

Feasibilitas Aplikasi Teknologi Biologi Anaerob dan Wetland Untuk Pengolahan Air Limbah

Hanny Vistanty¹, Rizal Awaludin Malik²

¹Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

²Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Email : hannyvistantybbtppi@gmail.com

Abstrak – Makalah ini akan membahas mengenai feasibilitas dari integrasi teknologi anaerob-wetland dalam pengolahan air limbah industri.

Teknologi anaerob merupakan salah satu teknologi yang telah lama dipelajari dalam pengolahan air limbah karena keunggulannya dari teknologi anaerob dibanding teknologi lain, yaitu sederhana dalam operasional, tidak menghasilkan sludge, lebih tahan terhadap beban organik tinggi, kebutuhan energi rendah serta biaya operasional dan maintenance yang murah. Oleh karena itu, teknologi anaerob paling potensial untuk diaplikasikan sebagai teknologi pengolahan air limbah industri dengan beban COD tinggi (lebih dari 2000 mg/L), baik yang bersifat organik maupun non organik. Performa teknologi yang tinggi ditunjukkan dengan efisiensi penurunan COD (Chemical Oxygen Demand) yang berkisar antara 80-90%. Namun teknologi anaerob saja masih belum mampu untuk menghilangkan seluruh polutan yang terkandung dalam air limbah, sehingga COD air limbah keluar masih berkisar antara 300-400 mg/L. Untuk itu diperlukan teknologi pendukung untuk mengolah kembali keluaran tersebut. Integrasi teknologi anaerob-wetland merupakan satu sistem kombinasi yang sesuai untuk diterapkan. Teknologi wetland atau constructed wetlands merupakan teknologi yang diadaptasi dari natural wetlands dengan biaya investasi yang murah, tidak memerlukan sludge, operasional sederhana, serta memiliki nilai estetika yang tinggi. Pretreatment anaerob sebelum wetland akan menguntungkan karena anaerob dapat mengurangi padatan tersuspensi yang masuk ke wetland sehingga mengurangi risiko clogging. Integrasi sistem anaerob-wetland dapat menurunkan beban BOD, COD dan TSS masing-masing hingga 98%, 93%, dan 99% dengan kualitas keluaran air limbah yang dapat memenuhi persyaratan Baku Mutu Air Limbah Industri dan COD akhir berkisar antara 43-53 mg/L.

Kata Kunci : anaerob, constructed wetlands, air limbah, chemical oxygen demand

PENDAHULUAN

Dengan semakin berkembangnya sektor industri di Indonesia, selain menimbulkan dampak positif terhadap perekonomian juga akan memberikan efek negatif, khususnya dalam bentuk pencemaran lingkungan, baik dalam bentuk cair, padat, maupun gas, khususnya air limbah. Untuk mencegah kerusakan lingkungan dan bahaya kesehatan terhadap manusia, maka air limbah yang dihasilkan oleh industri perlu diolah terlebih dulu sebelum dibuang ke lingkungan (Birgani et al., 2016). Berbagai teknologi pengolahan air limbah industri telah banyak dipelajari dalam penelitian-penelitian sebelumnya, di antaranya teknologi elektrokimia (Bard and Faulkner, 2001; Chen et al., 2005; Aris Mukimin et al., 2018), teknologi kimia seperti Fenton dan koagulasi (Ma and Xia, 2009), membran (Liu et al., 2016; Rashidi et al., 2012; Sun et al., 1998), dan biologi (Malik et al., 2016; Vistanty et al., 2015; Vistanty and Malik, 2019). *Advanced treatment* memiliki keunggulan dalam hal waktu operasional yang singkat serta efisiensi tinggi, namun untuk aplikasi di lapangan masih dibatasi oleh biaya operasional dan investasi yang mahal serta kebutuhan energi listrik yang tinggi. Untuk itu teknologi biologi merupakan salah satu opsi teknologi yang potensial untuk diterapkan secara *full-scale* dikarenakan keunggulannya seperti operasional yang mudah dan sederhana serta memiliki efisiensi yang tinggi. Akan tetapi teknologi biologi aerob yang telah

lebih dulu diminati dan dipelajari disebutkan membutuhkan energi yang besar, menghasilkan produk samping sludge dan rentan terhadap shock loading. Biaya operasional yang mahal merupakan masalah utama dalam aplikasi teknologi aerob di skala besar. Oleh karena itu saat ini industri membutuhkan teknologi pengolahan limbah yang sederhana, mudah, dan murah dalam biaya operasionalnya.

Teknologi anaerob atau *anaerobic digestion* merupakan teknologi alternatif pengganti *activated sludge* konvensional (Jianlong and Ning, 2004). Sistem anaerob telah banyak diteliti untuk pengolahan air limbah beban tinggi (*high-strength wastewater*) seperti air limbah industri dan rendah (*low-strength wastewater*) seperti air limbah domestik, dengan aktivitas mikroba yang tinggi pada suhu tropis seperti di Indonesia. Proses anaerob umumnya terjadi dalam empat tahapan yang berjalan simultan. Tahapan pertama yaitu hidrolisis merupakan proses pemecahan molekul-molekul besar, kompleks dan tidak terlarut menjadi molekul kecil. Tahapan ini merupakan dasar penerapan proses anaerob sebagai *pre-treatment* dalam proses pengolahan air limbah (A. Mukimin et al., 2018; Vistanty and Malik, 2019). Pada tahapan selanjutnya, yaitu asetogenesis dan asidifikasi, produk dari tahapan hidrolisis dirubah menjadi asam organik (khususnya asam asetat), hidrogen, dan karbon dioksida. Sementara pada tahapan metanogenesis, terjadi pembentukan metan dari produk yang

dihasilkan pada tahapan sebelumnya, dimana metan merupakan sumber energi yang diminati sebagai keunggulan dari proses anaerob ini.

Teknologi anaerob saat ini banyak diakui sebagai proses inti yang ramah lingkungan dan jika digabungkan dengan proses lain sebagai proses sekunder maka sistem tersebut dapat menjadi sistem pengolahan air limbah industri yang bersifat *sustainable* dan cocok digunakan di negara berkembang (Seghezzi et al., 1998). Hal ini dikarenakan keluaran dari proses anaerob umumnya belum mampu memenuhi syarat baku mutu untuk dibuang ke lingkungan, meski memiliki nilai efisiensi penurunan yang tinggi. Oleh karena itu dibutuhkan proses lanjutan untuk mengolah keluaran dari proses anaerob sehingga dapat memenuhi syarat. Salah satu proses pengolahan lanjutan tersebut adalah *constructed wetlands*.

Constructed wetlands

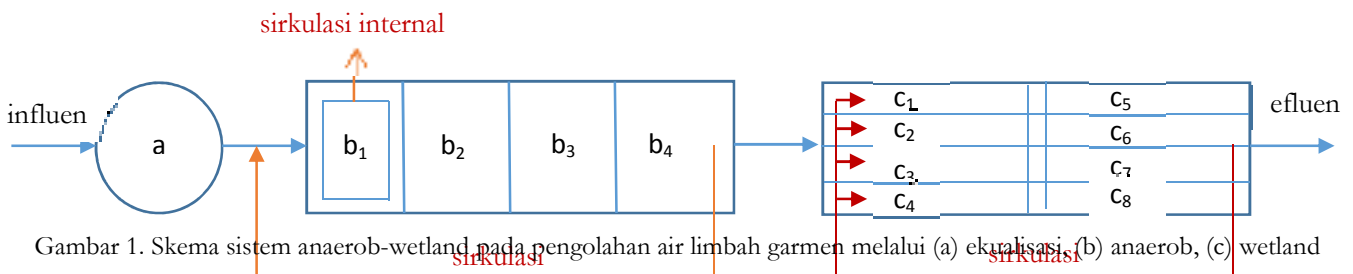
Constructed wetlands atau disebut juga wetland merupakan suatu teknologi yang saat ini banyak dipelajari untuk diaplikasikan sebagai metode pengolah limbah pendukung karena biaya investasinya yang rendah dan tidak menghasilkan sludge. Wetland merupakan teknologi yang didesain meniru proses yang terjadi pada *natural wetlands* dan memanfaatkan kinerja tanaman, media tumbuh, serta mikrobial yang hidup di dalamnya untuk meningkatkan kualitas air limbah. Teknologi ini umumnya diterapkan untuk mendukung proses lain dalam pengolahan air limbah beban tinggi atau secara tunggal untuk mengolah air limbah beban rendah, seperti air limbah domestik (Ayaz et al., 2015; Lu et al., 2015), *greywater*, atau *stormwater* (Fink and Mitsch, 2004). Wetland juga cocok untuk diaplikasikan bersama dengan proses anaerob sebagai tahapan *pre-treatment*nya. Hal ini dikarenakan proses anaerob di tahapan awal dapat mengurangi jumlah padatan tersuspensi yang

terkandung di dalam air limbah sehingga mengurangi potensi *clogging* di unit wetland (De la Varga et al., 2013), dimana *clogging* merupakan permasalahan utama yang biasa terjadi pada unit wetland.

Sistem pengolahan wetland merupakan suatu sistem yang mengkombinasikan tiga proses di dalamnya, yaitu fisika (absorpsi-adsorpsi), kimia (hidrolisis, fotokimia), dan biologi (aerob dan anaerob) secara simultan. Umumnya sistem wetland yang diterapkan mencakup dua tipe, yaitu *surface flow wetlands* dan *horizontal subsurface flow wetlands*. Sistem wetland yang kami aplikasikan adalah sistem *horizontal sub-surface flow constructed wetland* (HSSFCW) dengan menggunakan media tanam berupa batu kerikil dengan ukuran tertentu. Tanaman yang digunakan dalam sistem ini adalah tanaman tertentu yang memiliki daya tahan tinggi terhadap air limbah, kemampuan pengolahan tinggi, estetika yang baik, dan harga terjangkau. Sementara, kelemahan dari teknologi wetland adalah kebutuhan akan lahan yang luas. Namun hal ini dapat diatasi dengan cara memodifikasi desain dan jarak tanam antar tanaman serta menambahkan sistem sirkulasi di unit wetland.

Selain itu, sistem sirkulasi merupakan salah satu cara untuk mengendalikan alur air dalam sistem. Keuntungan dari aplikasi sistem sirkulasi antara lain: a) Mengurangi konsentrasi BOD, b) Mengendalikan perpindahan kontaminan sehingga dapat mencapai efisiensi pengolahan yang tinggi, dan c) mengurangi bau (Moshiri, 1993).

Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengevaluasi feasibilitas integrasi teknologi anaerob-wetland untuk pengolahan air limbah industri garmen secara *full-scale*, baik dari sisi performa sistem integrasi maupun dari sisi tekno-ekonominya. Performa sistem akan dievaluasi berdasarkan persen penurunan parameter BOD, COD, TSS, fenol, khrom, amoniak, dan minyak-lemak serta ditinjau berdasarkan baku mutu yang dipersyaratkan.



Gambar 1. Skema sistem anaerob-wetland pada pengolahan air limbah garmen melalui (a) ekualisasi, (b) anaerob, (c) wetland

METODE

Integrasi teknologi anaerob – wetland telah diterapkan dalam pengolahan air limbah industri

garmen secara *full-scale*. Skema sistem yang diterapkan dapat dilihat pada Gambar 1. Air limbah awal tanpa *pretreatment* (*raw wastewater*) ditampung di bak ekualisasi terlebih dulu dengan kapasitas kerja 37,5 m³ dan kemudian dipompa ke unit UASBr. Teknologi anaerob yang digunakan adalah jenis *upflow anaerobic sludge bed reactor* (UASBr), sementara sistem wetland yang digunakan adalah *horizontal subsurface flow constructed wetlands*. Volume kerja dari unit UASBr adalah sebesar 65 m³ dan dibagi menjadi 4 kompartemen yang berjalan secara seri. Keluaran dari UASBr kemudian dialirkan ke unit wetland sementara sebagian disirkulasi kembali ke kompartemen pertama dari unit UASBr.

Unit wetland dibagi menjadi 8 kompartemen, dimana tiap 4 (empat) kompartemen berjalan paralel. Keluaran unit wetland sebagian disirkulasi ke empat kompartemen awal dan sebagian dibuang ke lingkungan. Unit wetland ditanami dengan 5 jenis tanaman yang berbeda, yaitu *typha latifolia* (parikesit), *equisetum hyemale* (bambu air), *cyperus papyrus*, *canna*, dan anggrek air dengan luas permukaan total 56,4 m², sementara media tanam wetland yang digunakan adalah batu kerikil dengan kedalaman 100 cm. Pengolahan air limbah dan sirkulasi berjalan secara kontinyu. Proses feeding dari bak ekualisasi ke bak anaerob dan proses sirkulasi dioperasikan masing-masing menggunakan pompa celup dengan laju alir maksimal 200 L/menit dan daya motor 250 watt.

Air limbah garmen (*raw wastewater*) yang diolah berasal dari proses pencucian pakaian menggunakan deterjen dan *softener* dari unit *washing* salah satu industri garmen yang ada di Semarang. Polutan utama yang terkandung di dalam air limbah adalah sisa deterjen dan kotoran, *softener*, serta sebagian unsur warna dari pakaian yang terikut dalam air. Air limbah yang dikeluarkan berkisar antara 15 m³/hari. Kinerja dari integrasi sistem anaerob-wetland dievaluasi berdasarkan persen penurunan parameter sesuai Baku Mutu air limbah tekstil (BOD, COD, TSS, Fenol, Khrom total, amoniak total, sulfida, minyak dan lemak) di efluen yang dibandingkan dengan influen. Analisis parameter dilakukan berdasarkan *Standard Methods* (Rice et al., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja unit UASBr

Tabel 1 menunjukkan karakteristik air limbah garmen yang masuk ke unit UASBr, sedangkan tabel 2 menunjukkan kondisi operasional dan beban organik yang masuk ke unit UASBr dan wetland.

Tabel 1. Karakteristik air limbah garmen

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
BOD	121,4	67,58	341
COD	605,8	410,2	738,6
TSS	200	170	328
Fenol	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Khrom total	< 0,010	< 0,010	0,014
Amoniak total	0,322	0,376	-
Sulfida	0,147	0,087	0,042
Minyak dan Lemak	< 0,966	< 0,966	< 0,966

Unit UASBr menunjukkan peran utama dalam menurunkan konsentrasi polutan dalam air limbah, dimana diperoleh penurunan BOD, COD, dan TSS masing-masing sebesar 94%, 80%, dan 94% (Tabel 3). Hasil tersebut menunjukkan peran utama proses anaerob dalam menurunkan konsentrasi polutan, terutama padatan tersuspensi (94%). Hal ini akan mendukung proses berikutnya, unit wetland, karena dapat mengurangi risiko clogging yang umumnya menjadi permasalahan utama dari teknologi wetland. Selain itu, penurunan konsentrasi COD dan BOD yang juga signifikan akan meringankan beban dari unit pengolahan selanjutnya.

Tabel 2. Beban organik air limbah garmen yang diolah

Parameter	Nilai
<u>Unit UASBr</u>	
HRT (<i>hydraulic retention time</i>)	28 jam
VLR TSS (kg/m ³ hari)	0,043
VLR COD (kg/m ³ hari)	0,13
VLR BOD (kg/m ³ hari)	0,026
<u>Unit wetland</u>	
HLR (<i>hydraulic loading rate</i>)	0,57 m/hari
SLR TSS (g/m ² hari)	2,84
SLR COD (g/m ² hari)	21,3
SLR BOD (g/m ² hari)	2,84

Tabel 3. Kualitas efluen unit UASBr

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
BOD	20,2	32,3	24,12
COD	121,5	166,7	113,4
TSS	20	25	20

Efisiensi penurunan polutan yang tinggi juga dipengaruhi oleh sistem sirkulasi yang digunakan. Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian lain (Mutombo, 2004). Tingginya performa ini disebabkan oleh meningkatnya transfer massa akibat tambahan laju alir dari sirkulasi yang meningkatkan *upflow velocity* yang umumnya tidak dapat dicapai oleh laju alir dari air limbah influen saja. Adanya sistem sirkulasi juga menimbulkan unsur pengadukan, terutama di bagian bawah unit anaerob, sehingga kontak antara sludge granul anaerob dan air limbah juga meningkat dan mendorong aktivitas biologi dalam penurunan polutan. Sistem sirkulasi telah banyak diterapkan sebagai salah satu inovasi peningkatan performa sistem anaerob, antara lain pengolahan air limbah industri pulp kertas dan industri bir yang mengandung beban organik tinggi (Habets et al., 1997). Dengan penerapan internal sirkulasi ini, maka sistem dapat menerima beban organik yang lebih tinggi dengan waktu pengolahan yang lebih singkat dan kebutuhan unit yang lebih kecil (*compact*).

Degradasi polutan terjadi ketika substrat / polutan berpindah dari fasa cair ke permukaan granul anaerob, dimana selanjutnya terjadi perpindahan massa di dalam granul dan terjadi reaksi degradasi secara biokimia (Chou et al., 2008). Sehingga adanya sistem sirkulasi yang dapat meningkatkan perpindahan massa antara substrat / polutan dan sludge akan meningkatkan performa dari sistem anaerob, termasuk pertumbuhan mikroba dan proses biodegradasi serta mempercepat proses start-up unit anaerob (Wang et al., 2014). Sistem sirkulasi eksternal juga dapat menggantikan fungsi sirkulasi biogas dalam sistem pengolahan air limbah *non-biodegradable*.

Kinerja unit Wetland

Unit wetland dapat menunjukkan efisiensi penurunan BOD, COD, dan TSS hingga mencapai 74%, 70%, dan 80%, dengan beban 2,84 gBOD/m²hari (Tabel 4). Dengan beban yang sudah berkurang dan relatif rendah setelah melalui proses *pretreatment* anaerob, maka kualitas efluen dari unit wetland juga dapat maksimal hingga jauh di bawah baku mutu yang telah ditetapkan. Efisiensi penurunan parameter TSS dari unit anaerob yang cukup tinggi (94%) memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap performa unit wetland, terutama dalam pencegahan terjadinya penyumbatan (*clogging*) yang merupakan permasalahan

utama yang sering terjadi. Penelitian sebelumnya telah menyebutkan bahwa tingkat akumulasi padatan pada unit wetland berkisar antara 0,6 hingga 1,75 kg padatan kering / m² tahun (Caselles-Osorio et al., 2007). Selain dapat mengganggu aliran air limbah, *clogging* juga dapat menurunkan kinerja unit wetland secara signifikan. *Clogging* dapat ditangani melalui tahapan pencegahan maupun perbaikan. Pencegahan dapat dilakukan dengan cara penyesuaian beban influen dan merubah kondisi operasional (sistem operasi secara intermitten, *backwash* atau membalik arah aliran air sebagai upaya *flushing*) (Nivala et al., 2012).

Tabel 4. Kualitas efluen unit wetland

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
BOD	6,602	8,448	8,232
COD	43,37	49,63	53,64
TSS	4	10	4
Fenol	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Khrom total	< 0,010	< 0,010	0,014
Amoniak	2,885	1,739	-
Sulfida	0,012	0,046	0,042
Minyak dan lemak	< 0,966	< 0,966	< 0,966
pH	7,5	8,0	7,8

Performa sistem integrasi anaerob-wetland secara keseluruhan juga dievaluasi dari penurunan parameter-parameter lain, seperti BOD, COD, TSS, fenol, khrom, amoniak, sulfida, minyak dan lemak (sesuai baku mutu air limbah industri tekstil). Integrasi sistem ini mampu mencapai efisiensi penurunan total BOD, COD, dan TSS masing-masing sebesar 98%, 93%, dan 99%. Dengan kualitas akhirnya mampu memenuhi baku mutu yang berlaku, sehingga dapat langsung dibuang ke lingkungan. Tingginya performa dari integrasi ini menunjukkan bahwa kedua teknologi ini dapat saling mendukung dan menguntungkan satu sama lain, dan memiliki kompatibilitas yang tinggi. Hasil ini juga sesuai dengan laporan penelitian lain yang menunjukkan kinerja tinggi dari sistem anaerob-wetland (De la Varga et al., 2013).

Biaya Operasional

Teknologi anaerob lebih potensial untuk diaplikasikan secara *full-scale*, terutama karena biaya operasionalnya yang lebih murah jika dibandingkan dengan teknologi lain, seperti fisika-kimia, aerob, atau *advanced treatment* lainnya. Teknologi fisika-kimia membutuhkan biaya

untuk pembelian bahan kimia koagulan-flokulan setiap hari, biaya listrik untuk pengaduk, serta biaya pengelolaan limbah padat B3. Untuk proses aerob membutuhkan biaya operasional listrik yang besar serta pengelolaan limbah padat B3, yang nilainya sangat mahal. Sementara untuk teknologi anaerob tidak membutuhkan penambahan bahan kimia, serta tidak menghasilkan limbah. Untuk operasional, unit anaerob hanya menggunakan utilitas berupa pompa feeding (jika diperlukan untuk perbedaan elevasi dengan bak ekualisasi) dan pompa sirkulasi. Untuk unit wetland juga telah banyak diaplikasikan untuk pengolahan air limbah, khususnya sebagai tahapan sekunder atau tersier (Caselles-Osorio et al., 2007), karena memiliki performa yang tinggi, operasional yang mudah dan murah. Operasional unit wetland juga hanya membutuhkan utilitas berupa pompa sirkulasi dengan daya maksimal 250 watt, dan perawatan berupa pemotongan tanaman untuk mendukung regenerasi tanaman.

Literatur menyebutkan bahwa unsur-unsur utama dari biaya operasional instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terdiri atas, kebutuhan energi (10-30%), pengelolaan limbah padat B3 (15-50%), kebutuhan bahan kimia (5-7%), dan kebutuhan lainnya (5-15%) (Wendland, 2005). Untuk operasional sistem integrasi anaerob-wetland secara umum membutuhkan utilitas berupa pompa sebanyak 2 unit. Dengan daya 250 watt per pompa, maka kebutuhan listrik total sebesar 12 kWh per hari atau 360 kWh per bulan, dengan biaya sekitar Rp. 528.220,8 per bulan. Dengan kebutuhan energi yang rendah, tanpa penambahan bahan kimia, dan tidak menghasilkan sludge B3, maka sistem anaerob-wetland ini menjadi opsi teknologi pengolahan yang sangat *feasible* dan ekonomis, terutama untuk aplikasi *full-scale* dalam pengolahan air limbah industri dengan debit tinggi.

KESIMPULAN

Unit *Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor* (UASBr) yang diaplikasikan secara *full-scale* untuk pengolahan air limbah industri garmen menunjukkan efisiensi pengolahan yang tinggi, dengan penyisihan BOD, COD, dan TSS masing-masing mencapai 94%, 80%, dan 94%. Unit UASBr terutama memiliki kontribusi utama dalam menurunkan konsentrasi padatan tersuspensi yang menjadi parameter utama yang mempengaruhi kinerja dari unit wetland dan membantu mencegah *clogging*. Unit UASBr bekerja pada HRT 28 jam dan menurunkan 94% TSS dari air limbah influen sehingga SLR TSS di unit wetland hanya mencapai 2,84 g/m² hari dan tidak terjadi *clogging* pada unit wetland. Dengan penerapan proses anaerob sebagai *pretreatment*, unit wetland dapat

menghasilkan kinerja yang maksimal dimana penurunan parameter BOD, COD, dan TSS masing-masing mencapai 74%, 70%, dan 80%.

Integrasi UASBr dan wetland secara keseluruhan mencapai kinerja yang maksimal dengan penurunan BOD, COD, dan TSS masing-masing sebesar 98%, 93%, dan 99%. Selain itu, kualitas efluen yang dihasilkan juga mampu memenuhi baku mutu yang disyaratkan oleh pemerintah. Ditinjau dari aspek operasional, integrasi sistem anaerob-wetland memiliki keunggulan yaitu operasional yang sederhana dan mudah, hemat energi serta biaya operasional yang relatif lebih murah. Sistem anaerob-wetland hanya membutuhkan utilitas 2 pompa dengan daya maksimal 250 watt, sehingga konsumsi listrik total sebesar 12 kWh per hari atau 360 kWh per bulan, dengan biaya sekitar Rp 528.220,8 per bulan. Selain itu, kebutuhan energi juga lebih rendah dan tidak menghasilkan limbah padat B3. Oleh karena itu, sistem ini sangat *feasible* untuk diaplikasikan secara *full-scale* untuk pengolahan air limbah industri, baik dengan beban tinggi maupun rendah.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi performa integrasi sistem anaerob-wetland, terutama dalam hal efisiensi penurunan parameter utama dan pencegahan *clogging* pada unit wetland. Dengan mengevaluasi kinerja kedua unit tersebut, tindakan preventif dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya *clogging* pada unit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terselenggara dengan dukungan dari Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI), Laboratorium air dan air limbah BBTPPI, serta Laboratorium litbang BBTPPI.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayaz, S.Ç., Aktaş, Ö., Akça, L., Findik, N., 2015. Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. *J. Environ. Manage.* 156, 115–20. doi:10.1016/j.jenvman.2015.03.042
- Bard, A.J., Faulkner, L.R., 2001. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, Analytica Chimica Acta. doi:10.1016/j.aca.2010.06.020
- Birgani, P.M., Ranjbar, N., Abdullah, R.C., Wong,

- K.T., Lee, G., Ibrahim, S., Park, C., Yoon, Y., Jang, M., 2016. An efficient and economical treatment for batik textile wastewater containing high levels of silicate and organic pollutants using a sequential process of acidification, magnesium oxide, and palm shell-based activated carbon application. *J. Environ. Manage.* 184, 229–239. doi:10.1016/j.jenvman.2016.09.066
- Caselles-Osorio, A., Puigagut, J., Segú, E., Vaello, N., Granés, F., García, D., García, J., 2007. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. *Water Res.* doi:10.1016/j.watres.2006.12.019
- Chen, X., Shen, Z., Zhu, X., Fan, Y., Wang, W., 2005. Advanced treatment of textile wastewater for reuse using electrochemical oxidation and membrane filtration 31, 127–132. doi:10.4314/wsa.v31i1.5129
- Chou, H.-H., Huang, J.-S., Jheng, J.-H., Ohara, R., 2008. Influencing effect of intra-granule mass transfer in expanded granular sludge-bed reactors treating an inhibitory substrate. *Bioresour. Technol.* 99, 3403–3410. doi:10.1016/J.BIORTECH.2007.08.011
- De la Varga, D., Díaz, M.A., Ruiz, I., Soto, M., 2013. Avoiding clogging in constructed wetlands by using anaerobic digesters as pre-treatment. *Ecol. Eng.* 52, 262–269. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.11.005
- Fink, D.F., Mitsch, W.J., 2004. Seasonal and storm event nutrient removal by a created wetland in an agricultural watershed. *Ecol. Eng.* doi:10.1016/j.ecoleng.2004.11.004
- Habets, L.H.A., Engelaar, A.J.H.H., Groeneveld, N., 1997. Anaerobic treatment of inuline effluent in an internal circulation reactor, in: *Water Science and Technology.* doi:10.1016/S0273-1223(97)00203-5
- Jianlong, W., Ning, Y., 2004. Partial nitrification under limited dissolved oxygen conditions. *Process Biochem.* 39, 1223–1229. doi:10.1016/S0032-9592(03)00249-8
- Liu, M., Li, J., Guo, Z., 2016. Polyaniline coated membranes for effective separation of oil-in-water emulsions. *J. Colloid Interface Sci.* 467, 261–270. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.01.024
- Lu, S., Pei, L., Bai, X., 2015. Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland. *Int. J. Hydrogen Energy* 40, 11207–11214. doi:10.1016/j.ijhydene.2015.05.165
- Ma, X.J., Xia, H.L., 2009. Treatment of water-based printing ink wastewater by Fenton process combined with coagulation. *J. Hazard. Mater.* 162, 386–390. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.05.068
- Malik, R.A., Vistanty, H., Sartamtomo, Setianingsih, N.I., Crisnaningtyas, F., Zen, N., 2016. Wastewater treatment of bakery industry using stripper-activated sludge system. *J. Ris. Teknol. Pencegah. Pencemaran Ind.* 7, 89–98.
- Moshiri, G.A., 1993. *Constructed wetlands for water quality improvement.* Lewis Publishers.
- Mukimin, Aris, Vistanty, H., Zen, N., Purwanto, A., Wicaksono, K.A., 2018. Performance of bioequalization-electrocatalytic integrated method for pollutants removal of hand-drawn batik wastewater. *J. Water Process Eng.* 21, 77–83. doi:10.1016/j.jwpe.2017.12.004
- Mukimin, A., Vistanty, H., Zen, N., Purwanto, A., Wicaksono, K.A., 2018. Performance of bioequalization-electrocatalytic integrated method for pollutants removal of hand-drawn batik wastewater. *J. Water Process Eng.* 21. doi:10.1016/j.jwpe.2017.12.004
- Mutumbo, D.T., 2004. Internal circulation reactor: pushing the limits of anaerobic industrial effluents treatment technologies. *Proc. 2004 Water Inst. South. Africa Bienn. Conf. Cape Town, South Africa.* 608–616.
- Nivala, J., Knowles, P., Dotro, G., García, J., Wallace, S., 2012. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management. *Water Res.* 46, 1625–1640. doi:10.1016/j.watres.2011.12.051
- Rashidi, H.R., Sulaiman, N.M.N., Hashim, N. a, 2012. Batik Industry Synthetic Wastewater Treatment Using Nanofiltration Membrane. *Procedia Eng.* 44, 2010–2012. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.025
- Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. (Eds.), 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.* American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Seghezzi, L., Zeeman, G., Liel, J.B. Van, Hamelers, H.V.M., Lettinga, G., 1998. a Review: the Anaerobic Treatment of Sewage in Uasb and

Egsh Reactors. *Bioresour. Technol.* 65, 175–190.

Sun, D., Duan, X., Li, W., Zhou, D., 1998. Demulsification of water-in-oil emulsion by using porous glass membrane. *J. Memb. Sci.* 146, 65–72. doi:10.1016/S0376-7388(98)00096-9

Vistanty, H., Malik, R.A., 2019. Enhanced Performance of Multi-Stage Anaerobic Digestion of Tofu Wastewater: Role of Recirculation. *J. Ris. Teknol. Pencegah. Pencemaran Ind.* 10, 29–37.

Vistanty, H., Mukimin, A., Handayani, I., 2015. Pengolahan air limbah industri karton box dengan metode integrasi upflow anaerobic sludge bed reactor (UASB) dan elektrokoagulasi-flotasi. *J. Ris. Teknol. Pencegah. pencemaran Ind.* 6, 1–8.

Wang, J., Xu, W., Yan, J., Yu, J., 2014. Study on the flow characteristics and the wastewater treatment performance in modified internal circulation reactor. *Chemosphere* 117, 631–637. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.09.088

Wendland, A., 2005. *Operation Costs of Wastewater Treatment Plants.* Ahrensburg, Germany.



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VI TAHUN 2019

"Tingkatkan Sains dalam Pembelajaran untuk Meningkatkan 30% Penghasilan Berbasis Hasil Riset/Injeksi & Eksistensi Industri di Berekonomi"

Semarang, 23 Agustus 2019