



Pengembangan *Floating Constructed Wetland* Skala Laboratorium sebagai Reduktor Kandungan Kontaminan Limbah Domestik Badan Air Perkotaan

*Rian Mantasa Salve Prastica, Muhammad Sulaiman

Departemen Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^{*}rian.mantasa.s.p@ugm.ac.id

Received: 8 November 2019 Revised: 20 Februari 2021 Accepted: 26 Maret 2021

Abstract

*Low awareness of sanitation of urban citizens creates negative effects on the environment which varied. The triggering factors of the phenomenon are education and conservation technology. A conservation technology, eco-technology e.g. constructed wetlands, is proposed to solve the problem. Laboratory work is conducted to obtain comprehensive analysis about floating constructed wetland. The research paper aims to illustrate the efficiency performance of constructed wetlands, with domestic species, in the lab-scaled area from urban wastewater. The constructed wetland media is prepared horizontally. The analysis of its performance leads to a discussion of urban water quality. Samplings and laboratory tests are conducted to examine pH, phosphorus, nitrogen, suspended solids, conductivity, COD, and BOD. The benefit of *Nasturtium officinale* as FTW media reduce phosphate, nitrate, and BOD as 100% in 14 days. The discharge simulation during 14 days reduce TDS and TSS as 100%.*

Keywords: *Floating constructed wetlands, urban waters, domestic wastewater, water quality*

Abstrak

*Renderahnya kesadaran akan sanitasi warga kota menciptakan efek negatif terhadap lingkungan yang bervariasi. Faktor-faktor pemicu dari fenomena ini adalah pendidikan dan teknologi konservasi. Teknologi konservasi, eko-teknologi seperti lahan basah buatan, diusulkan untuk menyelesaikan masalah. Dalam melakukan analisis secara komprehensif terkait lahan basah buatan, pekerjaan laboratorium dilakukan. Makalah penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan kinerja efisiensi lahan basah yang dibangun dengan memanfaatkan spesies domestik, dalam skala laboratorium, dari air limbah perkotaan. Media lahan basah yang dibangun disiapkan secara horizontal. Analisis kinerjanya mengarah pada diskusi tentang kualitas air perkotaan. Pengambilan sampel dan uji laboratorium dilakukan untuk memeriksa pH, fosfat, nitrogen, padatan tersuspensi, konduktivitas, COD, dan BOD. Penggunaan *Nasturtium officinale* sebagai media FTW dapat mereduksi kandungan polutan fosfat, nitrat, dan BOD sebesar 100% dalam waktu 14 hari. Rekayasa masuknya debit secara konstan selama 14 hari menyebabkan kandungan polutan TDS dan TSS berkurang 100%.*

Kata kunci: *Lahan basah buatan, perairan kota, limbah domestik, kualitas air*

Pendahuluan

Pergerakan manusia dari tempat asal ke tempat lainnya yang menimbulkan efek urbanisasi dan berkaitan erat dengan meluasnya daerah kedap air (*impervious cover*) dan menghambat infiltrasi air hujan ke dalam tanah (Ladislas *et al.*, 2015). Air hujan dengan volume besar akhirnya menuju ke badan air dengan membawa zat pencemar yang terkandung di dalam tanah (Ladislas *et al.*, 2015; Schwammerger, *et al.*, 2017). Akhirnya

terbentuklah air tercemar. Selain pencemaran air hujan yang membawa *nutrients* seperti fosfat, nitrogen, dan zat tercemar lain bersamaan dengan terkikisnya tanah oleh air hujan (Chapra, 1997; Gong *et al.*, 2020), badan air juga mendapatkan tambahan beban pencemaran dari air limbah domestik (Langdon *et al.*, 2019). Badan air yang dimaksud bisa danau, embung, atau sungai. Air limbah domestik di badan air merupakan tantangan bagi berbagai pihak untuk mengatasinya. Banyaknya limbah yang terbuang di badan air akan

berdampak buruk pada keseimbangan lingkungan, baik dari segi kesehatan masyarakat, keindahan, dan fungsi hidrologinya (Prastica *et al.*, 2019). Dengan pertumbuhan penduduk yang bertambah cepat, meningkat pula produksi air limbah domestik (Yang *et al.*, 2021). Air limbah domestik biasanya berasal dari aktivitas memasak, dapur, kamar mandi, penggunaan toilet, dan laundry (Ma *et al.*, 2019).

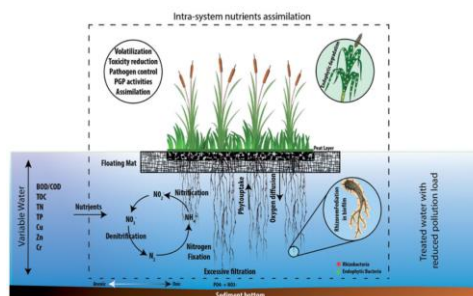
Permasalahan yang dapat disebabkan adanya air limbah domestik terhadap infrastruktur adalah tercemarnya air irigasi yang berdampak pada terhambatnya pertumbuhan tanaman palawija (Thebo *et al.*, 2017), tercemarnya badan air dan tanah, dan permasalahan lingkungan yang buruk (Han *et al.*, 2016). Keberadaan air limbah domestik yang masuk ke badan air seperti sistem irigasi, bendungan, dan embung menyebabkan degradasi kualitas air, rusaknya habitat akuatik, munculnya korosi pada bangunan air akibat beban pencemar, dan tingginya biaya pemeliharaan infrastruktur keairan agar fungsinya bisa dengan usia rencana (Prastica *et al.*, 2018).

Upaya penyadaran masyarakat mengenai pentingnya tidak membuang air limbah domestik ke badan air menjadi salah satu pekerjaan rumah yang belum selesai. Oleh karena itu, teknologi pengolahan limbah domestik terus dikembangkan diiringi dengan gerakan perbaikan kesadaran masyarakat. Keberadaan teknologi ini berguna untuk mengurangi kandungan limbah yang masuk ke badan air. Eksperimen eliminasi kandungan zat tercemar atau *nutrients* dalam badan air sudah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya, seperti pengurangan kandungan fosfat dan nitrogen pada limbah domestik menggunakan metode pengolahan secara fisiokimia (Ray *et al.*, 2014). Namun, beberapa penelitian menyebutkan bahwa pengembangan lahan basah buatan (*constructed wetland*) menjadi salah satu alternatif pengolahan kandungan limbah yang lebih ramah lingkungan dan mendukung sistem yang berkelanjutan (Grosshans *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020; Mosley & Fleming, 2010; Wu *et al.*, 2015).

Lahan basah buatan menjadi pengolahan yang direkomendasikan oleh beberapa penelitian yang telah dilakukan pada waktu sebelumnya dalam menangani limbah rumah tangga dengan bervariasi jumlah beban yang masuk ke badan air (Ávila *et al.*, 2016; Rozema *et al.*, 2016). Namun, pada penelitian tersebut, peneliti lebih banyak mengembangkan lahan basah buatan dengan pondasi tanah. Beberapa penelitian lain yang berhasil menguji kualitas lahan basah buatan dengan sistem pondasi berupa tanah mengungkap bahwa lahan basah tersebut mampu mengurangi kandungan limbah rumah tangga, limbah industri, limpasan air pertanian, dan limbah

leachate, secara efektif (Chen *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2014; Rozema *et al.*, 2016). Salah satu jenis lahan basah buatan yang sedang banyak dikembangkan adalah lahan basah buatan dalam sistem hidroponik atau lahan basah terapung (*floating treatment wetland* / FTW). Penelitian ini bertujuan untuk menguji FTW terhadap beban limbah domestik di badan air. Beban limbah domestik yang akan diuji ada beberapa jenis, yaitu pH, fosfat, nitrogen, TSS, TDS, konduktivitas/daya hantar listrik (DHL), dan BOD.

Secara prinsip, jenis FTW ini merupakan kombinasi interaksi antara tanaman, mikroorganisme, air, dan atmosfer dalam mengurangi kandungan kontaminan dalam badan air (Khandare *et al.*, 2013; Krämer, 2005). Mekanisme yang terjadi pada FTW ini adalah pengendapan padatan limbah, pengambilan kandungan kontaminan, pengeluaran enzim, dan aktivitas flokulasi (Yeh *et al.*, 2015). Mekanisme tersebut dapat digambarkan pada Gambar 1 (Rehman *et al.*, 2019). Istilah lain dari FTW adalah *constructed floating wetlands* (CFWs) atau lahan basah terapung buatan. Hasil-hasil penelitian menyatakan bahwa selain untuk perbaikan kualitas air, CFWs memiliki fungsi di beberapa aspek seperti memperbaiki habitat unggas perairan (Burgess & Hirons, 1992; Kerr-Upal *et al.*, 2000).



Gambar 1. Tiga struktural dasar dan sistem proses di FTW dalam remediasi limbah (Rehman *et al.*, 2019)

Manfaat lain pengolahan limbah dari saluran pembuangan adalah (Headley & Tanner, 2012; Ijaz *et al.*, 2015; Van *et al.*, 2010), memperbaiki kondisi pertanian (Hubbard *et al.*, 2004; Stewart *et al.*, 2008; Todd *et al.*, 2003), pengembangan kualitas air di daerah tambang (Headley & Tanner, 2008), dan mengurangi populasi ganggang yang mengganggu perairan (Li *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2015). Berdasarkan kajian-kajian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *prototype* CFWs skala laboratorium karena perkembangannya tidak signifikan di daerah perkotaan di Indonesia untuk mereduksi pencemaran air limbah domestik dan memperbaiki kualitas air irigasi, embung, danau urban, atau badan air lainnya.

Tabel 1. Aplikasi FTW pada pengurangan kandungan kontaminan

Jenis vegetasi	Waktu (hari)	Pengurangan N (%)	Pengurangan P (%)	Pengurangan COD (%)	Pengurangan BOD (%)	Referensi
<i>Oenanthe javanica</i>	30	89	91	-	-	(Duan <i>et al.</i> , 2016)
<i>Phragmites australis</i> dan <i>Salvinia natans</i>	25	93	40	-	-	(Laabassi <i>et al.</i> , 2015)
<i>Canna sp.</i>	15	12	11	-	-	(Fang <i>et al.</i> , 2016)
<i>Vetiver</i>	32	-	-	92	86	(Phenrat <i>et al.</i> , 2017)
<i>Typha domingensis</i>	4	-	-	99	100	(Van <i>et al.</i> , 2015)

Metode

Fokus penelitian adalah pada obyek limbah domestik karena sampel air yang akan diuji berada di wilayah perkotaan. Tabel 1 menggambarkan jenis tanaman yang telah diujikan pada FTW untuk mengurangi kandungan kontaminan limbah domestik. Penelitian menggunakan jenis tanaman selada air atau *Nasturtium officinale*. Gambar 2 merupakan tanaman yang akan menjadi aktor FTW dalam skala laboratorium. Hal ini didasarkan pada sumber daya alam yang berada di wilayah studi kasus, yaitu badan air di perkotaan atau pemukiman warga, yaitu di Yogyakarta dan Indramayu. Berdasarkan analisis mengenai kondisi kesehatan daerah aliran sungai (DAS), kedua daerah tersebut memiliki karakter kondisi yang kurang baik, tetapi masih bisa direstorasi. Salah satu aspek yang akan diperbaiki adalah kualitas air yang buruk melalui pengembangan FTW.



Gambar 2. *Nasturtium officinale*

FTW dikembangkan melalui bak berukuran panjang, lebar, dan tinggi adalah 2 m x 1 m x 0,5 m kemudian diisi air sampai 75%. Tanaman disusun dalam pot-pot hidroponik dan diletakkan secara terapan di dalam bak. Gambar 3 menggambarkan ukuran bak yang digunakan.

Skenario yang dikembangkan dalam uji skala laboratorium ini adalah variasi kecepatan air yang terjadi secara *artificial* dan variasi beban/loading limbah yang dimasukkan ke badan air secara berkala yang ditentukan. Pengamatan ini dilakukan dalam

waktu 14 hari. Penentuan jumlah hari merupakan estimasi dari beberapa hasil durasi pemantauan eksperimen FTW skala laboratorium penelitian-penelitian sebelumnya yaitu 5 hari (Van *et al.*, 2015), 15 hari (Fang *et al.*, 2016), dan 25 hari (Laabassi *et al.*, 2015).



(a)



(b)

Gambar 3. Badan air skala laboratorium (a) tampak atas (b) tampak samping

Penelitian FTW ini memungkinkan untuk dilakukan variasi durasi hari untuk mendapatkan perbandingan hasil reduksi kontaminan beban tercemar pada badan air. Namun, pada penelitian ini tidak dilakukan. Hal ini dikarenakan adanya batasan penelitian aspek ruang dan waktu karena sistem pemodelan skala laboratorium. Selama 14 hari, masing-masing sampel melalui uji laboratorium dinilai kualitas air berdasarkan parameter TDS (*total dissolved solid*), TSS (*total suspended solid*), fosfat, nitrat, dan BOD (*biochemical oxygen demand*). Penentuan parameter ini dilakukan berdasarkan jenis air limbah domestik pada daerah perkotaan (Ávila *et al.*, 2016; Hamad, 2020; Kato *et al.*, 2007; P. F. Schwammberger *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2013)

dan kondisi daerah perkotaan yang akan menjadi target instalasi FTW. Sampel diambil pada hari ke-1, ke-3, ke-5, ke-7, ke-10, dan ke-14. Pengujian dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian TDS dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.27-2005 dan SNI 6989.27:2019, analisis TSS berdasar pada SNI 06-6989.3-2004, pengujian total fosfat menggunakan SNI 06-6989.31-2005, uji nitrat dianalisis menggunakan SNI 6989.79-2011, dan analisis BOD didasarkan pada SNI 6989.72-2009. Hasil pengujian didokumentasikan untuk dianalisis tren kualitas air dalam dua pekan pengujian.

Hasil dan Pembahasan

Aspek temporal reduksi polutan

Pada penelitian ini, kondisi batas yang diinginkan adalah *steady-state solutions*. Hal ini memungkinkan bila ingin menghasilkan prediksi kualitas air dengan variasi beban konstan pada waktu tertentu. Untuk menentukan trayektori secara benar, maka penelitian ini menggunakan rumus utama *mass-balance model* seperti Persamaan 1 sampai dengan 4 sebagai berikut (Chapra, 1997).

$$V \frac{dc}{dt} = W(t) - Qc - kVc - vA_s c \quad (1)$$

dimana

$$\frac{dc}{dt} = \frac{W(t)}{V} - \frac{Q}{V}c - kc - \frac{v}{H}c \quad (2)$$

$$\frac{dc}{dt} + \lambda c = \frac{W(t)}{V} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{Q}{V} + k + \frac{v}{H} \quad (4)$$

Dalam hal ini, λ disebut sebagai nilai *eigen* (*eigen value*). Bila ada beban masuk seperti debit yang besar ke dalam badan air, maka konsentrasi akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan nilai *eigen* kecil. Bila luas badan air konstan, maka bertambahnya kecepatan akan menyebabkan konsentrasi semakin berkurang. Hal ini akan dibuktikan dengan analisis skala laboratorium FTW. Berbeda dengan kondisi hidrolika badan air, analisis FTW menggunakan parameter biologis akan bisa terlihat dari persentase berkurangnya kandungan polutan. Dalam definisi hidrolika, adanya tanaman dalam sistem FTW membuat waktu tempuh kontaminan semakin lama dibandingkan tanpa tanaman, sehingga nilai *eigen* akan kecil. Hal ini mengakibatkan berkurangnya konsentrasi polutan pada sistem secara konsep hidrolika.

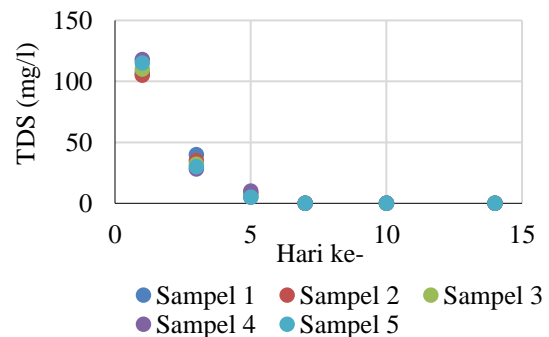
Hasil awal penelitian

Sebelum dilakukan pengujian kualitas air pada FTW, penelitian ini mengambil sampel air kondisi

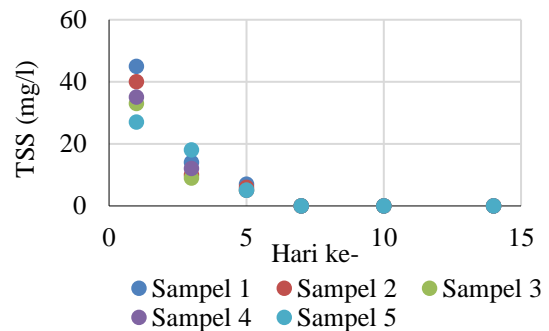
eksisting di lapangan yang belum mendapatkan intervensi dari FTW. Ada lima sampel air yang diuji parameter kualitas airnya yang akan dianalisis setelah berada pada FTW. Lima sampel air ini diambil dari Sungai Belik Yogyakarta yang berada di wilayah urban / pemukiman warga. Lokasi pengambilan sampel berada di lokasi *inlet* sebanyak satu sampel, badan air sebanyak satu sampel, dan *outlet* sebanyak satu sampel. Tabel 2 adalah deskripsi hasil analisis. Pada analisis intervensi FTW, kondisi lima sampel ini kemudian diamati dan diuji parameter kualitas airnya selama 14 hari.

Variasi debit

Data influen sesuai dengan Tabel 2, FTW diberikan variasi debit dengan kenaikan secara konstan selama 14 hari. Rekayasa kecepatan pada FTW menggunakan alat bantu *Wavemakers HL-1600*. Dari hasil analisis, maka kandungan polutan untuk parameter TDS dan TSS adalah sebagai Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kandungan TDS dalam 14 hari



Gambar 5. Kandungan TSS dalam 14 hari

Pada Gambar 4, kandungan TDS menurun dua kali lipat dibanding kondisi awal setelah berada di kolam FTW buatan. Setelah itu, kondisinya mulai menurun kembali sampai ke titik hamper tidak ada kandungan TDS pada semua sampel.

Kondisi yang sama juga ditemukan pada analisis kondisi TSS selama 14 hari pengujian. Penurunan sebanyak dua kali lipat dari kondisi awal pada hari ke-3 seperti pada analisis kondisi TDS. Setelah itu,

kondisi berangsur menjadi kondisi air tanpa ditemukan kandungan TSS pada sampel. Seluruh data direkam untuk dilakukan analisis lebih lanjut dalam memahami fenomena yang terjadi pada lahan basah buatan skala laboratorium.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan *microcosm constructed wetland* ditemukan bahwa efisiensi pengurangan kandungan TSS dalam 8 hari bisa sebesar 75,6% (Kabenge *et al.*, 2018), reduksi kandungan TSS sebesar 80% dalam lima hari menggunakan *subsurface constructed wetland* dengan variasi tanaman wetland (Kao *et al.*, 2009), dan pengurangan sebesar 87,2% dan 84,8% pada konsentrasi TSS menggunakan *subsurface constructed wetland* dengan jenis tanaman *scirpus grossus* (Yusoff *et al.*, 2019).

Dibandingkan dengan penelitian, kemampuan reduksi kandungan TSS lebih baik karena pada hari ke-7, penurunan kadar TSS melebihi 90%. Namun, jenis tanaman, intervensi pada alat uji, skala lahan basah yang dibuat, variasi jenis dan jumlah tanaman, dan jumlah konsentrasi awal beban tercemar kandungan TSS membuat komparasi penelitian ini belum ideal. Dengan hasil penurunan kadar TSS seperti Gambar 5, penelitian ini dapat menjadi *benchmark* penelitian selanjutnya.

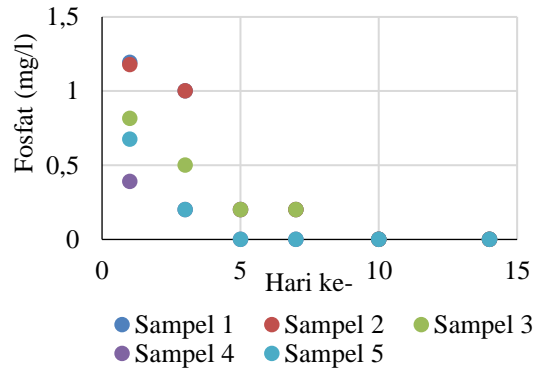
Selain TSS, penelitian ini dapat menjadi landasan penelitian mendatang terkait analisis TDS dikarenakan masih terbatasnya literatur yang membahas permasalahan parameter kualitas air tersebut. Berdasarkan hasil analisis, maka teori dan verifikasi uji bersifat linear dengan konsep yang ada. Hal ini didukung oleh referensi-referensi pada penelitian ini.

Phytoremediation

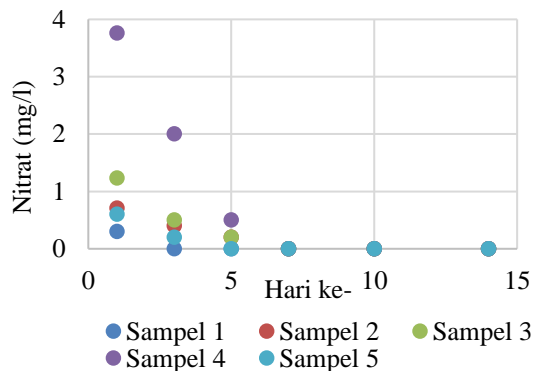
Istilah *phytoremediation* sama halnya pemanfaatan tanaman untuk pengurangan kandungan polutan. Penelitian ini menganalisis kandungan fosfat, nitrat, dan BOD. Influen yang sama seperti Tabel 2 diberikan pada bak FTW skala laboratorium dan dianalisis selama 14 hari. Hasil dari analisis adalah seperti Gambar 6 sampai dengan 8.

Dibandingkan kondisi TSS dan TDS, analisis kandungan nitrat, dan BOD memiliki perilaku yang

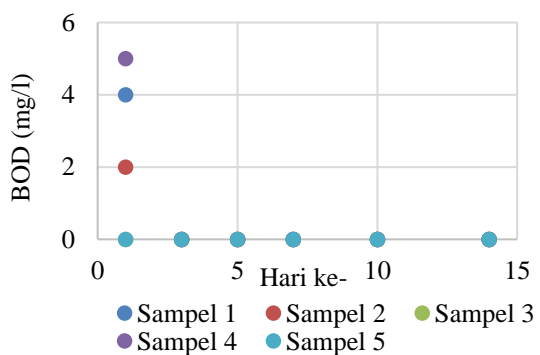
berbeda. Bila TSS dan TDS mampu diturunkan kadarnya secara perlahan, kandungan nitrat dan BOD menurun tajam pada hari ke-5 yang hampir tidak mengandung zat pencemar tersebut. Sedangkan analisis kandungan fosfat memiliki kurang lebih sama karakteristik penurunannya dengan TDS dan TSS.



Gambar 6. Kandungan fosfat dalam 14 hari



Gambar 7. Kandungan nitrat dalam 14 hari



Gambar 8. Kandungan BOD dalam 14 hari

Tabel 2. Hasil analisis awal

Sampel	Lokasi pengambilan	Suhu (°C)	pH	DHL ohm ⁻¹	TDS mg/l	TSS mg/l	BOD mg/l	Fosfat mg/l	Nitrat mg/l
1	Inlet sungai	25,9	7,76	0,58	107	45	14,5	1,194	0,30
2	Badan air sungai	28,0	6,25	0,58	105	40	8,6	1,178	0,71
3	Badan air sungai	28,2	6,95	0,65	110	33	8,7	0,815	1,23
4	Badan air sungai	28,5	6,96	0,42	118	35	12,2	0,391	3,76
5	Outlet sungai	27,5	7,25	0,62	115	27	9,2	0,675	0,60

Kemampuan tanaman dalam melakukan reduksi kandungan polutan fosfat, nitrat, dan BOD adalah 100% sampai hari ke-14. Berdasarkan data menunjukkan bahwa kandungan fosfat dan nitrat bisa tereduksi seluruhnya pada hari ke-10, sedangkan BOD dapat tereduksi pada hari ke-5.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, karakteristik penurunan kadar zat pencemar pada parameter TSS, TDS, dan fosfat memiliki sifat yang kurang lebih sama. Sedangkan nitrat dan BOD memiliki karakteristik yang berbeda.

Analisis penurunan kadar BOD dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Kao *et al.*, 2009) yang dapat mereduksi kandungannya sebesar 60% dalam lima hari pengamatan, 99,4% penurunan kadar BOD dalam rentang waktu pengujian Februari 2008 sampai Maret 2009 (Kayranli *et al.*, 2010). Dengan durasi pengamatan selama 12 bulan dan uji sampel tiap 15 hari, didapatkan kemampuan reduksi BOD sebesar 56%.

Dengan perbedaan ukuran FTW, durasi pengamatan, dan jenis spesies tanaman yang digunakan mengakibatkan bervariasi pula efisiensi kemampuan reduksi kadar BOD. Meskipun penelitian ini dapat mereduksi kandungan BOD sebesar 100% pada hari ke-5 pengamatan, belum dapat dikatakan sepenuhnya berhasil karena memerlukan uji di lapangan dengan beban konsentrasi tercemar bervariasi dan kondisi musim kemarau dan penghujan. Konsentrasi awal BOD pada penelitian ini kecil dibandingkan penelitian lainnya (Ávila *et al.*, 2016; Kao *et al.*, 2009; Kayranli *et al.*, 2010; Perdana *et al.* 2020) sehingga reduksinya dapat mencapai angka tersebut dalam waktu singkat.

Kondisi ini juga berlaku pada efisiensi penurunan kadar nitrat dan fosfat yang bisa mencapai 100% dalam 10 hari. Kemampuan FTW skala laboratorium ini perlu diverifikasi dengan kondisi di lapangan. Penelitian 12 bulan menggunakan FTW di lapangan menunjukkan kadar penurunan parameter fosfat dan nitrogen adalah 37% dan 38% (Benvenuti *et al.*, 2018).

Dibandingkan skala laboratorium seperti penelitian ini, kadar penurun pencemar menggunakan FTW skala lapangan dapat mendapatkan validitas data lebih akurat. Seperti penelitian ini yang dapat menunjukkan kadar fosfat dan nitrogen sebesar 100% yang masih memerlukan verifikasi skala lapangan untuk mendapatkan efisiensi lebih akurat untuk dipasang. Hal ini senada dengan penurunan kadar fosfat dan nitrogen sebesar 72,5% dan 63,4% selama delapan hari pada FTW skala laboratorium (Kabenge *et al.*, 2018).

Analisis ini memerlukan studi lebih lanjut dengan cara menerapkan FTW pada kondisi di lapangan. Pada kotak FTW buatan, tidak ada banyak intervensi sehingga tren penurunan kadar zat pencemar dapat terlihat. Dibandingkan kondisi di lapangan nanti, banyak intervensi yang pasti dapat menyebabkan karakteristik dan daya penurunan zat pencemar menjadi berbeda, misalnya masuknya beban pencemar secara dinamis dan variasi debit tidak menentu bila adanya hujan. Pada penelitian ini, variasi debit dilakukan secara terukur dan beban pencemar hanya masuk pada hari pertama. Hal ini tentu berbeda dengan kondisi di lapangan.

Kesimpulan

Penggunaan *nasturtium officinale* sebagai media FTW dapat mereduksi kandungan polutan fosfat, nitrat, dan BOD sebesar 100% dalam waktu 14 hari. Besarnya variasi kecepatan dalam suatu badan air akan memengaruhi kandungan kontaminan pada suatu badan air. Besarnya debit atau *loading* air yang masuk ke badan air dapat menyebabkan berkurangnya kandungan kontaminan dalam badan air. Reayasa masuknya debit secara konstan selama 14 hari menyebabkan kandungan polutan TDS dan TSS berkurang 100%. Pengembangan penelitian lebih lanjut terkait wilayah kajian ini adalah verifikasi dan validasi pada skala lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti menyampaikan apresiasi kepada Hibah Penelitian Damas Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada tahun anggaran 2019 dan Hibah Penelitian Dosen Muda Universitas Gadjah Mada tahun anggaran 2019 sehingga penelitian ini bisa dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- Ávila, C., García, J., & Garfí, M. (2016). Influence of hydraulic loading rate, simulated storm events and seasonality on the treatment performance of an experimental three-stage hybrid CW system. *Ecological Engineering*, 87, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.042>
- Grosshans, R., Lewtas, K., Gunn, G., & Stanley, M. (2019). *Floating Treatment Wetlands and Plant Bioremediation: Nutrient treatment in eutrophic freshwater lakes*. (1), 1-37. Retrieved from <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/floating-treatment-wetlands.pdf>
- Benvenuti, T., Hamerski, F., Giacobbo, A., Bernardes, A.M., Zoppas F.J., & Rodrigues, M.A.S. (2018). Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: a real-scale study.

- Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 5706-5711. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.067>
- Burgess, N. D., & Hirons, G. J. M. (1992). Creation and management of artificial nesting sites for wetland Birds. *Journal of Environmental Management*, 34(4), 285–295. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(11\)80004-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-4797(11)80004-6)
- Chapra, S.C. (1997). *Surface water quality modeling*. The McGraw-Hill Companies, Inc. International Editions.
- Chen, J., Wei, X.D., Liu, Y.S., Ying, G.G., Liu, S.S., He, L.Y., ... Yang, Y.Q. (2016). Removal of antibiotics and antibiotic resistance genes from domestic sewage by constructed wetlands: Optimization of wetland substrates and hydraulic loading. *The Science of the Total Environment*, 565, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.176>
- Duan, J., Feng, Y., Yu, Y., He, S., Xue, L., & Yang, L. (2016). Differences in the treatment efficiency of a cold-resistant floating bed plant receiving two types of low-pollution wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5286-3>
- Fang, T., Bao, S., Sima, X., Jiang, H., Zhu, W., & Tang, W. (2016). Study on the application of integrated eco-engineering in purifying eutrophic river waters. *Ecological Engineering*, 94, 320-328. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.003>
- Gong, Y., Zhang, X., Li, J., Fang, X., Yin, D., Xie, P., & Nie, L. (2020). Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff. *Science of the Total Environment*, 732, 139248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139248>
- Grosshans, R., Lewtas, K., Gunn, G., & Stanley, M. (2019). *Floating Treatment Wetlands and Plant Bioremediation: Nutrient treatment in eutrophic freshwater lakes*. (1), 1-37. Retrieved from <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/floating-treatment-wetlands.pdf>
- Hamad, M.T.M.H. (2020). Comparative study on the performance of typha latifolia and cyperus papyrus on the removal of heavy metals and enteric bacteria from wastewater by surface constructed wetlands. *Chemosphere*, 260, 127551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.12751>
- Han, D., Currell, M.J., & Cao, G. (2016). Deep challenges for China's war on water pollution. *Environmental Pollution*, 218, 1222-1233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.078>
- Headley, T. R., & Tanner, C. C. (2008). *Floating Treatment Wetlands: An Innovative Option for Stormwater Quality Applications*. In 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 1101–1106. Retrieved from <http://frogenvironmental.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/Headley-and-Tanner-2008-FTW-for-stormwater-applications.pdf>
- Headley, T.R., & Tanner, C.C. (2012). Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(21), 2261-2310. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574108>
- Hubbard, K.R., Gascho, J.G., & Newton, L.G. (2004). Use of floating vegetation to remove nutrients from swine lagoon wastewater. *Transactions of the ASAE*, 47(6), 1963-1972. <https://doi.org/https://doi.org/10.13031/2013.1789>
- Ijaz, A., Shabir, G., Khan, Q.M., & Afzal, M. (2015). Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 84, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.07.025>
- Kabenge, I., Ouma, G., Aboagye, D., & Banadda, N. (2018). Performance of a constructed wetland as an upstream intervention for stormwater runoff quality management. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36765-36774. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3580-z>
- Kao, S.C., Chan, T.P., Sultana, R., Konopka, T., Cooper, T., Partridge, B., & Govindaraju, R.S. (2009). Hydrologic and environmental performance of a subsurface constructed wetland at a highway rest area: a case study. *Water Quality, Exposure and Health*, 1(1), 35-48. <https://doi.org/10.1007/s12403-009-0004-9>
- Kato, T., Kuroda, H., Nakasone, H., & Kiri, H. (2007). Evaluation of pollutant removal in a constructed irrigation pond. *Paddy and Water Environment*, 5(3), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s10333-007-0076-8>
- Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., Hofmann, O., & Harrington, R. (2010). Performance evaluation of integrated constructed wetlands treating domestic wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 210(1-4), 435-451. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0267-6>
- Kerr-Upal, M., Seasons, M., & Mulamoottil, G. (2000). Retrofitting a stormwater management

- facility with a wetland component. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 35(8), 1289-1307. <https://doi.org/10.1080/10934520009377037>
- Khandare, R.V., Kabra, A.N., Awate, A.V., & Govindwar, S.P. (2013). Synergistic degradation of diazo dye direct red 5B by portulaca grandiflora and pseudomonas putida. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(5), 1039-1050. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0244-x>
- Krämer, U. (2005). Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.006>
- Laabassi, F., Lecouturier, F., Amelot, G., Gaudaire, D., Mamache, B., Laugier, C., ... Hans, A. (2015). Epidemiology and genetic characterization of H3N8 equine influenza virus responsible for clinical disease in Algeria in 2011. *Transboundary and Emerging Diseases*, 62(6), 623-631. <https://doi.org/10.1111/tbed.12209>
- Ladislav, S., Gérente, C., Chazarenc, F., Brisson, J., & Andrès, Y. (2015). Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds. *Ecological Engineering*, 80, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.115>
- Langdon, K.A., Chandra, A., Bowles, K., Symons, A., Pablo, F., & Osborne, K. (2019). A preliminary ecological and human health risk assessment for organic contaminants in composted municipal solid waste generated in New South Wales, Australia. *Waste Management*, 100, 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.001>
- Li, M., Wu, Y.J., Yu, Z.L., Sheng, G.P., & Yu, H.Q. (2007). Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) with ion implantation. *Water Research*, 41(14), 3152-3158. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.010>
- Li, X.N., Song, H.L., Lu, X.W., Xie, X.F., & Inamori, Y. (2009). Characteristics and mechanisms of the hydroponic bio-filter method for purification of eutrophic surface water. *Ecological Engineering*, 35(11), 1574-1583. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.034>
- Li, Y., Zhu, G., Ng, W.J., & Tan, S.K. (2014). A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism. *Science of the Total Environment*, 468-469, 908-932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.018>
- Liu, W., Feng, Q., Chen, W., & Deo, R.C. (2020). Stormwater runoff and pollution retention performances of permeable pavements and the effects of structural factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30831-30843. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09220-2>
- Ma, Y., Zhai, Y., Zheng, X., He, S., & Zhao, M. (2019). Rural domestic wastewater treatment in constructed ditch wetlands: Effects of influent flow ratio distribution. *Journal of Cleaner Production*, 225, 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.235>
- Mosley, L.M., & Fleming, N. (2010). Pollutant loads returned to the lower murray river from flood-irrigated agriculture. *Water, Air, and Soil Pollution*, 211(1-4), 475-487. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0316-1>
- Perdana, M.C., Hadisusanto, S., & Purnama, I.L.S. (2020). Implementation of a full-scale constructed wetland to treat greywater from tourism in Suluban Uluwatu Beach, Bali, Indonesia. *Heliyon*, 6(10), e05038. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05038>
- Phenrat, T., Teeratitayangkul, P., Prasertsung, I., Parichatprecha, R., Jitsangiam, P., Chomchalow, N., & Wichai, S. (2017). Vetiver plantlets in aerated system degrade phenol in illegally dumped industrial wastewater by phytochemical and rhizomicrobial degradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(15), 13235-13246. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7707-9>
- Prastica, R.M.S., Soeryantono, H., & Marthanty, D. R. (2018). Developing hydrodynamic and sediment transport modelling on lakes: a preliminary study. *International Journal of Environmental Science and Development*, 9(3), 49-55. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2018.9.3.1072>
- Prastica, R.M.S., Soeryantono, H., & Marthanty, D.R. (2019). 2-D numerical modelling of hydrodynamic and sediment transport in Agathis Lake. *MATEC Web of Conferences*, 270(1), 04019. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201927004019>
- Ray, S., Mohanty, A., Mohanty, S.S., Mishra, S., & Chaudhury, G.R. (2014). Removal of nitrate and COD from wastewater using denitrification process: kinetic, optimization, and statistical studies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(2), 291-301. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0621-7>

- Rehman, K., Ijaz, A., Arslan, M., & Afzal, M. (2019). Floating treatment wetlands as biological buoyant filters for wastewater reclamation. *International Journal of Phytoremediation*, 21(13), 1273-1289. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633253>
- Rozema, E.R., Rozema, L.R., & Zheng, Y. (2016). A vertical flow constructed wetland for the treatment of winery process water and domestic sewage in Ontario, Canada: Six years of performance data. *Ecological Engineering*, 86, 262-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.006>
- Schwammburger, P.F., Lucke, T., Walker, C., & Trueman, S.J. (2019). Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development. *Science of the Total Environment*, 677, 390-403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.341>
- Schwammburger, P., Walker, C., & Lucke, T. (2017). Using floating wetland treatment systems to reduce stormwater pollution from urban developments. *International Journal of GEOMATE*, 12(31), 45-50. <https://doi.org/10.21660/2017.31.6532>
- Song, H.L., Li, X.N., Lu, X.W., & Inamori, Y. (2009). Investigation of microcystin removal from eutrophic surface water by aquatic vegetable bed. *Ecological Engineering*, 35(11), 1589-1598. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.04.005>
- Stewart, F.M., Mulholland, T., Cunningham, A.B., Kania, B.G., & Osterlund, M.T. (2008). Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes - results of laboratory-scale tests. *Land Contamination and Reclamation*, 16(1), 25-33. <https://doi.org/10.2462/09670513.874>
- Thebo, A.L., Drechsel, P., Lambin, E.F., & Nelson, K.L. (2017). A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*, 12(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1>
- Todd, J., Brown, E.J.G., & Wells, E. (2003). Ecological design applied. *Ecological Engineering*, 20(5), 421-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.08.004>
- Van, D.M.A.M.K., Meers, E., De Pauw, N., & Tack, F.M.G. (2010). Effects of vegetation, season and temperature on the removal of pollutants in experimental floating treatment wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*, 212(1-4), 281-297. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0342-z>
- Van, O.D., Wallace, S., & Van, D.R. (2015). Wastewater treatment in a compact intensified wetland system at the Badboot: a floating swimming pool in Belgium. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 12870-12878. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3726-6>
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H.H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., ... Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresource Technology*, 175, 594-601. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.068>
- Yang, S., Zheng, Y., Mao, Y., Xu, L., Jin, Z., Zhao, M., ... Zheng, X. (2021). Domestic wastewater treatment for single household via novel subsurface wastewater infiltration systems (SWISs) with NiiMi process: performance and microbial community. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123434>
- Yeh, N., Yeh, P., & Chang, Y.H. (2015). Artificial floating islands for environmental improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47(July 2015), 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.090>
- Yusoff, Md.M.F., Rozaimah, S.S.A., Hassimi, A.H., Hawati, J., & Habibah, A. (2019). Performance of continuous pilot subsurface constructed wetland using *Scirpus grossus* for removal of COD, colour and suspended solid in recycled pulp and paper effluent. *Environmental Technology and Innovation*, 13, 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.008>
- Zhang, W., Watson, S.B., Rao, Y.R., & Kling, H.J. (2013). A linked hydrodynamic, water quality and algal biomass model for a large, multi-basin lake: A working management tool. *Ecological Modelling*, 269, 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.018>