

UJI VARIASI MEDIA TANAM PADA SISTEM PENGOLAHAN TERSIER CONSTRUCTED WETLAND SKALA LABORATORIUM DALAM MENGOLAH AIR LIMBAH DOMESTIK

Nurul Setiadewi^{1*}, Cynthia Henny¹ dan Prayatni Soewondo²

¹ Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Kawasan Sains dan Teknologi Soekarno, Cibinong, Bogor 16911.

² Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, 40132 .

*Email: nuru026@brin.go.id; setiadewinurul@gmail.com

Abstrak

Keberadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam mengolah air limbah domestik masih menghasilkan efisiensi penyisihan yang masih rendah, sehingga perlu pengolahan lanjutan atau tersier untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pengolahan tersier dengan constructed wetland dan menguji pengaruh variasi media tanam terhadap kinerja pengolahan. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor percobaan dan air limbah domestik buatan. Variasi media yang digunakan adalah media kerikil dan pasir kasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa constructed wetland dapat secara efektif dan efisien menyisihkan polutan air limbah. Sistem constructed wetland dengan menggunakan variasi media tanam, menunjukkan bahwa performa penyisihan polutan pada reaktor dengan media pasir menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan media kerikil. Penyisihan COD, TN, dan TP di reaktor dengan media pasir menghasilkan efisiensi sebesar 86,95%, 90,25%, 94,26%. Sementara, pada reaktor dengan media kerikil, efisiensi penyisihan COD, TN, dan TP berturut-turut sebesar 85,33%, 87,82%, dan 94,80%. Penyisihan polutan antara variasi media pasir dan kerikil menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Meski demikian, kedua variasi yang digunakan pada sistem percobaan dapat menyisihkan polutan air limbah secara efektif.

Kata kunci: air limbah domestik, constructed wetland, media tanam

1. PENDAHULUAN

Air limbah domestik merupakan limbah cair hasil buangan dari perumahan, bangunan perdagangan, perkantoran, dan sarana lainnya. Air limbah domestik yang dihasilkan berpotensi mencemari lingkungan, khususnya perairan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke badan penerima. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) didesain untuk mengolah air limbah dengan menyisihkan kontaminan melalui proses fisika, kimia, dan biologi pada suatu unit pengolahan. Sebagian besar IPAL yang mengolah air limbah domestik di Indonesia menggunakan proses pengolahan biologi, yang mana merupakan salah satu teknologi pengolahan sekunder. Pasalnya, kinerja IPAL dengan aplikasi pengolahan sekunder menghasilkan efisiensi penyisihan yang masih rendah, sehingga konsentrasi polutan yang dibuang ke lingkungan masih relatif tinggi.

Constructed wetland (CW) merupakan sistem pengolahan air limbah yang dapat digunakan sebagai unit pengolahan untuk mengolah air buangan yang berasal dari kegiatan domestik (Torrens, 2015). CW telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah domestik, baik sebagai pengolahan sekunder maupun tersier. Efisiensi penyisihan polutan air limbah dengan menggunakan CW dapat mencapai 81 - 97% untuk beberapa parameter kimia, seperti BOD₅, TSS, ammonia, dan fosfat (Gajewska dkk., 2020; Vymazal, 2010)

CW merupakan sistem rekayasa yang didesain berdasarkan proses alami dengan melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme dalam sistem pengolahan air limbah, namun dioperasikan dalam lingkungan yang lebih terkontrol (Vymazal, 2009). Salah satu tipe CW yakni dengan aliran bawah permukaan horizontal (*horizontal subsurface flow*) telah banyak digunakan dalam penelitian serupa sebelumnya untuk mengolah limbah cair domestik (Gajewska dkk., 2020; Vymazal, 2009, 2010). Pada sistem *horizontal subsurface flow*, air limbah diumpankan di zona inlet dan mengalir perlahan melalui media berpori di bawah permukaan secara horizontal hingga mencapai zona outlet, sebelum dibuang ke lingkungan (Vymazal, 2009).

Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja CW adalah media tanam. Media dalam sistem CW berperan penting dalam proses pengolahan air limbah. Adanya media dapat mendukung kehidupan tanaman di sistem CW serta menjadi ruang untuk tumbuhnya mikroorganisme, sehingga mempengaruhi kinerja pengolahan. Beberapa fungsi dari keberadaan media antara lain sebagai tempat tumbuhnya akar, membantu distribusi aliran air di dalam sistem, menyediakan area permukaan untuk tumbuhnya mikroba, menyaring dan menangkap partikel. Jenis media yang banyak digunakan dan disarankan untuk CW dengan tipe aliran horizontal adalah kerikil (USEPA, 2000).

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa perbedaan ukuran media dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi penyisihan polutan. Dengan ukuran media yang lebih kecil, dapat meningkatkan efisiensi penyisihan (Wei dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh perbedaan media tanam pada sistem pengolahan *constructed wetland* dalam mengolah air limbah domestik. Variasi media yang digunakan adalah media kerikil dan pasir kasar.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan terdiri dari dua yakni bahan percobaan dan bahan analisa laboratorium. Bahan yang digunakan untuk percobaan antara lain kerikil, pasir, tanaman air, bahan kimia untuk limbah sintetis (Glukosa, amonium chloride NH_4Cl , potassium dihydrogen phosphate KH_2PO_4). Sedangkan, bahan yang digunakan untuk keperluan analisa laboratorium antara lain aquades, asam sulfat (H_2SO_4) pekat 98%, kalium dikromat (K_2CrO_7), mercury(II) sulfat (HgSO_4), silver sulfate (AgSO_4), larutan standar COD, larutan standar nitrat, potassium persulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), sodium hidroksida (NaOH), asam borat (H_3BO_3), brucine, asam asetat glacial, larutan standar fosfat, potassium antimonitratrat, amonium molibdat, asam askorbat.

Alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain *water quality meter* dengan merk Horiba Multi Parameter Series U-50, *dissolved oxygen meter* YSI Pro 20, COD reactor Hach DRB200, spektrofotometer UV-Vis. Penelitian dilakukan di area rumah kaca dan laboratorium pengujian kualitas air di Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Inovasi dan Riset Nasional (BRIN) di Cibinong, Bogor.

2.2. Desain Percobaan

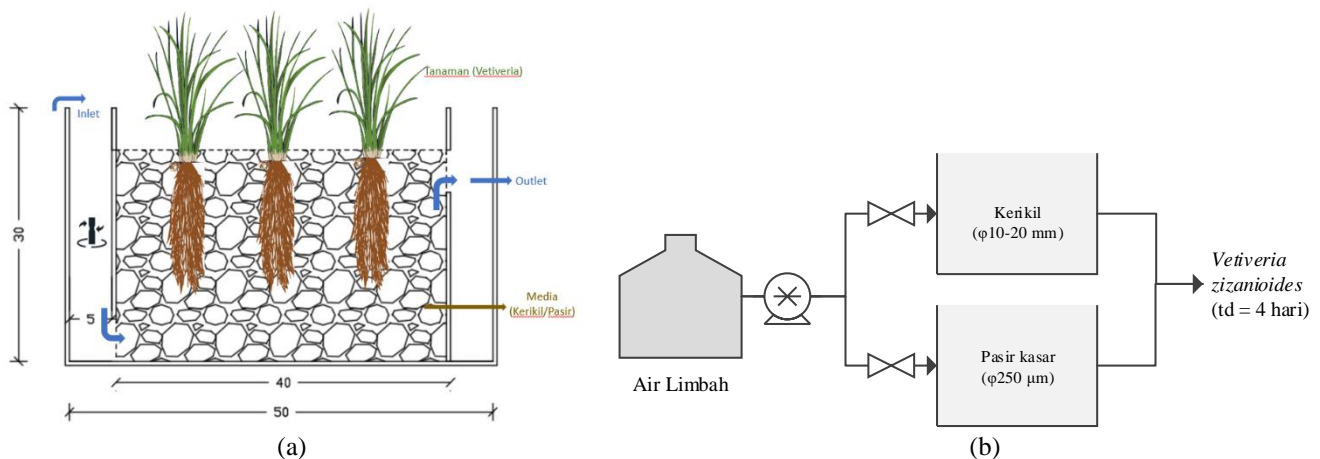
Desain percobaan yang dilakukan dapat diilustrasikan secara visual sebagaimana pada Gambar 1a. Reaktor uji dibuat dengan skala laboratorium menggunakan akuarium berukuran panjang 50 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 30 cm. Tanaman yang digunakan adalah rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Penanaman dilakukan setelah media dalam kondisi jenuh, dengan masing-masing titik tanam sebanyak 3-4 anak rumpun.

Media tanam divariasikan sejumlah 2 (dua) yakni kerikil (10-20 mm) dan pasir kasar (ϕ 250 μ m), sehingga total ada 2 (dua) akuarium/reaktor yang digunakan, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1b. Air limbah ditampung pada tangki berukuran 250 mL. Pengaliran air limbah dilakukan dengan sistem gravitasi ke setiap reaktor. Sistem aliran yang digunakan adalah kontinyu dengan arah aliran bawah permukaan horizontal. Waktu tinggal air (*hydraulic retention time*) yang digunakan adalah 4 hari, sehingga debit aliran sebesar 6,17 ml/menit. Debit aliran dimonitor setiap hari untuk memastikan operasional percobaan tetap berjalan sesuai desain.

Pada penelitian ini, air limbah yang digunakan merupakan air limbah buatan (sintetis), yang terdiri dari glukosa sebagai sumber karbon, NH_4Cl sebagai sumber nitrogen, dan KH_2PO_4 sebagai sumber fosfor. Rasio C:N:P yang digunakan adalah sebesar 100:10:1 dan konsentrasi organik sebagai COD pada air limbah domestik sebesar 150 mg/L. Tabel 1 menunjukkan konsentrasi glukosa, NH_4Cl , dan KH_2PO_4 yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Konsentrasi Air Limbah Sintetis

Glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	NH_4Cl	KH_2PO_4
141,51 mg/L	21,63 mg/L	2,48 mg/L



Gambar 1. (a) Ilustrasi Reaktor; (b) Skematik Reaktor Percobaan

2.3. Sampling dan Analisis Data

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* (sampel air sesaat). Jumlah air yang diambil menyesuaikan dengan volume yang diperlukan untuk analisa, yakni sekitar 250 ml. Adapun parameter kualitas air yang diuji antara lain COD, Total Nitrogen (TN), dan Total Fosfor (TP). Tabel 2 menjelaskan metode analisis yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Metode Analisis Kualitas Air

No	Parameter	Metode	Acuan Metode
1	COD	Closed reflux - Colometric	Standard Method 24 th Edition (APHA)
2	Total Nitrogen	Persulfate dan Brucine	Standard Method 24 th Edition (APHA)
3	Total Fosfor	Persulfate dan Ascorbic Acid	Standard Method 24 th Edition (APHA)

Efisiensi penyisihan dapat diperoleh dengan membandingkan konsentrasi di inlet reaktor (C_{in}) dan outlet reaktor (C_{out}) dan dinyatakan dalam satuan presentase, sebagaimana persamaan berikut.

$$\%ER = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Air Limbah Sintetis

Pada penelitian ini, digunakan air limbah sintetis sebagai masukan (influen) air limbah pada sistem percobaan. Konsentrasi air limbah yang dapat diolah menggunakan constructed wetland (CW) dapat bervariasi, meski demikian konsentrasi organik yang tinggi tidak direkomendasikan secara langsung masuk sebagai influen sistem CW. Hal ini dikarenakan berpotensi mengganggu stabilitas dan ketahanan tanaman serta sistem pengolahan *wetland* (Vymazal, 2009). Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa CW dapat mengolah air limbah dengan konsentrasi organik yang sangat rendah (Tran dkk., 2019; Vymazal, 2009), yang mana hal ini tidak dapat terjadi di sistem pengolahan lumpur aktif konvensional.

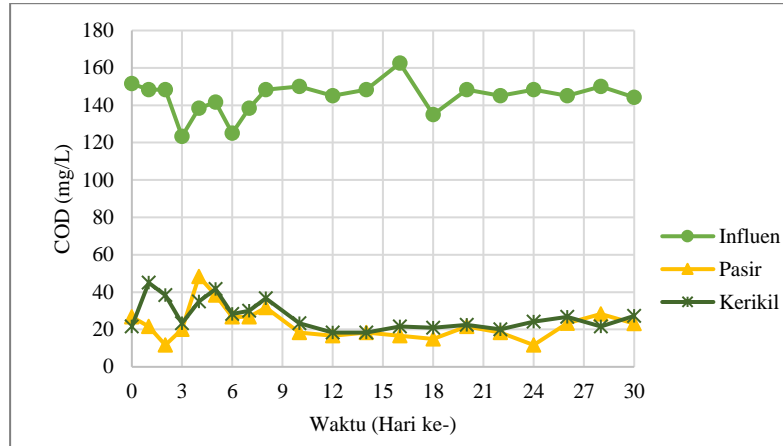
Tabel 3. Karakteristik Air Limbah Sintetis

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	6,81
Suhu	°C	27,68
Konduktivitas	mS/cm	201
DO	mg/L	2,4
COD	mg/L	144,25
TN	mg/L	4,447
TP	mg/L	0,518

Tabel 3 menunjukkan hasil karakteristik air limbah sintetis yang akan diuji. Konsentrasi COD, TN, dan TP yang diuji adalah sebesar 144,25 mg/L, 4,447 mg/L, dan 0,518 mg/L. Konsentrasi COD yang diuji masih melebihi standar baku mutu lingkungan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8 Tahun 2016, dimana batas kadar COD adalah sebesar 100 mg/L.

3.2. Penyisihan Organik COD

Constructed wetland merupakan teknologi yang didesain untuk sistem pengolahan dengan menyatukan proses kimia, fisika, dan biologis. CW efektif dalam menghilangkan bahan organik dan juga nutrisi yang terkandung di dalam air limbah. Keberadaan tanaman dan media sebagai bagian dari sistem pengolahan berperan penting dalam pengolahan air limbah. Gambar 2 menunjukkan hasil penyisihan kandungan organik sebagai COD yang diuji selama 30 hari pengamatan, sementara efisiensi penyisihannya dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa penyisihan COD pada reaktor dengan media pasir menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan pada reaktor dengan media kerikil. Nilai COD yang dihasilkan pada media kerikil mencapai nilai konsentrasi paling rendah pada 18,33 mg/L pada hari ke-12. Efisiensi penyisihan rata-rata yang dapat dihasilkan pada variasi media kerikil sebesar 85,33%. Sementara itu, nilai COD pada reaktor dengan media pasir lebih kecil yakni mencapai konsentrasi terendah sebesar 11,67 mg/L pada hari ke-24, dengan efisiensi penyisihan diperoleh sebesar 86,95%.

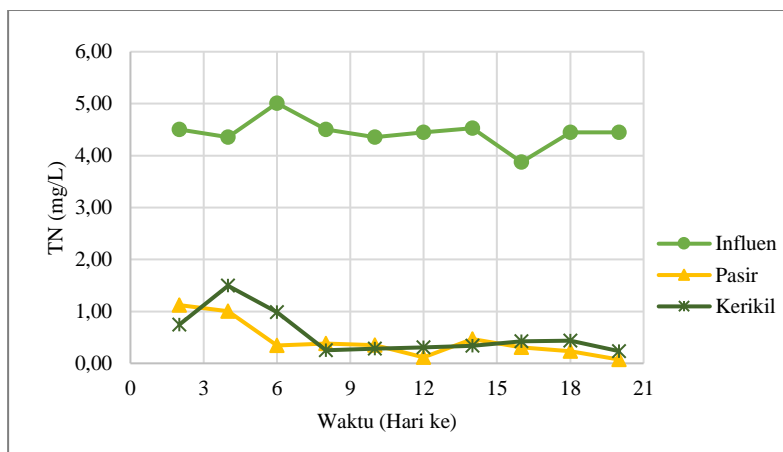


Gambar 2. Perbandingan Hasil Penyisihan COD

Kualitas efluen air olahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi influen, *hydraulic retention time* (HRT), ukuran media tanam. Kualitas efluen hasil olahan menentukan apakah layak dan telah memenuhi baku mutu untuk dibuang ke lingkungan perairan dan aman bagi ekosistem. Kadar COD yang dihasilkan pada kedua variasi media, baik pasir maupun kerikil, telah memenuhi standar baku mutu menurut Permenlhk Tahun 2016.

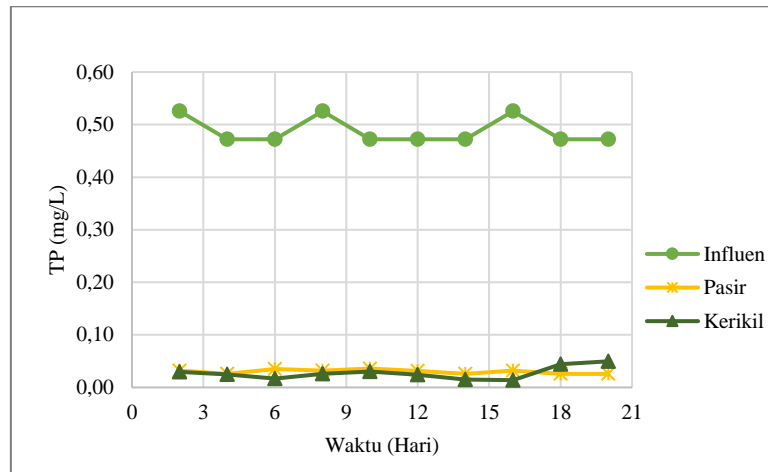
3.3. Penyisihan Nitrogen dan Fosfor

Selain dapat menyisihkan kandungan bahan organik, *constructed wetland* juga dapat menurunkan kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang terdapat pada air limbah. Kandungan nutrisi pada air limbah dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme dan tanaman untuk mendukung pertumbuhannya. Pada penyisihan nitrogen, proses yang terjadi adalah mineralisasi melalui mekanisme amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi, dan volatilisasi. Pada penelitian ini, kandungan nitrogen (N) ditambahkan secara sintetis dengan mengacu pada rasio C:N:P sebesar 100:10:1.



Gambar 3. Perbandingan Hasil Penyisihan Total Nitrogen

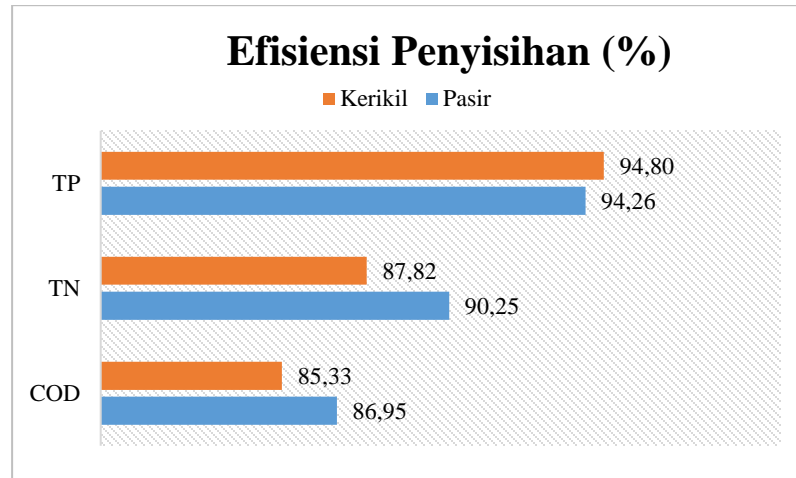
Gambar 3 menunjukkan perbandingan konsentrasi TN antara variasi media pasir dan kerikil di efluen dan efisiensi penyisihan TN yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5. Konsentrasi TN yang diperoleh pada percobaan dengan variasi pasir menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan media kerikil. Nilai TN pada reaktor dengan media pasir dihasilkan pada rentang 0,07 - 1,12 mg/L, dengan efisiensi penyisihan yang dihasilkan rata-rata sebesar 90,25%. Sementara pada media kerikil, konsentrasi TN dihasilkan dengan kisaran 0,23 - 1,49 mg/L, dengan efisiensi penyisihan rata-rata sebesar 87,82%.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Penyisihan Total Fosfor

Parameter yang diuji selanjutnya adalah fosfor. Fosfor ditambahkan ke dalam air limbah juga sebagai bahan sintesis, seperti halnya COD dan TN. Analisis fosfor dilakukan untuk melihat penyerapan fosfor dalam sistem pengolahan CW dengan variasi media tanam yang digunakan. Hasil analisis total fosfor (TP) beserta efisiensi penyisihannya berdasarkan masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Penyisihan fosfor pada kedua variasi media dengan sistem CW menunjukkan hasil yang sama baiknya antara media pasir dan kerikil. Pada media pasir, kisaran konsentrasi TP di efluen sebesar 0,03 - 0,04 mg/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 94,26%. Pada media kerikil, konsentrasi TP di efluen sebesar 0,01 - 0,05 mg/L dengan efisiensi penyisihan yang dihasilkan sebesar 94,80%. Kedua variasi media yang digunakan pada percobaan ini menunjukkan hasil yang tidak berbeda signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa fosfor dapat terserap secara efektif pada kedua media yang digunakan di sistem pengolahan CW.

Kandungan nitrogen dan fosfor pada air limbah adalah sumber nutrisi untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Kebutuhan atau suplai nutrisi dalam pertumbuhan tanaman terjadi terutama melalui sistem akarnya, sehingga keberadaan vegetasi pada sistem wetland dapat membantu dalam menghilangkan kandungan nutrisi yang terdapat pada air limbah (Lee dkk., 2009). Namun studi lainnya menyatakan bahwa mekanisme penyisihan nutrisi pada wetland tidak hanya terjadi pada tanaman, namun juga pada sedimen, mikroorganisme, kolom air (Sundaravadivel dan Vigneswaran, 2001). Proses yang terjadi pada penyisihan nitrogen adalah dengan nitrifikasi denitrifikasi melalui bantuan mikroorganisme. Sementara itu, proses penyisihan fosfor terjadi pada biofilm yang tumbuh pada substrat dan mikroorganisme yang ada dalam sedimen. Proses yang terjadi dapat berupa *uptake* oleh tanaman, adsorpsi, presipitasi, dan asimilasi biotik (Reddy, 1997).



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Penyisihan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan air limbah domestik menggunakan sistem *constructed wetland* dengan menggunakan variasi media tanam, menunjukkan bahwa performa penyisihan polutan pada reaktor dengan media pasir menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan media kerikil. Penyisihan COD, TN, dan TP di reaktor dengan media pasir menghasilkan efisiensi sebesar 86,95%, 90,25%, 94,26%. Sementara, pada reaktor dengan media kerikil, efisiensi penyisihan COD, TN, dan TP berturut-turut sebesar 85,33%, 87,82%, dan 94,80%. Meski demikian, kedua variasi yang digunakan pada sistem percobaan dapat menyisihkan polutan secara efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Gajewska, M., Skrzypiec, K., Józwiakowski, K., Mucha, Z., Wójcik, W., Karczmarczyk, A., dan Bugajski, P. (2020): Kinetics of pollutants removal in vertical and horizontal flow constructed wetlands in temperate climate, *Science of the Total Environment*, **718**.
- Lee, C. G., Fletcher, T. D., dan Sun, G. (2009): Nitrogen removal in constructed wetland systems, *Engineering in Life Sciences*, **9**(1), 11–22.
- Reddy, K. R. (1997): Treatment Wetlands., *Soil Science*, **162**(6), 454.
- Sundaravadivel, M., dan Vigneswaran, S. (2001): Constructed wetlands for wastewater treatment, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **31**(4), 351–409.
- Torrens, A. (2015): Subsurface flow constructed wetlands for the treatment of wastewater from different sources. Design and operation, diperoleh melalui situs internet: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/380738/ATA_THESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 261.
- Tran, H. D., Vi, H. M. T., Dang, H. T. T., dan Narbaitz, R. M. (2019): Pollutant removal by *Canna Generalis* in tropical constructed wetlands for domestic wastewater treatment, *Global Journal of Environmental Science and Management*, **5**(3), 331–344.
- Vymazal, J. (2009): The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater, *Ecological Engineering*, **35**(1), 1–17.

Vymazal, J. (2010): Constructed wetlands for wastewater treatment, *Water (Switzerland)*, **2**(3), 530–549.

Wei, S., Luo, H., Zou, J., Chen, J., Pan, X., Rousseau, D. P. L., dan Li, J. (2020): Characteristics and removal of microplastics in rural domestic wastewater treatment facilities of China, *Science of the Total Environment*, **739**, 139935.