto², Guruh Prihatmo³

^{1,2,3}Fakultas Bioteknologi, Program Studi Biologi, Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta
Jl. dr. Wahidin Sudirohusodo No. 5-25, Yogyakarta 55224

Email: shinta.mj88@gmail.com, haryati@staff.ukdw.ac.id, guruh.pri@gmail.com

ABSTRAK

Melati air diketahui memiliki *aerenchyma* yang berperan penting dalam proses transfer oksigen ke rhizofe untuk memenuhi kebutuhan oksigen dalam sistem *constructed wetland*. Pada penelitian ini, sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW) dibangun untuk mengetahui pengaruh kedalaman rhizofe tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) terhadap kuantitas oksigen terlarut (DO) pada sistem SSVF CW. Sistem ini diancang untuk mengolah limbah domestik dengan HRT 4 hari. Media yang digunakan adalah tanah dan batu berukuran 1-2 cm, 2,5-5cm, dan 7-10cm. Pada penelitian ini diketahui melati air dengan rata-rata panjang akar 47,25 cm dan akar terpanjang 60 cm mampu memberi pengaruh terhadap konsentrasi DO pada sistem SSVF CW. Efisiensi penurunan sistem SSVF CW pada parameter TSS, BOD, amonia total, dan fosfat sebesar 93,48%, 89,39%, 59,39%, dan 66,53%. Sedangkan untuk parameter nitrat dan TDS tidak mengalami penurunan yang dapat dimungkinkan terjadi karena proses nitrifikasi yang berjalan dengan baik pada sistem.

Kata kunci : *Constructed wetland, sub surface vertical flow, Echinodorus palaefolius, limbah domestik, oksigen terlarut*

ABSTRACT

Melati air has aerenchyma which plays an important role in the process of transferring oxygen to the rhizofe to qualify the oxygen demand in constructed wetland system. In this research, the Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland (SSVF CW) system was built to determine the effect of the depth of the Echinodorus palaefolius's rhizofe on the quantity of dissolved oxygen (DO) in the SSVF CW system. This system was designed to treat domestic wastewater with HRT of 4 days. SSVF CW was built using soil and stones of 1-2 cm, 2.5-5 cm, 7-10 cm as media. This study shows that melati air with an average root length of 47.25 cm and the longest root of 60 cm was able to influence DO concentration in the system. The removal efficiency of TSS, BOD, total ammonia, and phosphate was 93.48%, 89.39%, 59.39%, and 66.53% respectively. Whereas nitrate and TDS didn't decrease which could be possible due to the well running of nitrification process.

Keywords : *Constructed wetland, sub surface vertical flow, Echinodorus palaefolius, domestic wastewater, dissolved oxygen*

Pendahuluan

Jumlah penduduk dunia terus mengalami peningkatan yang cukup signifikan dalam tiga tahun terakhir dengan peningkatan hampir 100 juta jiwa setiap tahunnya [1]. Pertambahan jumlah penduduk berdampak pada pertambahan jumlah limbah domestik yang dihasilkan. Limbah domestik merupakan sisa dari aktivitas pemukiman, rumah makan dengan luas bangunan lebih dari 1000 m², perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama dengan penghuni ≥ 100 orang [2].

Limbah domestik dapat mengakibatkan penurunan sanitasi lingkungan dan pada akhirnya akan berimbas buruk pada kehidupan makhluk hidup di lingkungan tersebut terkhusus manusia. Dampak buruk tersebut dapat ditemukan di Indonesia pada tahun 2016. Tercatat tingkat kematian disebabkan oleh air yang tidak aman, sanitasi dan layanan kebersihan yang kurang baik di Indonesia mencapai 7,1 per 100.000 penduduk pada tahun 2016 [4].

Salah satu sistem yang cocok untuk diterapkan di Indonesia dan telah terbukti mampu digunakan untuk mengolah limbah domestik adalah *constructed wetland* (CW). Berdasarkan arah aliran, sistem ini dapat dirancang dengan dua tipe aliran, yaitu aliran vertikal dan aliran horizontal. Aliran vertikal terbukti lebih efisien daripada aliran horizontal pada penurunan COD, BOD, bahkan lebih mendukung proses nitrifikasi karena penetrasi oksigen lebih besar [5][6]. Sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW) juga terbukti ampuh dalam menurunkan polutan pada limbah domestik dengan persentase efisiensi penurunan polutan COD 50,7-95,2%, BOD 59,0 - 93,3%, nitrat 85,4%, minyak dan lemak 84,2% [6].

Pada *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW), tanaman memiliki peran yang sangat penting dalam proses pengolahan limbah, yaitu berperan dalam mensuplai oksigen ke sistem perakaran tanaman sehingga rhizofe menjadi kaya akan oksigen. Oksigen merupakan komponen penting dalam pengolahan limbah. Oksigen yang disuplai oleh tanaman berikutnya digunakan untuk mendegradasi beban organik pada limbah terkhusus dengan bantuan mikroorganisme karena sebagian besar proses degradasi beban organik dilakukan oleh biofilm yang tumbuh di permukaan substrat [11]. Selain melalui tanaman, terdapat jalur transfer oksigen lainnya pada sistem *constructed wetland* untuk memenuhi kebutuhan oksigen pada sistem, yaitu difusi atmosfer dan aliran udara konvektif dalam ruang pori pada media [13].



Gambar 1. Tanaman Melati Air [12]

Melati air (*Echinodorus palaefolius*) merupakan salah satu tanaman yang baik untuk diaplikasikan pada sistem SSVF CW untuk mengolah limbah domestik karena memiliki nilai estetika yang baik dengan bunga berwarna putih yang indah, mudah ditemukan di daerah tropis seperti Indonesia, mudah dirawat, mudah tumbuh dan berkembangbiak, memiliki akar yang cukup panjang, kuat, dan menjalar, serta memiliki *aerenchyma* yang berperan penting dalam menyalurkan oksigen dari atmosfer ke rhizosfer [6][7][8]. Selain itu melati air terbukti ampuh digunakan dalam sistem *constructed wetland* untuk mengolah berbagai limbah seperti limbah domestik [6][9], limbah laundry [10], dan limbah industri tahu [11].

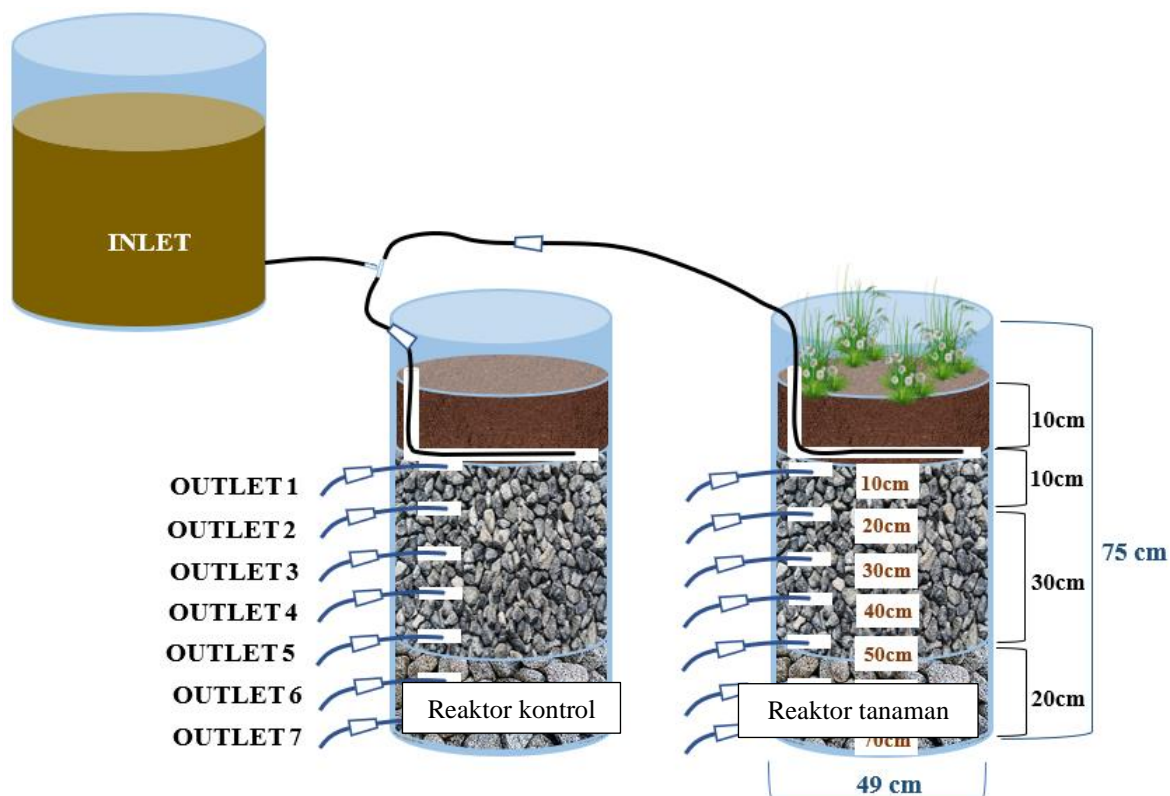
Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan kemampuan tanaman melati air dalam proses penurunan polutan pada limbah domestik kaitannya dalam mensuplai kebutuhan oksigen pada sistem SSVF CW. Tujuan kedua dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kedalaman yang dapat dicapai tanaman melati air dalam mensuplai oksigen pada sistem SSVF CW.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Universitas Kristen Duta Wacana dengan lokasi pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Ekologi Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana dan Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 3 bulan yaitu pada bulan Februari-April 2020.

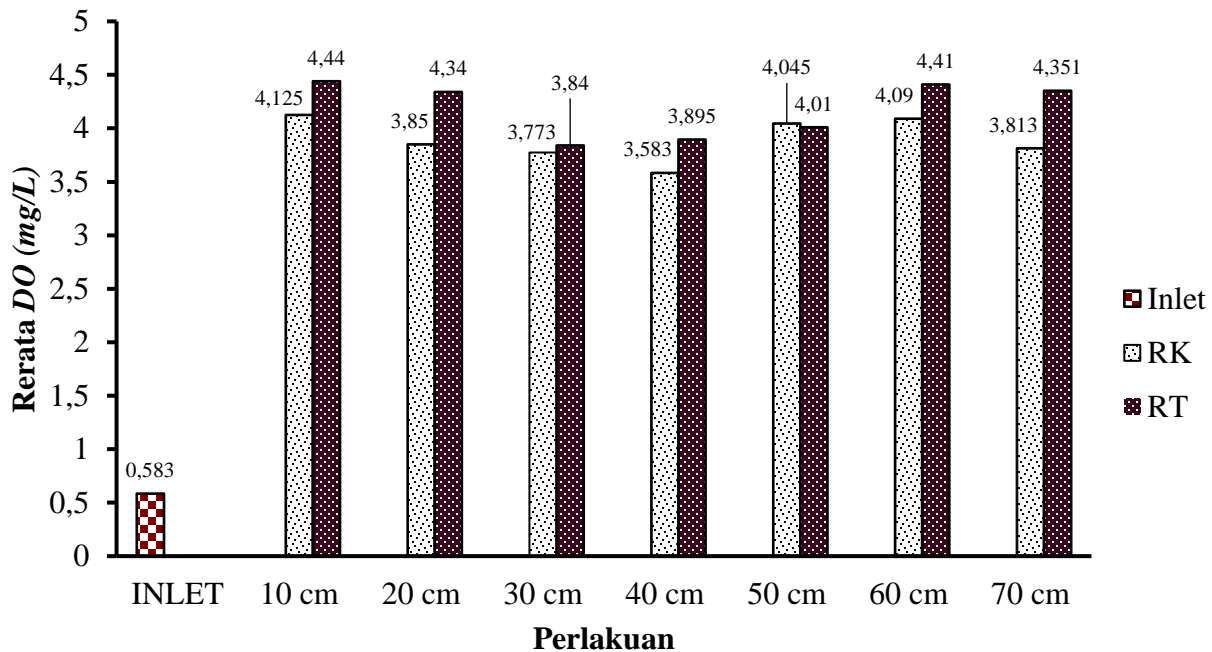
Sistem *constructed wetland* jenis *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW) dengan aliran kontinyu dan HRT selama 4 hari digunakan pada penelitian ini untuk mengolah limbah domestik. Pada penelitian ini terdapat dua jenis perlakuan, yaitu perlakuan menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) pada reaktor tanaman (RT) dan perlakuan tanpa menggunakan tanaman pada reaktor kontrol (RK).

Reaktor tanaman dan reaktor kontrol menggunakan jenis substrat yang sama yaitu batu berukuran 7 – 10 cm pada bagian dasar reaktor sedalam 20cm, lalu batu kerikil 2,5-5cm sedalam 30cm, kerikil kecil berukuran 1-2 cm sedalam 10cm dan tanah sedalam 10cm. Terdapat 7 titik outlet (titik sampling) pada kedua reaktor. Outlet 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 berfungsi untuk mengambil sampel yang digunakan untuk uji parameter DO setiap kedalaman 10cm, 20cm, 30cm, 40, 50, 60, dan 70 cm kedalaman air dalam SSVF CW. Khusus outlet nomor 7 (kedalaman 70cm) juga digunakan untuk uji paramater temperatur, TSS, TDS pH, BOD, nitrat, fosfat, amonia total.



Gambar 2. Desain Reaktor Pengolahan Limbah

Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. Histogram rerata DO (*Dissolved oxygen*) pada setiap perlakuan. Keterangan Outlet RK (reaktor kontrol), Outlet RT (reaktor tanaman)

Melati air memiliki peran yang cukup baik dalam membantu pemenuhan kebutuhan oksigen terlarut (DO) pada sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW). Berdasarkan gambar 3, rata-rata konsentrasi DO pada reaktor tanaman lebih tinggi dari pada reaktor kontrol pada hampir seluruh tingkat kedalaman.

Sistem SSVF CW dengan tanaman melati air memiliki rata-rata DO tertinggi mencapai 4,44 ppm pada kedalaman 10 cm dan rata-rata DO terendah mencapai 3,84 ppm pada kedalaman 30 cm. Melati air mampu menyediakan oksigen terlarut tambahan bagi sistem SSVF CW karena memiliki ruang antar sel (lubang saluran udara / *aerenchyma*) yang dapat berfungsi sebagai alat perpindahan oksigen dari atmosfer ke rhizosfer. *Aerenchyma* memungkinkan melati air mengambil oksigen dari udara melalui daun, batang, dan akar untuk berikutnya dilepaskan pada rhizosfer dan dimanfaatkan mikroorganisme yang berada di rhizosfer untuk mengurai bahan organik [7][8]. Oksigen juga dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman melati air.

Melati air mampu mentransfer oksigen ke dalam sistem SSVF CW dengan baik karena didukung oleh karakteristik perakaran tanaman melati air yang cukup panjang, kuat, dan menjalar^{[7][8]}. Pada penelitian ini, panjang tertinggi akar melati air mencapai kedalaman 60 cm dengan lebar perakaran tertinggi mencapai 29 cm, sehingga area transfer oksigen yang dimediasi oleh melati air pada sistem SSVF CW semakin luas.

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) pada kedalaman 10 cm hingga 70 cm reaktor tanaman cukup tinggi melampaui 2 mg/L. Konsentrasi DO lebih dari 2mg/L sudah cukup baik untuk memenuhi kebutuhan oksigen terlarut pada sistem SSVF CW untuk menjalankan proses degradasi beban organik dan nitrifikasi [15]. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran BOD, TSS, amonia total, dan fosfat yang mengalami penurunan pada tabel 2, sedangkan pada parameter TDS dan nitrat justru mengalami peningkatan yang dimungkinkan terjadi akibat proses nitrifikasi berjalan dengan baik.

Tabel 1. Hasil rerata pengukuran parameter fisik dan kimia, serta baku mutu limbah domestik

Parameter	Perlakuan					Baku Mutu Air Limbah Domestik*
	Inlet	Outlet RK	Efisiensi (%)	Outlet RT	Efisiensi (%)	
Temperatur (°C)	28,16	27,85	-	27,82	-	Deviasi 3°C
TDS (mg/L)	377,63	395,50	-	387,94	-	2000
TSS (mg/L)	115,00	25,63	77,71	7,50	93,48	75
pH	7,64	7,54	-	7,39	-	6-9
BOD (mg/L)	63,41	15,02	76,31	6,73	89,39	75
Amonia Total (mg/L)	27,04	7,67	71,64	10,98	59,39	(-)
Fosfat (mg/L)	11,89	4,31	63,75	3,98	66,53	(-)
Nitrat (mg/L)	1,14	3,37	-	5,39	-	(-)

Keterangan:

Titik sampling: Outlet RK (Outlet 7 reaktor kontrol), Outlet RT (Outlet 7 reaktor tanaman)

*: Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta (PERDA DIY) Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Ipal Domestik Komunal

(-): Baku mutu parameter tidak ditetapkan oleh PERDA DIY nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Ipal Domestik Komunal.

Oksigen terlarut dapat mempengaruhi parameter kualitas air lainnya seperti suhu, TDS, TSS, BOD, amonia total, nitrat, dan fosfat. Oksigen yang ditransfer oleh melati air menuju rhizofe mampu menambah kesegaran pada air yang berdampak pada suhu air dalam reaktor tanaman cenderung lebih rendah daripada inlet dan reaktor kontrol.

Pada sistem SSVF CW dengan melati air, parameter amonia total memiliki efisiensi penurunan sebesar 59,39%, sedangkan nitrat mengalami peningkatan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan proses nitrifikasi berjalan dengan baik pada sistem SSVF CW. Proses nitrifikasi pada sistem ini berjalan dengan baik dapat dimungkinkan terjadi karena kebutuhan DO pada sistem SSVF CW terpenuhi dan didukung dengan pH limbah yang optimal untuk proses nitrifikasi.

Pada penelitian ini, rerata pH pada sistem SSVF CW dengan melati air sebesar 7,388ppm. pH tersebut berada dalam kisaran pH optimal untuk proses nitrifikasi yaitu pH 6,5 – 8,5 [15].

Sistem SSVF CW mampu memberikan aerasi yang baik dalam sistem sehingga meningkatkan proses nitrifikasi amonia hingga menjadi nitrat [16]. Konsentrasi DO yang cukup tinggi dan melebihi 2 ppm pada sistem SSVF CW dengan melati air ini memungkinkan proses nitrifikasi berjalan dengan baik. Oksigen terlarut dapat digunakan untuk mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan berikutnya dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat sehingga terjadi penambahan nitrat pada limbah.

Nitrat tampak mengalami peningkatan dapat dimungkinkan terjadi karena proses nitrifikasi berjalan lebih cepat jika dibandingkan dengan proses absorpsi nitrat oleh tanaman. Ketika tanaman masih muda dan proses metabolisme masih sangat cepat, tanaman muda mengabsorpsi nutrisi pada limbah dengan cepat untuk bertumbuh dan berkembang. Namun seiring bertambahnya umur tanaman, proses metabolisme tanaman menjadi melambat, begitu pula proses absorpsi nutrisi juga melambat. Hal ini mengakibatkan pertambahan nitrat pada limbah sebagai hasil dari proses nitrifikasi berjalan lebih cepat dibandingkan dengan proses absorpsi nitrat oleh tanaman.

Pada penelitian ini, melati air dewasa memiliki daun yang semakin lebar dan jumlah daun yang cukup banyak dengan rerata jumlah daun tertinggi mencapai 42,5 helai. Pertambahan daun memungkinkan melati air mampu meningkatkan suplai oksigen pada sistem dikarenakan proses fotosintesis berjalan lebih baik seiring pertambahan jumlah daun.

Peningkatan nitrat pada limbah sebagai akibat dari proses nitrifikasi yang berjalan baik berdampak pada parameter TDS yang cenderung mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan anion nitrat merupakan salah satu komponen yang tergolong dalam TDS [3].

Perakaran melati air yang panjang dan menjalar pada media dalam sistem SSVF CW berdampak pada luas area distribusi oksigen yang semakin luas hingga mencapai kedalaman 70cm. Distribusi oksigen

yang luas ini berdampak pada proses penurunan parameter BOD yang cukup tinggi mencapai 89,39%. Hal ini dapat dimungkinkan terjadi karena kebutuhan oksigen mikroorganisme pengurai untuk mendegradasi beban organik yang bersifat *biodegradable* tercukupi dengan baik. Hasil degradasi tersebut seperti fosfat dan nitrat berikutnya diabsorpsi oleh tanaman melalui sistem perakaran sebagai nutrisi. Hal ini sejalan dengan data fosfat yang memiliki efisiensi penurunan sebesar 66,53 % pada sistem SSVF CW dengan melati air.

Keberadaan tanaman melati air yang mampu memberikan kondisi lingkungan yang lebih baik dengan rhizofe yang kaya akan oksigen mampu memengaruhi komunitas mikroorganisme dalam sistem *constructed wetland* [13]. Hal ini berdampak pada parameter TSS yang memiliki efisiensi penurunan sebesar 93,48%. Hal ini dapat dimungkinkan terjadi karena proses *sliding* atau kematian mikroorganisme yang berpotensi menambah beban padatan tersuspensi pada reaktor tanaman menjadi sedikit lebih lambat dibandingkan pada mikroorganisme yang hidup di lingkungan tanpa tanaman (reaktor kontrol). Selain itu, sistem perakaran mampu meningkatkan efisiensi penurunan polutan TSS dengan cara menyediakan permukaan area yang lebih luas, mengurangi laju kecepatan air, meningkatkan proses pengendapan dan filtrasi [14].

Simpulan

Pada penelitian ini, tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) mampu mensuplai oksigen terlarut tambahan pada sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW) hingga kedalaman 70cm. Rerata kedalaman akar melati air yang mencapai 47,25 cm dengan ukuran akar terpanjang mencapai 60 cm mampu memberikan pengaruh terhadap kuantitas DO pada sistem SSVF CW dengan rata-rata DO tertinggi mencapai 4,44 ppm dan rata-rata DO terendah mencapai 3,84 ppm. Sistem SSVF CW mampu memberikan efisiensi penurunan yang cukup tinggi pada parameter TSS, BOD, amonia total, dan fosfat sebesar 93,48%, 89,39%, 59,39%, dan 66,53%. Sedangkan untuk parameter nitrat dan TDS tidak mengalami penurunan yang dapat dimungkinkan terjadi karena proses nitrifikasi yang berjalan dengan baik pada sistem.

Saran

1. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai hubungan pertambahan ukuran dan jumlah daun terhadap kuantitas oksigen yang dilepaskan ke rhizofe di setiap tingkat kedalaman sistem *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW).
2. Perlu dilakukan perhitungan dan identifikasi fitoplankton pada reaktor *Sub Surface Vertical Flow Constructed Wetland* (SSVF CW) di setiap tingkat kedalaman sebagai data tambahan untuk memperkirakan bagaimana cara kerja transfer oksigen pada sistem SSVF CW secara lebih jelas selain dari pengaruh tanaman.
3. Perlu dilakukan identifikasi komunitas mikroorganisme pada sistem SSVF CW untuk mengetahui apakah terdapat mikroorganisme yang mampu melakukan fotosintesis pada kondisi intensitas cahaya sangat rendah. Ini dirasa perlu karena terdapat kecenderungan DO mengalami peningkatan pada kedalaman 50-60cm dimana cahaya matahari sulit untuk menembus hingga ke kedalaman tersebut.
4. Melakukan pengukuran amonia total, TDS, BOD, dan nitrat pada setiap tingkat kedalaman untuk mengetahui pengaruh tanaman dalam sistem SSVF CW pada setiap kedalaman

Daftar Pustaka

- [1] Worldometers, 2019. *Worldometers Current World Population*. [Online] Available at: <https://www.worldometers.info/world-population/> [Diakses 27 Desember 2019]
- [2] Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

- [3] Islam, R., Faysal, S. M., Amin, R., Juliana, F. M., Islam, M. J., Alam, J., Hossain, M. N., & Asaduzzaman, M. 2017. Assessment of pH and Total Dissolved Substances (TDS) in the Commercially Available Bottled Drinking Water. *IOSR Journal of Nursing and Health Science Ver. IX, 6(5)*, 35–40. <https://doi.org/10.9790/1959-0605093540> [4] United Nations Development Programme, 2018. *United Nations Development Programme Human Development Report*. [Online] Available at: <http://hdr.undp.org/en/composite/Dashboard4>
- [5] Choudhary, A. K., Kumas, S. & Sharma, C., Constructed Wetlands: An Option For Pulp and Paper Mill Wastewater Treatment. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10(10), 2011, pp. 3023-3037.
- [6] Astuti, A. D., Rinanti, A. & Viera, A. A. F., Canteen Wastewater and Gray Water Treatment Using Subsurface Constructed Wetland-Multilayer Filtration Vertical Flow Type with Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) at Senior High School. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 6(3), 2017, pp. 111-121.
- [7] Koesputri, A., Nurjazuli, N., & Dangiran, H., Pengaruh Variasi Lama Kontak Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Dengan Sistem Subsurface Flow Wetlands Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD dan Fosfat Dalam Limbah Cair Laundry. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 4(4), 2016, pp. 771–778.
- [8] Sasono, E., & Pungut, Penurunan Kadar BOD dan COD Air Limbah Upt Puskesmas Janti Kota Malang Dengan Metode Constructed Wetland Oleh : Endro Sasono *) dan Pungut **). *Jurnal Teknik WAKTU*, 2013, 11.
- [9] Perdana, M. C., Sutanto, H. B. & Prihatmo, G., Vertical Subsurface Flow (VSSF) Constructed Wetland For Domestic Wastewater Treatment. *ICERM 2017*, Volume 148, 2018, pp. 1-9.
- [10] Sukmawati, I. W. S. S. & Asmoro, P., Removal Cemarann BOD, COD, Phosphat (PO₄) dan Detergen Menggunakan Tanaman Melati Air Sebagai Metode Constructed Wetland Dalam Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Teknik WAKTU*, XII(1), 2014, pp. 24-34.
- [11] Kasman, M., Riyanti, A., Sy, S., & Ridwan, M., Reduksi Pencemar Limbah Cair Industri Tahu Dengan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dalam Sistem Kombinasi Constructed Wetland dan Filtrasi. *Jurnal Litbang Industri*, 8(1), 2018, 39. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i1.3832.39-46>
- [12] Plantamor, 2019. *Plantamor: Melati Air (Echinodorus palaefolius var. latifolius)*. [Online] Available at: <http://plantamor.com/species/info/echinodorus/palaefolius/latifolius> [Diakses 28 Desember 2019].
- [13] Nivala, J., Wallace, S., Headley, T., Kassa, K., Brix, H., Afferden. M. V., Muller, R., 2012. Oxygen Transfer And Consumption In Subsurface flow Treatment Wetlands. *Ecological Engineering*
- [14] Aslam, M. M., Malik, M., Baig, M. A., Qazi, I. A., & Iqbal, J., Treatment Performances of Compost-Based and Gravel-Based Vertical Flow Wetlands Operated Identically for Refinery Wastewater Treatment in Pakistan. *Ecological Engineering*, 30(1), 2007, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.01.002>
- [15] Kouki, S., M'hiri, F., Saidi, N., Belaid, S., Hassen. A., Performances of a Constructed Wetland Treating Domestic Wastewaters During a Macrophytes Life Cycle. *Desalination*, 2009, 248, 131-146. doi: 10.1016/j.desal.0000.00.000
- [16] Jahangir, M. M. R., Richards, K. G., Healy, M. G., Gill, L., Müller, C., Johnston, P., & Fenton, O., Carbon and Nitrogen Dynamics and Greenhouse Gas Emissions in Constructed Wetlands Treating Wastewater: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(1), 2016, 109–123. <https://doi.org/10.5194/hess-20-109-2016>