

**PENGARUH ORGANISME PERIFITON DALAM
MEMPERBAIKI KUALITAS AIR PADA LAHAN BASAH BUATAN
SISTEM ALIRAN AIR PERMUKAAN BEBAS**

***THE INFLUENCE OF PERIPHYTON ORGANISMS TO RECOVERY
OF WATER QUALITY ON CONSTRUCTED WETLAND
WITH FREE WATER SURFACE SYSTEM***

Syamsul Bahri ¹⁾ Iga Maliga ²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Jalan Ir. H. Juanda 193 Bandung

²⁾ STIKES Griya Husada Sumbawa, Jalan Lingkar Kebayan, Sumbawa
e-mail: sy_albahri@yahoo.co.id

Diterima: Juni 2017; Direvisi: Agustus 2017; Disetujui: Maret 2018

ABSTRAK

Mekanisme utama penapisan kontaminan air pada lahan basah adalah aktivitas mikroorganisme. Salah satunya adalah perifiton yang hidup pada substrat terendam air. Oleh karena itu, diperlukan penelitian pengaruh perifiton dalam LBB, yang berperan dalam memperbaiki kualitas air. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi kualitas influen, komposisi alga perifiton, alga perifiton sebagai produsen primer, pengaruh faktor kecepatan aliran air permukaan, kualitas efluen, efektivitas dan efisiensi LBB. Penelitian LBB dilakukan pada bulan Januari 2017 di Bandung. Analisis kualitas air menggunakan SNI dan standar yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan air selokan sebagai influen LBB terkontaminasi air limbah domestik dan beberapa parameter melebihi kriteria kualitas kelas III. Ditemukan tiga kelas alga benthik perifiton (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta). Perifiton berperan dalam transfer oksigen ke kolom air. Faktor kecepatan air permukaan berkorelasi kuat terhadap penapisan nitrat ($r = 0,84$) dan sangat kuat terhadap total fosfat ($r = 0,90$). Kualitas efluen yang memenuhi kriteria kelas III hanya parameter total fosfat dan COD. Efektivitas pengolahan untuk BOD sebesar 6,6% - 38,3% dan COD 6,0% - 38%. Efisiensi pengolahan pada debit 0,01 L/s untuk amonium 3,4%; nitrat 39,2%; nitrogen organik 47,1%; fosfat total 53,6%; BOD 38,3%; COD 38%; deterjen 76,5%.

Kata Kunci: Lahan basah buatan, penapisan, perifiton, alga, efektivitas, efisiensi

ABSTRACT

The main removal mechanism of water contaminants in wetlands is microorganisms activities. One of them is a periphyton that lives on a submerged substratum. Therefore, a study of the influence of periphyton in constructed wetlands which is important in improving water quality. The research objectives were to identify of the quality of influent, the composition of algae, the periphyton algae as primary producer, the influence of free water surface velocity factor, the quality of effluent, effectivity and efficiency of constructed wetlands. The study was conducted in Bandung City on January 2017. The results show that influent of sewage is contaminated with domestic wastewater. In constructed wetlands found three classes of benthic algae as periphyton, namely Bacillariophyta, Chlorophyta, and Cyanophyta. Periphyton algae play an important role in the transfer of oxygen into water column. The free surface velocity factor was strongly correlated to the percent removal of nitrate ($r = 0.84$) and very strong to the percent removal of total phosphate ($r = 0.90$) by periphyton. The quality of effluent that qualified grade III were total phosphate and COD parameter only. Effectivity of treatment were 6,6% - 38,3% BOD, 6,0% - 38% COD. Efficiency of treatment on the water discharge 0,01 L/s were 4,4% ammonium; 39,2% nitrat; 47,1% organic nitrogen; 53,6% phosphate total; 38,3% BOD; 38% COD; 76,5% detergent.

Keywords: Constructed wetland, removal, periphyton, algae, effectivity, efficiency

PENDAHULUAN

Teknologi Lahan Basah Buatan (LBB) merupakan suatu teknologi hijau, diakui dan diterima sebagai suatu sistem kreatif, biaya murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan sistem pengolahan konvensional (Oladejo, *et al.*, 2015). Efisiensi dan potensi penerapan teknologi LBB dalam pengolahan air limbah telah dilaporkan beberapa dekade yang lalu (Mthembu *et al.*, 2013). Beberapa hasil penelitian telah memperlihatkan bahwa sistem lahan basah memenuhi efisiensi pengolahan yang tinggi terhadap senyawa nutrisi organik dan anorganik, jika dikelola secara tepat dan penggunaan secara efisien (Mthembu *et al.*, 2013). Mekanisme utama penapisan kontaminan dalam air pada lahan basah adalah adanya aktivitas mikroorganisme (Zhang, Rengel, and Meney, 2007). Salah satu mikroorganisme yang berperan penting dalam lahan basah buatan adalah organisme perifiton (Dodds, 2003). Organisme perifiton adalah kelompok mikroorganisme yang hidup pada substrat terendam air (Abwao *et al.*, 2014).

Kelompok mikroorganisme perifiton terdiri dari alga, bakteri filamen, protozoa, dan mikroorganisme yang berenang bebas, seperti rotifera dan cladocera (Abwao *et al.*, 2014). Perifiton sebagai suatu kumpulan mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan bebas dari objek yang terendam air dan menutupinya berupa lendir (Azim *et al.*, 2002). Pada ekosistem perairan mikroorganisme perifiton menjadi suatu bagian besar dari alga benthik yang berperan sebagai produsen primer (Azim *et al.*, 2002). Sebelumnya, terdapat suatu asumsi bahwa komunitas fitoplankton adalah organisme paling penting terkait istilah fiksasi energi dan sumber bahan bakar dalam siklus makanan. Akan tetapi hasil penelitian menunjukkan bahwa organisme makrofit dan perifiton adalah signifikan dan sering menjadi kontributor dominan terhadap produksi primer ekosistem perairan (Uddin, 2007). Di samping itu, perifiton juga berperan dalam memurnikan air dalam suatu sistem kultur melalui penyerapan senyawa nutrisi dalam air (Abwao *et al.*, 2014).

Dengan memperhatikan uraian tersebut, diperlukan penelitian tentang pengaruh mikroorganisme perifiton dalam LBB, baik sebagai organisme produsen primer perairan, maupun perannya dalam memperbaiki kualitas air. Penelitian ini dilakukan pada prototip teknologi LBB sistem aliran permukaan bebas di perkantoran Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung. Prototip teknologi LBB tersebut dimanfaatkan sebagai unit percontohan

aplikasi teknologi dalam mengolah dan memperbaiki kualitas air yang tercemar oleh air limbah domestik. Adapun tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kualitas air input ke LBB, komposisi alga sebagai mikroorganisme perifiton dalam LBB, alga perifiton sebagai produsen primer, pengaruh faktor kecepatan aliran air permukaan bebas terhadap peran mikroorganisme perifiton dalam menapis senyawa nitrogen dan fosfor pada LBB, kualitas efluen, efektivitas LBB dalam memperbaiki kualitas air, dan efisiensi LBB dalam memperbaiki kualitas air.

TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi LBB aliran air permukaan bebas

Teknologi LBB sistem aliran air permukaan bebas didefinisikan sebagai sistem LBB di mana permukaan air terpengaruh oleh atmosfer (US-EPA, 2000). Pada umumnya lahan basah alami, seperti *bogs* (*primary vegetation mosses*), *swamps* (*primary vegetation trees*), dan *marshes* (*primary vegetation grasses and emergent macrophytes*) sistem aliran airnya adalah sistem aliran air permukaan (US-EPA, 2000). Dari hasil pengamatan terhadap lahan basah alami, ternyata hal tersebut mengantarkan kepada pengembangan teknologi LBB khususnya proses terkait aspek kualitas air dan habitatnya dalam suatu ekosistem buatan (US-EPA, 2000). Pada umumnya, LBB sistem air permukaan bebas didesain untuk pengolahan air limbah adalah berupa *marshes*. Dengan sistem aliran air permukaan, air mengalir di permukaan tanah yang ditumbuhi oleh tumbuhan dari suatu titik inlet ke titik outlet (US-EPA, 2000). Pada lahan basah tersebut terjadi berbagai proses yang terlibat dalam penapisan bahan pencemar dalam air limbah. Proses-proses utama yang terjadi di antaranya pengendapan, presipitasi, penyerapan nutrisi oleh tanaman (makrofit dan mikrofit), pertukaran kation, fotodegradasi, fitoakumulasi, biodegradasi, aktivitas mikroba (Sheoran, 2015).

Peran Perifiton dalam LBB

Organisme perifiton dan fitoplankton dalam ekosistem perairan merupakan kelompok produsen utama pembentuk material organik, karena terlibat pada fiksasi karbon dan penyerapan senyawa nutrisi esensial nitrogen dan fosfor (Sun *et al.*, 2011). Organisme perifiton keberadaannya melekat pada substrat dan membentuk biofilm (Dos Santos, Ferragut, and Bicudo, 2013). Oleh karena itu, organisme ini dapat digunakan sebagai indikator biologi untuk mengevaluasi kualitas air melalui perubahan dalam biomas atau komposisi jenisnya (Ghosh, and Gaur, 1998). Jika pertumbuhan dan akumulasi

mikroorganisme perifiton cukup tinggi di sungai atau saluran air, hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan air, konsentrasi nutrisi, intensitas cahaya, keberadaan substrat, dan suhu air (Horner *et al.*, 1990).

Hubungan kecepatan aliran air dan perifiton dalam LBB

Seperti diinformasikan sebelumnya, di antara faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan dan akumulasi perifiton dalam lahan basah adalah faktor kecepatan air. Faktor tersebut merupakan faktor penting yang menentukan distribusi ekologi dalam ekosistem perairan (Horner, *et al.* 1990). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, jika kecepatan air permukaan sebesar 5 cm/s, maka biomas perifiton yang teramati cukup besar, sebaliknya jika kecepatan air sebesar 30 cm/s, maka biomas perifiton yang teramati lebih sedikit. Dengan demikian kisaran kecepatan air permukaan optimal adalah antara 5,5 - 14 cm/s. Jika nilai kecepatan air di atas nilai tersebut, maka dapat menyebabkan reduksi pertumbuhan biomas. Di samping juga terjadi kerusakan fisik dan perpindahan tempat dari kelompok perifiton (Ahn *et al.*, 2013).

Efektivitas dan efisiensi pengolahan menggunakan LBB sistem aliran permukaan bebas (SAPB)

Efektivitas pengolahan limbah cair dengan teknologi LBB ditentukan di antaranya oleh sistem aliran air. Sistem aliran air dalam LBB dibagi atas sistem aliran permukaan bebas (SAPB) dan sistem aliran bawah permukaan (SABP). LBB-SABP lebih efisien lebih efisien dibandingkan LBB-SAPB. SAPB lebih tinggi dalam mereduksi bahan organik dan zat padat tersuspensi (Vymazal, 2005). SABP lebih efektif untuk menurunkan parameter BOD, nitrat dan organisme patogen (Kadlec, 2009). Namun demikian, rekomendasi dari Wu *et al.* (2015) untuk desain dan operasi LBB-SAPB terhadap parameter luas lahan adalah > 2500 m² dengan rasio panjang:lebar adalah antara 3:1 - 5:1.

Efisiensi pengolahan dalam teknologi lahan basah tergantung dari faktor-faktor sebagai berikut, yaitu waktu tinggal, temperatur, kedalaman, distribusi vegetasi, cahaya, efisiensi hidrolis (Bendoricchio, Cin, and Persson, 2000), konsentrasi polutan influen (Bendoricchio, Cin, and Persson, 2000; Vergeles *et al.*, 2015), desain lahan basah, pemeliharaan pengolahan, dan kondisi operasional sistem pengolahan (Vergeles *et al.*, 2015).

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada unit prototip LBB di areal perkantoran Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung (Gambar 1). Prototip tersebut mempunyai dimensi panjang 8 m, lebar 2 m, kedalaman 1 m yang terdiri dari empat kolam (dimensi masing-masing 2 x 2 x 1 m³) yang saling berhubungan. Ketebalan tanah sebagai substrat tanaman air adalah 60 cm. Masing-masing kolam ditanami satu jenis tanaman air *emergent* (muncul ke permukaan air), yaitu *Typha angustifolia*, *Cyperus prolifera*, *Pontederia cordata*, *Eleocharis dulcis*. Usia tanaman air tersebut adalah tiga bulan setelah penanaman. Sumber air yang mengalir ke prototip adalah air selokan sekitar perkantoran yang telah tercemar air limbah domestik. Waktu penelitian ini dilaksanakan pada musim hujan di bulan Januari 2017.

Desain Penelitian

Pada penelitian ini, sistem aliran air prototip LBB menggunakan adalah sistem aliran air permukaan bebas (US-EPA, 2000). Dengan sistem aliran air permukaan tersebut, salah satu faktor yang mempengaruhi biomas mikroorganisme perifiton adalah faktor kecepatan aliran air (Ahn *et al.*, 2013). Pada penelitian ini variasi kecepatan air permukaan (*v*) yang digunakan adalah 1,3 cm/s, 1,8 cm/s, dan 2,4 cm/s. Pengambilan contoh air dan mikroorganisme perifiton dilakukan pada tiap kolam LBB.



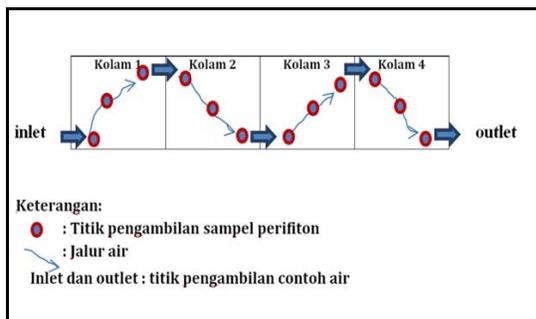
Sumber : Foto (2017)

Gambar 1 Prototip LBB sistem aliran permukaan bebas, dimensi dan arah aliran air

Metode Pengambilan Sampel Perifiton

Substrat tanah diambil dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm³ di tiga titik pada tiap kolam (Gambar 2). Contoh substrat dari tiga titik untuk tiap kolam disaring menggunakan jaring plankton hingga

diperoleh substrat berair pekat sebanyak 10 ml. Substrat berair ini kemudian ditetesi larutan *iodine* sebanyak dua tetes. Larutan *iodine* berfungsi untuk pengawet perifiton (Thronsdens, 1978). Penggunaan *iodine* menyebabkan mikroorganism perifiton terlihat berwarna kuning keabu-abuan, sehingga mudah diamati selama penghitung (Thronsdens, 1978).



Gambar 2 Lokasi pengambilan contoh air dan mikroorganism perifiton

Parameter perifiton yang dianalisis

1 Identifikasi Perifiton

Identifikasi perifiton menggunakan buku karya Biggs dan Kilroy (2000). Identifikasi ini menggunakan bantuan mikroskop binokuler dan microcam yang dilakukan di Laboratorium Riset Lingkungan, Fakultas Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), Bandung. Sampel air ditetaskan di atas kaca objek lalu diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40 X, 100 X, dan 400 X.

2 Perhitungan kelimpahan

Mikroorganism perifiton yang teridentifikasi dilanjutkan dengan menghitung kelimpahannya menggunakan rumus sebagai berikut (APHA-AWWA-WEF, 2012) :

$$K = (N \times At \times Vt) / (Ac \times Vs \times As) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- K = Kelimpahan Perifiton
- N = Jumlah Perifiton yang diamati
- As = luas substrat yang diambil (5 x 5 cm²)
- At = Luas permukaan *coverglass* (3,24 cm²)
- Ac = Luas amatan (3,24 cm²)
- Vt = Volume botol sampel (10 mL)
- Vs = Volume yang diamati (2 mL)

Perhitungan efisiensi pengolahan

Efisiensi penapisan kontaminan pada penelitian lahan basah dihitung menggunakan persen reduksi yang mengacu ke penurunan konsentrasi antara

inlet dan outlet menggunakan rumus sebagai berikut (Song *et al.*, 2006) :

$$\Delta C_i (\%) = (1 - (C_{i-in} / C_{i-out}) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: ΔC_i adalah persen reduksi parameter *i*, C_{i-in} adalah konsentrasi inlet parameter *i*, C_{i-out} adalah konsentrasi outlet parameter *i*. Menurut rumus di atas, kategori efisiensi rendah jika nilainya < 50%; medium nilainya antara 50% dan 80% dan tinggi nilainya > 80%.

Parameter kualitas air yang dianalisis

Analisis kualitas air menggunakan dua pendekatan, yaitu Penilaian peruntukan air berdasarkan kriteria kualitas air kelas III menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001, dan Parameter kualitas air utama yang diperhatikan dalam air limbah domestik atau sumber air yang terkontaminasi air limbah domestik adalah kadar senyawa bahan organik (BOD, COD), senyawa nutrisi anorganik (amonium, nitrat, fosfat total), dan senyawa nitrogen organik.

Metode pengujian residu tersuspensi menggunakan metode Nomor 2540-D-2012 (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengujian parameter amonium menggunakan SNI 06-2479-1991. Metode pengujian deterjen menggunakan metode Nomor 5540-C-2012 (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengujian parameter fosfat total menggunakan metode Nomor 4500-P (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengujian parameter nitrat menggunakan SNI 06-2480-1991. Metode pengujian parameter nitrit menggunakan SNI 06-6989.9-2004. Metode pengujian parameter nitrogen organik menggunakan SNI 06-2478-1991. Metode pengujian parameter oksigen terlarut menggunakan metode Nomor 4500-OC (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengukuran parameter pH menggunakan SNI 06-6989.11-2004. Metode pengujian parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) menggunakan metode Nomor 5210-B (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengujian parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) menggunakan SNI 06-6989.2-2009. Metode pengujian parameter minyak dan lemak menggunakan metode Nomor 5520-B (APHA-AWWA-WEF, 2012). Metode pengujian parameter total kolid menggunakan metode Nomor 9222-B (APHA-AWWA-WEF, 2012).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air influen ke LBB

Sumber air yang menjadi influen ke prototip LBB berasal dari air selokan sekitar prototip yang

telah terkontaminasi dengan air limbah domestik. Akan tetapi sebelum air selokan tersebut masuk ke prototip LBB terlebih dahulu diolah dalam unit proses *anaerobic upflow filter* (AUF) untuk menurunkan konsentrasi bahan organik dalam air tersebut (Gambar 3). Selanjutnya, air dari efluen AUF menjadi sumber air influen ke prototip LBB. Untuk mengetahui kondisi kualitas air influen ke prototip tersebut, dilakukan pengambilan contoh air pada tiga waktu pengamatan. Berdasarkan hasil pengukuran contoh air tersebut, ternyata parameter deterjen, BOD, COD, fosfat total, minyak dan lemak serta total koli melebihi kriteria kualitas air kelas III (Peraturan Pemerintah no. 82 tahun 2001) (Tabel 1). Kriteria kualitas air kelas III menurut peraturan tersebut adalah kriteria kualitas air yang peruntukannya dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, mengairi tanaman.



Sumber : Foto (2017)

Gambar 3 Prototip AUF sebagai unit pengolahan air limbah tahap pertama

Dengan memperhatikan karakteristik kualitas air influen ke prototip LBB (Tabel 1), dapat dipastikan bahwa sumber airnya telah terkontaminasi air limbah domestik. Hal ini ditandai dengan kadar parameter deterjen, BOD, COD, nitrogen organik, fosfat total, minyak dan lemak serta total E-koli yang cukup menonjol. Oleh karena itu, kualitas airnya perlu ditingkatkan dengan diolah dalam suatu instalasi pengolahan yang sesuai, di antaranya adalah aplikasi teknologi LBB (Gambar 1). Dengan penerapan unit teknologi LBB, diharapkan parameter kunci seperti senyawa organik, nitrogen organik, dan nutrisi nitrogen dan fosfor dapat diturunkan kadarnya.

Komposisi Alga Sebagai Bagian Mikroorganisme Perifiton dalam LBB

Pada dasarnya LBB didesain mengikuti proses yang terjadi secara alami dengan tujuan utamanya adalah menapis kontaminan atau zat pencemar dari air limbah (Aremu, Ojoawo, and Alade, 2012). LBB juga merupakan suatu sistem terintegrasi yang terdiri dari komponen air, tumbuhan, mikroorganisme dan lingkungan yang mampu memperbaiki kualitas air (Oladejo, *et al.*, 2015). Dengan demikian peran LBB dalam memperbaiki kualitas air merupakan perpaduan antara komponen abiotik dan biotik (Bhat, Wanganeo, and Raina, 2015).

Tabel 1 Kualitas air selokan yang terkontaminasi air limbah domestik sebagai influen ke prototip LBB

No	Parameter	satuan	Waktu pengamatan			Rata-rata	Kriteria kualitas air kelas III, PP 82 tahun 2001
			1	2	3		
1	Residu tersuspensi	mg/L	9	8	42	19,7	400
2	Amonium (NH ₄ -N)	mg/L	14,8	7,5	7,43	9,91	-
3	Deterjen	mg/L	1,87	0,47	1,43	1,26	0,2
4	Fosfat total (PO ₄ -P)	mg/L	0,898	0,647	1,8	1,12	1
5	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	0,93	0,46	0,11	0,50	20
6	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	0,06	0,012	0,003	0,025	0,06
7	Nitrogen Organik	mg/L	1,32	0,816	1,12	1,09	-
8	Oksigen Terlarut	mg/L	0	1,57	2,2	1,26	4
9	pH	-	7,3	7,1	7,3	7,23	6 - 9
10	BOD	mg/L	30	16	19	21,67	6
11	COD	mg/L	75	38	31	48	60
12	Minyak dan lemak	mg/L	2	2	0,1	1,37	1
13	Total E-koli	Jml/100 mL	190.000	400.000	740.000	443.000	10.000

Keterangan :

- 1 = Pengambilan sampel tanggal 19 Januari 2017, pukul 09.00 WIB
- 2 = Pengambilan sampel tanggal 20 Januari 2017, pukul 09.20 WIB
- 3 = Pengambilan sampel tanggal 23 Januari 2017, pukul 10.03 WIB

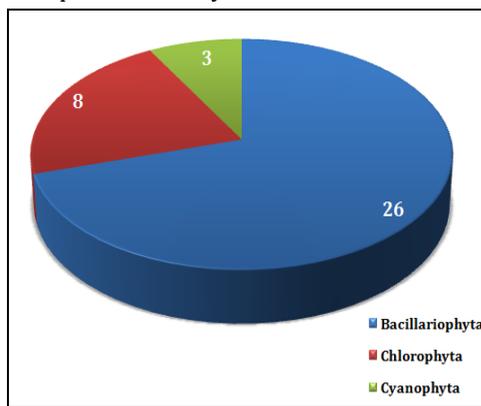
Komponen abiotik dalam LBB adalah air dan substrat tanaman air, sedangkan komponen biotik adalah tanaman air dan mikroflora (alga bentik dan planktonik), dan mikroorganisme lainnya. Kedua komponen biotik tersebut berperan dalam memurnikan air melalui penyerapan nutrisi dalam air (Abwao *et al.*, 2014). Mekanisme utama penapisan kontaminan air pada lahan basah adalah aktivitas-aktivitas mikroorganisme (Zhang, Rengel, and Meney, 2007).

Berdasarkan hasil penelitian terhadap komposisi alga bentik sebagai mikroorganisme perfiton di empat kolam LBB ditemukan empat kelas, yaitu *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, dan *Cyanophyta* dengan jumlah jenis alga sebanyak 37 genus (Gambar 4). Dari tiga kelas perfiton tersebut, kelas *Bacillariophyta* merupakan yang tertinggi jumlah jenisnya, yaitu 26 jenis (70%), sedangkan kelas *Cyanophyta* sebanyak 3 jenis (22%) dan kelas *Chlorophyta* sebanyak 8 jenis (22%) (Gambar 4). Kemudian, jenis alga perfiton kelas *Bacillariophyta* yang memiliki kelimpahan tertinggi adalah *Navicula* sp. dengan nilai rata-rata sebesar 81 individu per cm², sedangkan jenis yang lainnya berkisar antara 1 – 15 individu per cm² (Gambar 5). Pada lahan basah, jenis alga seperti *Navicula* sp. merupakan indikator pencemaran air akibat bahan organik yang tinggi, baik selama musim kering dan basah, seperti yang terjadi di Bhoj-India wetland (Bhat, Wanganeo, and Raina, 2015).

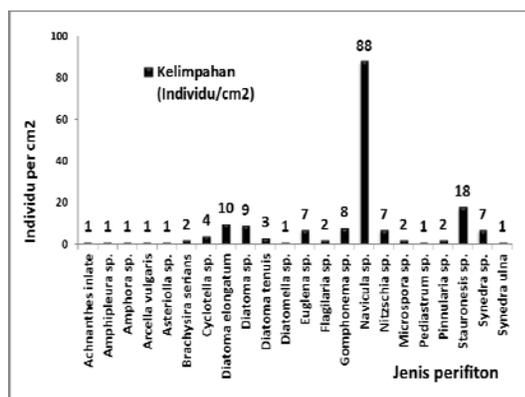
Seperti yang disajikan dalam Tabel 1 tentang kualitas air selokan yang masuk ke LBB (influen), kadar bahan organik (BOD) terukur kadarnya 21,67 mg/L atau 3,6 kali lebih besar dibandingkan dengan kriteria air kelas III. Karakteristik kualitas air tersebut sangat berkorelasi dengan komponen biologi perfiton *Navicula* sp. sebagai bioindikator pencemaran organik yang tumbuh subur dengan populasi yang dominan. Dengan demikian, benar adanya, bahwa bila terjadi perubahan kualitas air, baik parameter fisika maupun kimia, maka dapat terefleksikan langsung terhadap komunitas biotik dalam ekosistemnya (Bhat, Wanganeo, and Raina, 2015).

Di samping berperan dalam penapisan senyawa organik, nutrisi organik dan nutrisi anorganik, mikroorganisme perfiton pada sistem perairan berperan sebagai produsen primer (Campeau, Murkin, and Titman, 1994; Azim *et al.*, 2002). Salah satu proses yang terjadi pada kelompok organisme produsen primer adalah proses fotosintesis (autotrof). Alga termasuk kategori kelompok autotrof, yaitu kelompok mikroorganisme yang mampu menghasilkan makanannya sendiri berupa senyawa organik dengan menggunakan senyawa anorganik melalui

proses fotosintesis (APA, 2017). Proses fotosintesis yang dilakukan oleh alga pengaruhnya sangat kuat terhadap dinamika oksigen dalam kolom air (US-EPA, 2002). Dengan demikian, keberadaan organisme tersebut dalam LBB sangat berpengaruh terhadap kualitas airnya.



Gambar 4 Jumlah jenis alga bentik menurut kelas taksonomi dalam prototip LBB



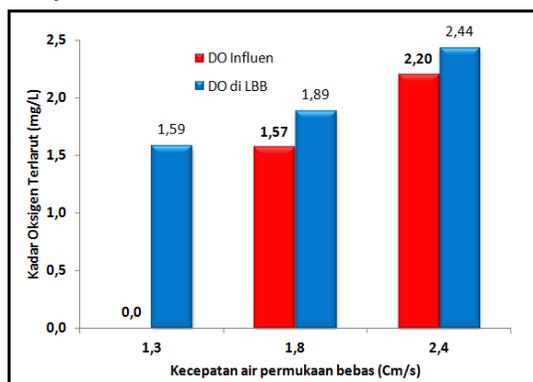
Gambar 5 Nilai Rata-rata Kelimpahan Jenis Alga Perfiton Kelas *Bacillariophyta* pada Prototip Teknologi LBB

Alga perfiton sebagai produsen primer

Dalam LBB ini, seperti yang telah diuraikan sebelumnya, bahwa hasil identifikasi dari komposisi alga bentik yang hidup ditemukan 37 jenis alga (Gambar 4). Jenis alga perfiton dalam kelas *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, dan *Cyanophyceae* merupakan kelompok alga autotrof yang tumbuh di dalam substrat LBB, karena memiliki pigmen fotosintetik, yaitu klorofil. Kelompok alga tersebut pada siang hari menghasilkan oksigen sebagai hasil dari proses fotosintesis. Jenis alga yang melakukan proses fotosintesis, di antaranya *Amphora* sp., *Asterionella*

sp., *Cyclotella* sp., *Cymbella* sp., *Meridion circulare*, *Diatoma* sp., *Diatoma elongatum*, *Fragilaria* sp., *Synedra* sp., *Diatoma tenuis*, *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Neidium iridis*, *Stauroneis* sp., *Diatomella* sp., *Euglena bivittata*, *Scenedesmus* sp., *Gomphonema* sp., *Gomphonema parvulum*, *Microspora* sp., *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp., *Nitzschia* sp., *Phormidium* sp., *Tabellaria flocculosa*.

Dengan komposisi alga yang didominasi oleh alga autotrof dan kelimpahannya mencapai 1 - 15 individu per cm² serta tertinggi mencapai 81 individu per cm² (Gambar 5), dugaan kuat bahwa kadar oksigen terlarut akan meningkat. Berdasarkan hasil pengukuran terhadap parameter oksigen terlarut di empat titik pengamatan (empat kolam) pada siang hari antara pukul 09.00 - 10.30 WIB, diperoleh nilai rata-rata peningkatan kadar oksigen antara 0,24 - 1,59 mg/L, di mana sebelumnya kadar di influen berkisar 0 - 2,2 mg/L (Gambar 6). Hasil penelitian lain menunjukkan kinerja prototipe LBB dengan sistem aliran air permukaan dapat meningkatkan rata-rata kadar oksigen terlarut influen dari 1,10 - 2,30 mg/L menjadi 3,3 - 5,7 mg/L di efluennya (Mustafa, 2013).



Gambar 6 Nilai Rata-rata Kadar Oksigen terlarut pada Prototip LBB Berdasarkan Tiga Variasi Kecepatan Air Permukaan

Dengan menelaah hasil penelitian tersebut, komponen mikroorganisme perifiton sangat berperan penting dalam transfer oksigen ke dalam ekosistem perairan. Adanya peningkatan kadar oksigen terlarut yang terjadi dalam prototip LBB, berkorelasi dengan menurunnya nilai kecepatan air permukaan. Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa di antara banyak faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan dan akumulasi biomass perifiton, kecepatan air menunjukkan suatu faktor penting yang menentukan ekosistem perairan (Biggs, Goring, and Nikora. 1998).

Pengaruh faktor kecepatan aliran air terhadap peran perifiton dalam menapis senyawa nitrogen dan fosfor dalam LBB

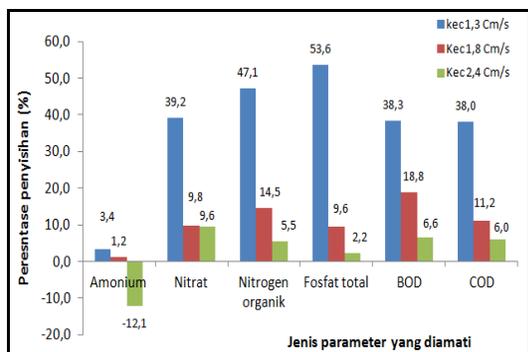
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa salah komponen biotik dalam LBB adalah mikroflora alga bentik yang berperan dalam memurnikan air melalui penyerapan nutrisi dalam air (Abwao *et al.*, 2014). Mekanisme utama penapisan kontaminan air pada lahan basah adalah aktivitas-aktivitas mikroorganisme (Zhang, Rengel, and Meney, 2007). Sebagai mikroflora dalam air, alga perifiton memainkan suatu peran yang penting dalam badan air, tidak hanya sebagai produsen primer penting (Liboriussen and Jeppesen. 2003) menyediakan suatu sumber energi bagi kelompok organisme trofik yang lebih tinggi (Hecky and Hesslein. 1995), tetapi juga mempengaruhi kondisi nutrisi (Saika, 2011), terutama golongan nitrogen (N) dan fosfor (P). Untuk melihat peran tersebut, berikut disajikan pembahasan berdasarkan senyawa nitrogen dan fosfor.

a. Penapisan senyawa golongan nitrogen

Sebagai mikroflora yang melekat pada substrat dalam ekosistem lentik, seperti lahan basah, alga termasuk kategori kelompok autotof, yaitu kelompok organisme yang mampu menghasilkan makanannya sendiri berupa senyawa organik dengan menggunakan senyawa anorganik melalui proses fotosintesis (APA, 2017). Mikroorganisme alga sebagai produsen primer yang paling dominan, bertanggung jawab dalam proses fiksasi karbon dan nutrisi utama, seperti golongan nitrogen dan fosfor (Vadeboncoeur, Lodge, and Carpenter, 2001). Organisme alga dapat mengasimilasi nitrogen dari berbagai jenis sumber N (Hill *et al.*, 2011). Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penapisan senyawa golongan nitrogen (amonium, nitrat dan nitrogen organik) yang diduga terkait adanya organisme perifiton, ternyata berbeda tiap variasi kecepatan air permukaan bebas (Gambar 7).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa LBB dengan empat macam tanaman air pada berbagai variasi kecepatan air permukaan, ternyata kadar parameter golongan nitrogen (amonium, nitrat), fosfor, dan bahan organik (BOD, COD) mengalami penurunan. Nilai persentase penapisan terhadap semua parameter tersebut cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya kecepatan air permukaan (Gambar 7). Sebagai kekecualian terjadi pada parameter amonium dengan variasi kecepatan air permukaan sebesar 2,4 cm/s, senyawa tersebut mengalami peningkatan kadarnya setelah melewati LBB. Hal ini diduga ada kaitannya dengan dua hal yang dapat terjadi, yaitu

1) angka laju penyerapan senyawa amonium oleh perifiton nilainya lebih kecil dibandingkan kecepatan aliran air sebesar 2,4 cm/s yang melewati habitat organisme tersebut. Hal tersebut menyebabkan kontak antara senyawa amonium dalam air dan perifiton menurun, 2) Kebutuhan nitrogen telah terpenuhi oleh senyawa nitrat, karena senyawa tersebut lebih disukai oleh perifiton. Kedua alasan tersebut dapat terjadi secara bersamaan.



Gambar 7 Persentase Penapisan Parameter Kesuburan Air dan Bahan Organik pada Berbagai Variasi Kecepatan air

Dugaan terjadinya seperti angka 1) di atas, didasarkan atas adanya kecenderungan penyerapan senyawa N dan P oleh mikroorganisme perifiton, dengan terjadinya peningkatan kecepatan aliran air berdampak dengan penurunan senyawa N dan P yang diserap (Gambar 7). Misalnya, parameter amonium pada kecepatan aliran air 1,3 cm/s, penapisan senyawa tersebut sebesar 3,4%, tetapi ketika kecepatan aliran air lebih besar menjadi 1,8 cm/s, penapisan senyawa yang sama mengalami penurunan menjadi 1,2%. Dengan adanya kenaikan kecepatan aliran air sebesar 0,5 cm/s menyebabkan penurunan persen penapisan senyawa amonium sebesar 2,2 % atau mengalami penurunan sebesar 64,7% dari nilai persen penapisan pada kecepatan aliran air 1,3 cm/s. Dengan demikian, jika kecepatan aliran airnya lebih besar lagi dari 1,8 cm/s, maka kontak senyawa amonium dengan perfiton akan berkurang atau perifiton tidak mampu melakukan penyerapan terhadap senyawa tersebut. Dengan demikian, bila diasumsikan nilai penyerapan atau persen penapisan itu linier dengan kecepatan aliran air permukaan dan mengikuti pola persen penapisan yang sama, maka kecepatan aliran air sebesar 2,4 cm/s menyebabkan proses penyerapan senyawa amonium dengan organisme perifiton tidak terjadi.

Di sisi lain proses penguraian senyawa nitrogen organik dan bahan organik (BOD, COD) oleh bakteri dalam air selama di lahan basah buatan terus berlangsung, diantaranya menghasilkan senyawa amonium (Gambar 7). Diduga kelompok mikroorganisme bakteri tersebut berperan dalam penapisan atau mineralisasi senyawa nitrogen organik, seperti protein, gula-gula amino, dan asam nukleat menjadi bentuk amonium (NH_4^+) (Paul and Clark, 1989). Senyawa nitrogen organik terhidrolisis melalui proses amonifikasi secara enzimatik. Secara alami proses hidrolisis enzimatik menjadi amonium yang dilakukan oleh mikroorganisme (Paul and Clark, 1989). Dengan demikian terjadi akumulasi senyawa amonium di outlet lahan basah buatan, seperti terlihat dari hasil pengamatan parameter tersebut pada kecepatan aliran air 2,4 cm/s (Gambar 7).

Pada umumnya semua makroflora dan mikroflora memerlukan senyawa nitrogen untuk mendukung pertumbuhannya, baik dalam bentuk senyawa nitrat maupun amonium (Paul and Clark, 1989). Seperti halnya organisme perifiton dari kelompok alga, sangat memerlukan senyawa nitrogen. Senyawa nitrat sebagai senyawa terlarut dalam air, mudah terlindi dan terbawa transpor air (Paul and Clark, 1989), ternyata memberi pengaruh positif terhadap pertumbuhan alga dan menjadi salah satu faktor pembatasnya (Fried, Mackie, and Nothwehr, 2003) serta menstimulasi pertumbuhan alga (Blair, Kokabian, and Gude, 2013). Hasil penelitian menunjukkan nilai persen penapisan senyawa nitrat tertinggi sebesar 39,2% (kadar sebelumnya 0,93 mg/L) diperlihatkan pada variasi kecepatan air sebesar $v = 1,3$ cm/s. Kemudian nilai persen penapisan tersebut mengalami penurunan dengan meningkatnya kecepatan air permukaan (Gambar 7). Berdasarkan uji statistik korelasi Spearman antara faktor kecepatan air permukaan dan nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat oleh organisme perifiton, menghasilkan nilai koefisien sebesar $r = -0,84$. Dengan memperhatikan nilai korelasi tersebut, dapat dinyatakan bahwa kekuatan pengaruh faktor kecepatan air permukaan terhadap penurunan nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat memiliki arti korelasi yang kuat (Fowler and Cohen, 1990). Dengan analisis tersebut, sekitar 71 % faktor kecepatan air permukaan tersebut diduga kuat telah mempengaruhi nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat oleh organism perifiton. Tanda negatif dari koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan air permukaan menyebabkan penurunan nilai

persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat oleh mikroorganisme perifiton.

b. Penapisan Senyawa Golongan Fosfor

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa organisme alga sebagai produser primer yang paling dominan, bertanggung jawab dalam proses fiksasi karbon dan nutrisi utama, seperti golongan nitrogen dan fosfor (Vadeboncoeur and Steinman, 2001). Terkait proses penapisan terhadap parameter kualitas air, nilai persentase penapisan tertinggi diperlihatkan oleh parameter fosfat total sebesar 53,6%; dibandingkan senyawa golongan nitrogen, seperti nitrogen organik 47,1%; nitrat 39,2%; dan amonium 3,4% pada variasi kecepatan air sebesar $v = 1,3$ cm/s (Gambar 7). Kemudian nilai persentase penapisan tersebut mengalami penurunan dengan bertambahnya kecepatan air. Pada kecepatan air sebesar $v = 1,8$ cm/s misalnya, persentase penapisan parameter fosfat total turun 44% menjadi 9,6%; nitrogen organik turun 32,6% menjadi 14,5%; nitrat turun 29,4% menjadi 9,8%; dan amonium turun 2,2% menjadi 1,2%. Dengan demikian, penapisan parameter dalam air limbah perkotaan sangat efektif dalam lahan basah dengan faktor waktu tinggal yang tepat, seperti senyawa organik, nitrogen, fosfor efektif dengan faktor waktu tinggal yang lebih lama dalam LBB (US-EPA, 2000).

Proses tersebut dapat terjadi dalam LBB sistem aliran air pada permukaan, dikarenakan faktor kecepatan aliran air akan sangat berpengaruh terhadap waktu tinggal air. Faktor waktu tinggal dalam LBB mempengaruhi kemampuan penyerapan atau penapisan bahan organik dan nutrisi oleh yaitu tumbuhan air dan mikroorganisme, terutama mikroorganisme perifiton (Dodds, 2003). Berdasarkan uji statistik korelasi Spearman antara faktor kecepatan air permukaan dan nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat oleh organisme perifiton, menghasilkan nilai koefisien sebesar $r = -0,90$. Dengan memperhatikan nilai korelasi tersebut, dapat dinyatakan bahwa kekuatan pengaruh faktor kecepatan air permukaan terhadap penurunan nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat memiliki arti korelasi yang kuat (Fowler and Cohen, 1990). Dengan analisis tersebut, sekitar 81 % faktor kecepatan air permukaan tersebut diduga kuat telah mempengaruhi nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa total fosfat oleh organisme perifiton. Tanda negatif dari koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan air permukaan menyebabkan penurunan nilai persen penapisan atau penyerapan senyawa nitrat oleh mikroorganisme perifiton.

Mikroorganisme perifiton dalam substrat terendam air sebagian besar merupakan kelompok mikroorganisme benthik dalam ekosistem perairan (Azim *et al.*, 2002). Kedua komponen tersebut sangat mempengaruhi proses yang terjadi dalam sistem LBB (Kadlec and Wallace, 2009). Kedua komponen tersebut menyerap nutrisi membentuk jaringan tumbuhan air dan alga hingga membentuk biomas (Zhang, Rengel, and Meney, 2007). Dengan demikian, faktor kecepatan air permukaan dapat mempengaruhi kemampuan dalam penapisan senyawa kesuburan air dan bahan organik. Hasil penelitian menunjukkan teknologi LBB sistem aliran permukaan, di samping konsentrasi nutrisi sebagai faktor pembatas pertumbuhan organisme perifiton, ternyata faktor lain yang mempengaruhi adalah faktor kecepatan air (Ahn *et al.*, 2013). Faktor pembatas pertumbuhan perifiton berpengaruh terhadap kemampuan perifiton dalam penyerapan atau penapisan bahan organik, nutrisi organik dan nutrisi anorganik. Dengan demikian bila kecepatan air dalam LBB sistem air permukaan bebas lebih besar dari $v = 1,3$ cm/s, maka diduga akan terjadi penurunan dalam penapisan bahan organik, nutrisi organik dan nutrisi anorganik.

Kualitas air efluen LBB

Seperti telah disampaikan sebelumnya, bahwa kualitas air influen ke LBB melebihi kriteria kualitas air kelas III (Peraturan Pemerintah no. 82 tahun 2001) berdasarkan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari parameter deterjen, BOD, COD, fosfat total (Tabel 2). Kemudian dengan adanya perlakuan variasi debit air ke LBB, ternyata kualitas efluen untuk parameter nutrisi (golongan N dan P) dan organik (BOD, COD, deterjen) mengalami penurunan terhadap nilai rata-rata dan nilai maksimum influennya. Walaupun, jika kualitas efluen tersebut dibandingkan dengan kriteria kualitas air kelas III, parameter yang memenuhi kriteria tersebut hanya fosfat total dan COD, baik pada variasi debit 0,01 L/s maupun 0,05 L/s dan 0,1 L/s (Tabel 2). Adapun terjadinya penurunan kadar parameter amonium, nitrat, dan fosfat dalam efluen LBB diduga berhubungan erat dengan pemenuhan kebutuhan N dan P, terutama organisme perifiton yang terpapar langsung dengan senyawa tersebut. Penurunan kadar parameter tersebut terjadi di tiga variasi debit dengan membandingkannya terhadap nilai rata-rata dan nilai maksimum influennya.

Adapun penurunan kadar parameter nitrogen organik, BOD, COD, dan deterjen diduga berhubungan dengan keberadaan mikroorganisme, seperti bakteri aerobik yang menguraikan senyawa organik tersebut. Dalam sistem pengolahan air

limbah, bakteri memainkan peran utama dalam konversi bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Stevik *et al.* 2004). Mikroorganisme bakteri bertanggung jawab dalam stabilisasi influen. Sebagian besar bakteri diketahui dalam bentuk partikel flok. Partikel flok tersebut merupakan kelompok bakteri yang menguraikan limbah. Juga berfungsi sebagai penyedia tempat di mana limbah diserap dan diuraikan. Bakteri berbentuk filamen dengan *trichom* atau filamennya menyediakan suatu *backbone* bagi partikel flok dari sisi ukurannya untuk menjadi besar dan menahannya saat proses pengolahan (Paillard *et al.*, 2005).

Efektivitas LBB sistem aliran permukaan bebas

Keefektifan LBB sistem aliran permukaan bebas dalam memperbaiki kualitas air akan terlihat dengan membandingkannya terhadap LBB sistem aliran bawah permukaan. Akan tetapi, mengingat penelitian ini fokus pada LBB sistem aliran permukaan, sebagai perbandingan efektivitas tersebut digunakan data hasil penelitian lain yang menggunakan LBB sistem aliran bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas pengolahan air limbah domestik berdasarkan parameter BOD dan COD, LBB sistem aliran bawah permukaan lebih tinggi dibandingkan sistem aliran permukaan (Tabel 3). Pada percobaan LBB sistem aliran bawah permukaan, efektivitas pengolahan terhadap parameter BOD mencapai 24,31% - 96,2% dan COD antara 0,37% - 94,0% (Evasari, 2012), sedangkan LBB sistem aliran permukaan parameter BOD 6,6% - 38,3% dan COD 6,0% - 38% (Gambar 7).

Akan tetapi, dari kedua sistem LBB tersebut terdapat dua faktor yang membedakan, yaitu kadar influen dan waktu tinggal. Kadar BOD dan COD influen ke LBB sistem air bawah permukaan adalah

116,74 - 945,75 mg BOD/L dan 323,83 - 1090,55 mg COD/L (Evasari, 2012). Kemudian, kadar BOD dan COD influen ke LBB sistem air permukaan adalah 16 - 30 mg BOD/L dan 31 - 75 mg COD/L (Tabel 2). Faktor lain yang membedakannya adalah waktu tinggal, pada percobaan LBB sistem aliran bawah permukaan menggunakan waktu tinggal 24 jam (Evasari, 2012), sedangkan pada penelitian ini waktu tinggalnya antara 6,58 menit - 12,1 menit (Tabel 2).

Tabel 3 Perbandingan efektivitas pengolahan limbah cair domestik antara LBB sistem aliran permukaan dan aliran bawah permukaan

Parameter	Efektivitas pengolahan (%)	
	Aliran permukaan	Aliran bawah permukaan
BOD	6,6 - 38,3	24,31 - 96,2
COD	6,0 - 38	0,37 - 94,0

Efisiensi LBB sistem aliran permukaan bebas

Seperti telah diuraikan sebelumnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa LBB sistem aliran permukaan pada berbagai variasi debit air dapat menurunkan parameter amonium, nitrat, nitrogen organik, fosfat, BOD, COD dan deterjen. Efisiensi pengolahan terhadap semua parameter tersebut cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya kecepatan air permukaan (Tabel 4). Kekecualian untuk parameter amonium dan nitrit, pada debit 0,1 L/s dan 0,05 L/s nilai efisiensinya negatif. Parameter amonium dengan debit 0,1 L/s, senyawa tersebut mengalami peningkatan, diduga penyerapan oleh perifiton lebih kecil dibandingkan debit aliran air atau kebutuhan nitrogen telah terpenuhi oleh senyawa nitrat. Kedua alasan tersebut dapat terjadi secara bersamaan.

Tabel 2 Kualitas air influen dan efluen dari lahan basah buatan

Parameter	Satuan	Kualitas influen			Kualitas efluen menurut debit (D), L/s			Kelas III *)
		Minimum	Maksiumum	Rata-rata	D= 0,01	D=0,05	D=0,1	
Amonium	mg/L	7,43	14,8	9,91	14,30	7,41	7,59	-
Nitrat	mg/L	0,11	0,93	0,5	0,565	0,42	0,12	-
Nitrit	mg/L	0,003	0,06	0,025	0,012	0,01	0,003	-
Nitrogen Organik	mg/L	0,816	1,32	1,09	0,699	0,70	1,15	-
Fosfat total	mg/L	0,647	1,8	1,12	0,42	0,59	0,60	1
BOD	mg/L	16	30	21,67	18,50	13,00	17,75	6
COD	mg/L	31	75	48	46,50	33,75	43,25	60
Deterjen	mg/L	0,47	1,87	1,26	0,44	0,36	1,25	0,2

Keterangan : *) : Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001
 - : tidak ada

Senyawa nitrit adalah senyawa transisi antara amonium dan nitrat dalam siklus nitrifikasi. Senyawa tersebut dihasilkan oleh bakteri *Nitrosomonas* sp yang merubah senyawa amonium menjadi nitrit pada proses oksidasi amonium. Kemudian senyawa nitrit dirubah menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter* sp. pada proses oksidasi nitrit (Pajares and Bohannon, 2016). Senyawa nitrit tidak dapat dimanfaatkan oleh mikroflora dan tumbuhan sebagai sumber nitrogen. Dengan demikian keberadaan senyawa nitrit sangat tergantung oleh bakteri nitrifikasi, yaitu *Nitrosomonas* sp dan *Nitrosobacter* sp.

Nilai efisiensi pengolahan tertinggi diperlihatkan pada debit 0,01 L/s terhadap parameter amonium, nitrat, nitrogen organik, fosfat, BOD, COD dan deterjen dengan nilai antara 3,4% - 76,5% (Tabel 4). Dengan demikian efisiensi pengolahan LBB sistem air permukaan terhadap air selokan yang tercemar air limbah domestik pada debit 0,01 L/s termasuk kategori rendah hingga sedang (Song *et al.*, 2006).

Tabel 4 Efisiensi (%) Pengolahan pada LBB sistem aliran permukaan di berbagai variasi debit

Parameter	Efisiensi (%) menurut debit (D), L/s		
	D= 0,01	D=0,05	D=0,1
Amonium	3,4	1,2	- 12,1
Nitrat	39,2	9,8	9,6
Nitrit	47,8	- 4,2	0
Nitrogen Organik	47,1	14,5	5,5
Fosfat total	53,6	9,6	2,2
BOD	38,3	18,8	6,6
COD	38	11,2	6,0
Deterjen	76,5	23,6	7,3

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan karakteristik kualitas air influen ke prototip LBB dapat dipastikan bahwa air selokan telah terkontaminasi air limbah domestik, yang ditandai dengan kadar parameter deterjen, BOD, COD, nitrogen organik, fosfat total, minyak dan lemak serta total koli yang cukup menonjol.

Ditemukan tiga kelas alga bentik sebagai mikroorganisme perifiton di empat kolam LBB, yaitu *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, dan *Cyanophyta*. Jumlah alga tertinggi 26 jenis dari *Bacillariophyta* dan nilai rata-rata kelimpahan tertinggi adalah *Navicula* sp. sebesar 81 individu per cm²,

Mikroorganisme perifiton sangat berperan penting dalam transfer oksigen ke dalam ekosistem perairan. Adanya peningkatan kadar oksigen terlarut yang terjadi dalam prototip LBB, berkorelasi dengan menurunnya nilai kecepatan air permukaan bebas.

Faktor kecepatan aliran air permukaan bebas pada LBB berkorelasi kuat ($r = 0,84$) terhadap nilai persen penapisan senyawa nitrat dan sangat kuat ($r = 0,90$) terhadap nilai persen penapisan senyawa total fosfat oleh mikroorganisme perifiton dengan kecepatan aliran air permukaan bebas tertinggi adalah 2,4 cm/s dan terendah 1,3 cm/s.

Kualitas efluen LBB sistem air permukaan dibandingkan dengan kriteria kualitas air kelas III, parameter yang memenuhinya hanya fosfat total (< 1 mg/L) dan COD (< 60 mg/L), baik pada variasi debit 0,01 L/s maupun 0,05 L/s dan 0,1 L/s.

Efektivitas pengolahan air limbah domestik menggunakan LBB aliran permukaan berdasarkan parameter BOD mencapai nilai 6,6% - 38,3% dan COD 6,0% - 38%.

Efisiensi LBB sistem aliran permukaan pada debit 0,01 L/s dapat menurunkan parameter amonium 3,4%; nitrat 39,2%; nitrogen organik 47,1%; fosfat total 53,6%; BOD 38,3%; COD 38% dan deterjen 76,5%. Dengan demikian efisiensi pengolahan LBB sistem air permukaan terhadap air selokan yang tercemar air limbah domestik pada debit 0,01 L/s termasuk kategori rendah hingga sedang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada mahasiswa Universitas Pendidikan Indonesia, Program Studi Biologi, Departemen Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, yaitu Sdr/i. Muhamad Taufiq Hidayah, Diah Frisda, Riyan Septianingrum, dan Fanny Azzahra yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abwao, J.O., P. N. Boera, J. M. Munguti, P. S. Orina, E. O. Ogello. 2014. The potential of periphyton based aquaculture for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) production: a review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 2014; 2(1): 147-152.

- Ahn, C.H., H.M. Song, S. Lee, J.H. Oh, H. Ahn, J.R. park, J.M. Lee, J.C. Joo. 2013. Effect of Water Velocity and Specific Surface Area on Filamentous Periphyton Biomass in an Artificial Stream Mesocosm. *Journal Water* (2013), 5. ISSN 2073-4441.
- American Psychological Association (APA). 2017. *The American Heritage Science Dictionary*. [www.dictionary.com/ browse/autotroph](http://www.dictionary.com/browse/autotroph).
- APHA-AWWA-WEF. 2012. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 22nd edition. E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri (editors), American Public Health Association 800 I Street, NW Washington, DC.
- Aremu, A.S., S.O. Ojoawo, G.A. Alade. 2012. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) culture in sewage: nutrient removal and potential applications of bye-products. *Transnational journal of science and technology*. vol. 2, No. 7, pp 103-114.
- Azim M.E., M.C.J. Verdegem, H. Khatoun H, M.A. Wahab, A.A. Van Dam, M.C.M. Beveridge. 2002. A comparison of fertilization, feeding and three periphyton substrates for increasing fish production in freshwater pond aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture*. 2002. 212: 227-243.
- Bendoricchio, G., L. D. Cin, J. Persson. 2000. Guidelines for free water surface etland design. *EcoSys Bd*. 8, 2000, 51-91.
- Bhat, N. A., A. Wanganeo, R. Raina. 2015. Variability in Water Quality and Phytoplankton Community during Dry and Wet Periods in the Tropical Wetland, Bhopal, India. *Journal Ecosystem and Ecography*. 2015, 5: 160. doi:10.4172/2157-7625.1000160.
- Biggs, B.J.F., C. Kirloy. 2000. *Stream Periphyton Monitoring Manual*. NIWA. Christchurch. New Zealand.
- Biggs, B.J.F., D.G. Goring, V.I. Nikora. 1998. Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in current velocity as a function of community growth form. *J. Phycol.* 1998, 34, 598-607.
- Blair, M.F., B. Kokabian, V. G. Gude. 2013. Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2013.11.005>.
- Campeau, S., H.R. Murkin, R. D. Titman. 1994. Relative importance of algae and emergent plant litter to freshwater marsh invertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 51, p. 681-692.
- Cooper, P.F., G. D. Job, M. B. Green, and R. B. E. Shutes. 1996. *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*. WRC Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- Dodds, W.K. 2003. The Role of Periphyton in Phosphorus Retention in Shallow Freshwater Aquatic Systems. *J. Phycol.* 39, 840-849 (2003).
- Dos Santos, T.R., C. Ferragut, C.E.M. Bicudo. 2013. Does macrophyte architecture influence periphyton? Relationships among *Utricularia foliosa*, periphyton assemblage structure and its nutrient (C, N, P) status. *Hydrobiologia* 2013, 714, 71-83.
- Evasari, J. 2012. Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* untuk Mengelola Limbah Cair Domestik : Studi Kasus Limbah Cair Kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia (Skripsi). Fakultas Teknik-Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia. Depok.
- Fowler, J., L. Cohen. 1990. *Practical Statistics for Field Biology*. John Wiley & Sons. Chichester - New York - Brisbane -Toronto-Singapore.
- Fried, S., B. Mackie, E. Nothwehr. 2003. Nitrate and phosphate levels positively affect the growth of algae species found in Perry Pond. © 2003 Grinnell College, *Tillers*, 4, 21-24.
- Ghosh, M., J.P. Gaur, 1998. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat. Bot.* 1998, 60, 1-10.
- Hecky, R.E., R.H. Hesslein. 1995. Contribution of Benthic Algal to Lake Food Webs as Revealed by Stable Isotope Analysis. *Journal of The North America Benthological Society*. 14. Pp.: 631-653.
- Hill, Y.S., C. L. Soo, T. S. Chuah, A. Mohd-Azmi, A. B. Abol-Munafi. 2011. Interactive Effect of Ammonia and Nitrate on the Nitrogen uptake by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Sustainability Science and Management*. Volume 6 Number 1, June 2011: 60-68.
- Horner, R.R., E.B. Welch, M.R. Seeley, J.M. Jacoby. 1990. Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshw. Biol.* 1990, 24, 215-232.
- Kadlec, R. H. and S. D. Wallace. 2009. *Treatment Wetlands*. 2nd edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300

- Kadlec, R. H. 2009. Comparison of Free Water and Horizontal Subsurface Treatment Wetlands. *Ecological engineering*, 35, 159 – 174.
- Liboriussen, L., E. Jeppesen. 2003. Temporal Dynamics In Epipelagic, Pelagic, And Epiphytic Algal Production In A Clear And Turbid Shallow Lake. *Journal of Freshwater Biology*. 48. Pp.: 418-431.
- Mthembu, M.S., C.A. Odinga, F.M. Swalaha, F. Bux. 2013. Constructed wetlands: A future alternative wastewater treatment technology. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 12 (29), pp. 4542-4553, 17 July, 2013. ISSN 1684-5315 ©2013 Academic Journals.
- Mustafa, A. 2013. Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse : A Case Study of Developing Country. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 4, No. 1, February 2013.
- Oladejo, O.S., O. M. Ojo, O. I. Akinpelu, O.A. Adeyemo, A. M. Adekunle. 2015. Wastewater Treatment Using Constructed Wetland With Water Lettuce (*Pistia Stratiotes*). *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*. Volume 3, Issue 2 (2015) ISSN 2320-4087 (Online).
- Paillard, D., V. Dubois, R. Thiebaut, F. Nathier, E. Hogland, P. Caumette and C. Quentine. 2005. Occurrence of *Listeria spp.* In effluents of French urban wastewater treatment plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(11):7562-7566.
- Pajares, S. and B. J. M. Bohannan. 2016. Ecology of Nitrogen Fixing, Nitrifying, and Denitrifying Microorganisms in Tropical Forest Soils. *Frontiers in Microbiology*. 05 July 2016 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01045>.
- Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Inc., Harcourt Brace Jovanovich. Publisher. San Diego-New York-Boston-London-Sydney-Tokyo-Toronto.
- Pemerintahan Republik Indonesia. 2001. *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001.
- Saika, S.J. 2011. Review on Periphyton as Mediator of Nutrient Transfer in Aquatic Ecosystems. *Ecologia Balkanica*. 2011, Vol 3, Issue 2, December 2011, pp. 65-78.
- Sheoran, A. 2015. Constructed wetlands as a sustainable solution for municipal wastewater. *International journal of applied engineering and technology*. 2015 vol. 5 (1) january-march, pp.69-77.
- Song, Z., Z. Zheng, J. Li, X. Sun, X. Han, W. Wang, M. Xu. 2006. Seasonal and Annual Performance of a Full Scale Constructed Wetland System for Sewage Treatment in China. *Ecol. Eng.* 26. 272-282.
- Stevik, T. K., K. Aa, G. Ausland, and J. F. Hanssen. 2004. Retention and Removal of Pathogenic Bacteria in Wastewater Percolating through Porous Media: A Review. *Water Research* 38:1355-67.
- Sun, C.C., Y. S. Wang, M.L. Wu, J.D. Dong, Y. T. Wang, F.L. Sun, Y.Y. Zhang. 2011. Seasonal variation of water quality and phytoplankton response patterns in Daya Bay, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8, 2951-2966.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton, H. D. Stensel. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*, 4th edition. Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Thronsdon, J. 1978. *Preparation and Storage in Phytoplankton Manual*. (Editor : A. Soumia). UNESCO. Paris.
- Uddin, M. S. 2007. *Mixed culture of tilapia (Oreochromis niloticus) and freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii) in periphyton-based ponds*. Ph.D Thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- US-EPA. 2000. *Wastewater Technology Fact Sheet Free Water Surface Wetlands*. Office of Water Washington, DC 20460 EPA-832-F-00-024. September 2000.
- US-EPA. 2002. *Methods for evaluating wetland condition #11 Using Algae To Assess Environmental Conditions in Wetlands*. Office of Water Washington, DC 20460 EPA-822-R-02-021 March 2002.
- Vadeboncoeur, Y., D.M. Lodge, S.R. Carpenter. 2001. Whole-lake Fertilization Effect on Distribution of Primary Production between Benthic and Pelagic Habitats. *Journal of Ecology*, 82, pp. 1065-1077.
- Vergeles, V., Y. Vystavna, A. Ishchenko, I. Rybalka, L. Marchand, F. Stolberg. 2015. Assessment of Treatment Efficiency of Constructed Wetlands in Est Ukraine. *Ecological Engineering*, 83 (2015), 159 – 168.

- Vymazal, J. 2005. Horizontal Subsurface Flow and Hybrid Constructed Wetland for Wastewater Treatment. *Ecological engineering*, 24, 478 - 490.
- Wu, H., J. Zhang, H. H. Ngo, W. Guo, Z. Hub, S. Liang, J. Fan, H. Liu. 2015. A Review on the Sustainability of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Design and Operation. *Bioresource Technology*, **175**, 594-601.
- Zhang, Z., Z. Rengel, K. Meney. 2007. Nutrient Removal From Simulated Wastewater Using *Canna indica* and *Schoenoplectus validus* in Mono-and Mixed-Culture in wetland Microcosms. *Journal of Water Air Soil Pollution*. 193. Pp.95-106.