

Artikel Riset

Evaluasi Air Buangan Domestik Sebagai Dasar Perancangan Rehabilitasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Komunal Kampung Kandang, Desa Condongcatur, Yogyakarta

Ayu Utami*, Nandra Eko Nugroho¹, Salam Via Febriyanti¹, Thamzez Nuur Anom¹, Ahmad Muhaimin¹

¹Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjadjaran (Jl. SWK 104) Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

* Penulis korespondensi, e-mail: ayu.utami@upnyk.ac.id

Abstrak

Pertambahan penduduk yang meningkat, limbah cair domestik yang dihasilkan akan meningkat juga. Limbah cair domestik perlu diolah dengan baik agar tidak mencemari badan air penerimanya. Kampung Kandang sudah memiliki IPAL domestik komunal untuk mengolah limbah cair domestik yang dihasilkan oleh warganya. Kendala yang dirasakan warga sehingga IPAL ini perlu direhabilitasi adalah banyaknya lumpur mengapung pada bak biologis pertama dan masih tercium bau yang mengganggu. Keluhan warga tersebut bisa diatasi dengan merehabilitasi IPAL agar fungsinya lebih optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi air limbah domestik di Kampung Kandang. Metode yang digunakan dalam mengevaluasi antara lain analisis data primer, perhitungan evaluasi standar stream dan perhitungan persen penyisihan. IPAL Domestik Komunal Kampung Kandang perlu menyisihkan parameter COD, BOD, TSS, Amonia, dan Total Koliform sebesar 97,7%, 98,9%, 42,7%, 95,6%, dan 99,9%. IPAL tersebut sudah mampu menyisihkan TSS dan Amonia. Sedangkan BOD, COD, dan Total Koliform masih perlu disisihkan sebanyak masing-masing 25,9%, 35%, dan 95,83%. Data evaluasi air buangan dapat digunakan sebagai dasar perancangan rehabilitasi yang akan dilakukan pada IPAL Domestik Komunal di Kampung Kandang.

Kata Kunci: evaluasi air buangan, IPAL domestik komunal, rehabilitasi IPAL

Abstract

As population increases, domestic wastewater generated will increase as well. Domestic wastewater needs to be treated properly so as not to pollute the recipient's water body. Kampung Kandang already has a communal domestic wastewater treatment plant (WWTP) to treat domestic wastewater generated by citizens. The problem from the citizens is that the WWTP needs to be rehabilitated because the amount of sludge floating in the first biological treatment tank and still has a disturbing odor. Alternative solution for this problem is by rehabilitating WWTPs so that their functions are more optimal. The purpose of this study was to evaluate domestic wastewater in Kampung Kandang. The methods used in evaluating the wastewater i.e. analysis of primary data, calculation of standard stream evaluation and calculation of removal percentage. Communal Domestic WWTP needs to remove COD, BOD, TSS, Ammonia, and Total

Coliforms parameters of 97.7%, 98.9%, 42.7%, 95.6%, and 99.9%. WWTP has already removed the TSS and ammonia. BOD, COD, and total coliform should be reduced by WWTP as much for each parameter are 25, 9%, 35%, and 95, 83%. Wastewater evaluation data can be used as a basis for the design of rehabilitation to be carried out at the Communal Domestic WWTP in Kampung Kandang.

Keywords: domestic communal WWTP, evaluation of wastewater, WWTP rehabilitation

1. Pendahuluan

Kabupaten Sleman memiliki pertumbuhan penduduk yang meningkat cepat setiap tahunnya (BPS Kabupaten Sleman, 2018). Pertambahan penduduk yang meningkat, limbah cair domestik yang dihasilkan akan meningkat juga. Limbah cair domestik perlu diolah dengan baik agar tidak mencemari badan air penerimanya. Pengolahan limbah cair domestik dapat dikelola menggunakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) secara komunal (Karyadi, 2010).

Kampung Kandang sudah memiliki IPAL domestik komunal untuk mengolah limbah cair domestik yang dihasilkan oleh warganya. IPAL Domestik Komunal di Kampung Kandang memiliki total 14 bak pengolahan yang terdiri dari bak ekualisasi, bak pengolahan biologis, dan bak penampung akhir yang kemudian akan dibuang ke sungai. Kendala yang dirasakan warga sehingga IPAL ini perlu direhabilitasi adalah banyaknya lumpur mengapung pada bak biologis pertama dan masih tercium bau yang mengganggu. Keluhan warga tersebut bisa diatasi dengan merehabilitasi IPAL agar fungsinya lebih optimal. Lumpur yang terbentuk pada bak awal IPAL dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lumpur yang terbentuk di IPAL Komunal Domestik Kampung Kandang

Evaluasi fungsi eksisting dari IPAL diperlukan untuk menilai performa dari unit pengolahan dan air buangan akhir sudah sesuai kriteria standar baku mutu atau sudah memerlukan tingkat pengolahan yang lebih tinggi (US Environmental Protection Agency, 1974; Hegazy and Gawad, 2016). Indikator yang diperlukan dalam evaluasi limbah cair salah satunya adalah perhitungan efisiensi penyisihan yang harus dicapai oleh IPAL (Vítez *et al.*, 2012).

Penelitian mengenai evaluasi IPAL Komunal juga pernah dilakukan di kota Bogor. Pada penelitian tersebut, dievaluasi effluen dari 3 lokasi IPAL komunal yang berbeda di Kota Bogor. Metode evaluasi yang dipakai adalah dengan membandingkan kualitas air buangan di 3 IPAL tersebut dengan bakumutu dan hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa ketiga IPAL komunal tersebut masih belum memenuhi baku mutu sehingga perlu ditingkatkan pengelolaannya (Susanthi dkk., 2018). Pada penelitian yang lain, evaluasi pada IPAL domestik komunal dengan perhitungan efektivitas juga

dilakukan di Manado. Pada penelitian ini juga menunjukkan kondisi IPAL yang tidak berfungsi secara optimal dalam pengolahan air buangan domestik (Nanda *et al.*, 2017).

Kondisi kualitas air buangan IPAL domestik komunal Kampung Kandang tidak dikontrol secara rutin. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis dan evaluasi terhadap kualitas air buangan untuk mengetahui sumber permasalahan dari IPAL tersebut. Evaluasi dilakukan dengan menghitung evaluasi stream dan standar efluen pada air buangan IPAL. Evaluasi yang dilakukan pada penelitian ini tidak hanya mengevaluasi IPAL yang sudah bekerja namun juga bagaimana kondisi sungai ketika buangan IPAL dibuang ke badan air. Hasil dari evaluasi pada penelitian ini digunakan untuk membuat rancangan rehabilitasi IPAL agar IPAL dapat beroperasi secara optimal. Contoh rehabilitasi IPAL yang sudah dilakukan terdapat di Israel. Rehabilitasi IPAL tersebut dirancanng untuk reuse limbah cair menjadi air bersih (Avsar *et al.*, 2011). Selain rehabilitasi, reklamasi juga dilakukan pada beberapa IPAL untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Reklamasi diterapkan pada beberapa IPAL dengan tujuan lain yaitu konservasi air. Hal ini diterapkan pada pengolahan air limbah dengan menggunakan filter sehingga bisa dimanfaatkan kembali menjadi air bersih (McIntosh, 1992).

Rehabilitasi dan reklamasi yang dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan metode filtrasi seperti ultrafiltrasi dan membran. Selain ultrafiltrasi dan membran, biofilter menjadi salah satu alternatif dalam pengolahan limbah cair. Pada penerapannya, material yang dipakai untuk membuat biofilter dalam pengolahan limbah cair merupakan material yang mudah untuk ditemukan sehingga mudah untuk diaplikasikan (Metcalf and Eddy, 2004). Untuk merancang rehabilitasi IPAL tersebut, diperlukan data mengenai kondisi eksisting IPAL dan kualitas air buangan IPAL komunal domestik. Kualitas air sungai penerima air buangan juga perlu diketahui untuk evaluasi standar stream. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi air limbah domestik yang di buang ke badan air di Kampung Kandang. Hasil evaluasi akan digunakan sebagai dasar rancangan rehabilitasi IPAL domestik komunal tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer. Data primer yang digunakan merupakan data aktual yang didapat dari hasil pengamatan langsung di lapangan dan data perhitungan di lapangan. Selain itu, hasil analisis kualitas air di laboratorium juga diperlukan dalam menentukan karakteristik air buangan dan air sungai di Kampung Kandang. Parameter yang digunakan dalam evaluasi adalah *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD), *total suspended solid* (TSS), amonia (NH₃), dan total koliform. Pemilihan parameter yang digunakan karena kandungan air limbah domestik yang dominan adalah partikel tersuspensi, senyawa organik yang terdegradasi, nutrisi (nitrogen), dan patogen (koliform) (Von Sperling, 2015). Parameter dan analisis kualitas air buangan domestik yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

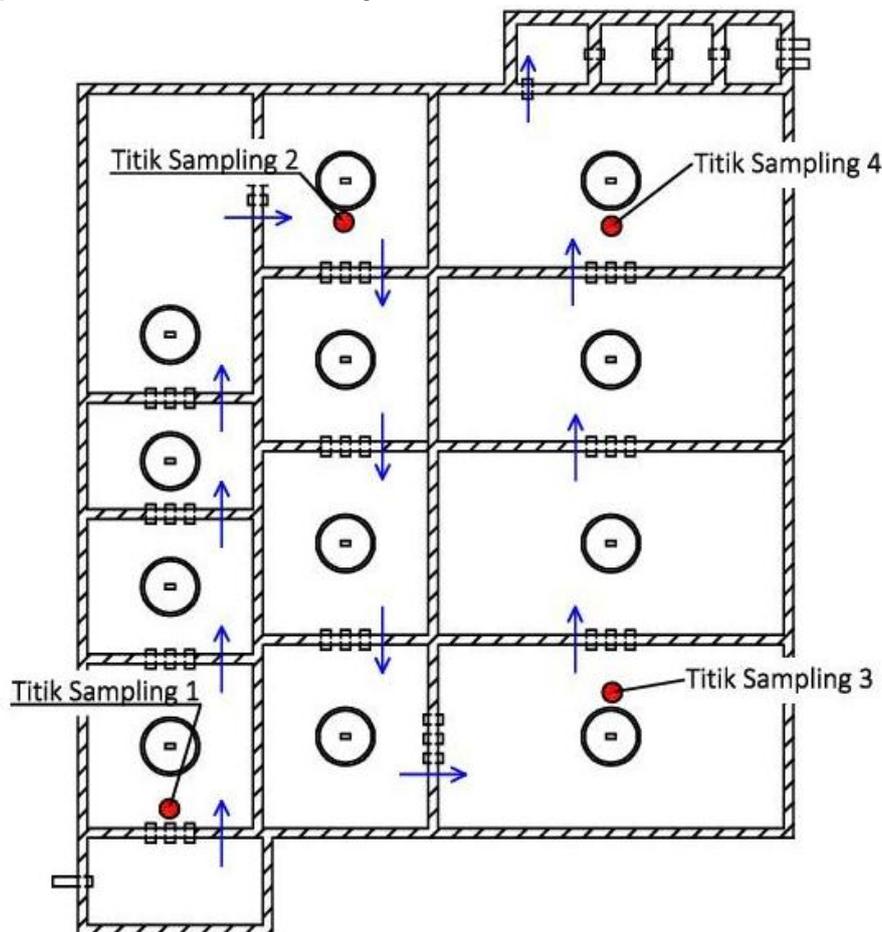
Tabel 1. Metode Analisis Laboratorium Kualitas Air

No	Parameter	Satuan	Metode Uji
1	COD	mg/L	SNI 6989 2-2009
2	BOD	mg/L	SNI 6989 72-2009
3	TSS	mg/L	In House Metode
4	Amonia (NH ₃)	mg/L	SNI 06-6989 30-2005
5	Total Koliform	Jumlah/100 mL	APHA 2012 Section 9221-B

2.2. Sampling

Sampling pengambilan air buangan dari IPAL dilakukan di beberapa titik. Tiitk sampling yang diambil ada 4 titik. Titik pengambilan sampling pada IPAL dan badan air dapat dilihat pada **Gambar 2**. IPAL domestik komunal Kampung Kandang berada pada elevasi 164 m di atas permukaan laut. IPAL

tersebut memiliki 14 bak pengolahan yang terdiri dari bak ekualisasi, bak pengolahan biologis, dan bak penampung akhir. Sampel air buangan diambil di 4 titik IPAL. Sedangkan 1 titik yang lain diambil dari effluen air buangan dan 1 titik yang lain merupakan sampel air dari sungai tempat air buangan dibuang. Titik sampling 1 merupakan bak penampung awal dari limbah cair domestik yang baru masuk. Titik sampling 2 mewakili bak biologis pertama pada IPAL. Titik sampling 3 merupakan air buangan yang diambil dari bak pengolahan biologis tahap kedua. Sedangkan titik sampling 4 merupakan air buangan yang diambil pada bak akhir sebelum dibuang ke badan air.



Gambar 2. Pengambilan Sampel Limbah Cair pada IPAL Domestik Komunal Kampung Kandang (Skala 1 : 100)

2.3. Perhitungan Evaluasi Standar *Stream* dan Standar Efluen

Perhitungan beban pencemaran dilakukan untuk membandingkan konsentrasi zat pencemar air buangan yang masuk ke badan air (sungai) dengan standar baku mutu yang ada. Evaluasi ini perlu dilakukan untuk menentukan karakteristik air buangan yang perlu diolah dan besarnya efisiensi pengolahan untuk karakteristik tersebut. Hal ini perlu diketahui untuk penentuan unit-unit pengolahan yang akan digunakan dalam perencanaan pengolahan air buangan ini. Pada persamaan (1) berikut dapat dihitung konsentrasi campuran ketika air buangan dibuang langsung ke sungai tanpa pengolahan. Konsentrasi campuran air buangan akan digunakan sebagai evaluasi standar *stream* dari suatu badan air.

$$C_c = \frac{Q_s C_s + Q_e C_e}{Q_s + Q_e} \quad (1)$$

dimana,

C_c = konsentrasi pencampuran (mg/L)

Q_s = debit sungai (l/detik)

C_s = konsentrasi di sungai (mg/L)

Q_e = debit effluen (l/detik)

C_e = konsentrasi di effluen (mg/L)

Efisiensi pengolahan yang harus dicapai oleh IPAL perlu ditentukan dengan perhitungan. Selain itu, efisiensi ini adalah sebagai perhitungan evaluasi standar effluen dari suatu pengolahan. Efisiensi pengolahan untuk tiap parameter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) (Saputra dkk., 2016).

$$\eta = \frac{C_{ab} - C_{ef}}{C_{ab}} \times 100 \% \quad (2)$$

dimana,

η : efisiensi pengolahan (%)

C_{ab} : konsentrasi pada air buangan (mg/L)

C_{ef} : konsentrasi pada baku mutu (mg/L)

Dengan demikian dapat dibuat suatu daftar efisiensi pengolahan yang diharapkan agar dapat memenuhi standar yang ada. Standar Baku mutu yang digunakan dalam evaluasi ini adalah Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Republik Indonesia, 2001). Baku mutu yang digunakan adalah sesuai dengan peruntukan air sungai sebagai sumber air baku warga. Untuk itu digunakan baku mutu air kelas 1 untuk evaluasi air buangan ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik

Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil laboratorium yang menunjukkan bahwa kualitas air limbah pada bak penampung awal (S_1) melebihi baku mutu. Sampel air limbah kedua merupakan air limbah yang telah mengalami proses sedimentasi dan menghasilkan nilai BOD, COD, TSS, dan Total koliform yang menurun dari sampel pertama. Namun terjadi peningkatan konsentrasi amonia yaitu dari 44,5014 mg/L menjadi 48,3295 mg/L. Terdapat penurunan pada setiap air buangan yang diambil dari titik sampling 3, 4 dan 5. Penurunan nilai parameter pada kualitas air menunjukkan bahwa IPAL masih bekerja. Namun, evaluasi tetap harus dilakukan untuk mengetahui apakah IPAL bekerja secara optimal atau tidak. Baku mutu yang digunakan untuk air limbah domestik yang sudah diolah diatur dalam peraturan gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY, 2016).

Tabel 2. Kualitas Air Limbah di Kampung Kandang, Desa Condongcatur, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, DIY.

Parameter	S_1 (mg/L)	S_2 (mg/L)	S_3 (mg/L)	S_4 (mg/L)
BOD	691	56,8	18,4	10,8
COD	1708,7	126,7	61,3	43,2
TSS	337	108	29	33
Amonia (NH_3)	44,5	48,3	56,9	5,0
Total koliform MPN /100 mL	240.10 ¹²	1600.10 ⁹	220.10 ⁶	140.10 ³

Sampel kelima merupakan sampel air sungai yang telah tercampur dengan output air limbah dari IPAL Komunal. Sampel tersebut menunjukkan hasil BOD dan COD yang belum memenuhi bakumutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Namun nilai effluen dari IPAL tersebut sudah mengalami penurunan. Konsentrasi TSS dan Amonia dalam sampel menunjukkan hasil yang telah memenuhi

bakumutu yaitu TSS di bawah 50 mg/L dan Amonia di bawah 0,5 mg/L (Republik Indonesia, 2001). Nilai total koliform masih jauh dari bakumutu yaitu 24.000 MPN /100 mL yang seharusnya maksimal 1000 jumlah /100 mL. Sampel keenam merupakan sampel air sungai yang berada sebelum pembuangan air dari IPAL. Hasil laboratorium pada sampel air tersebut menunjukkan bahwa nilai BOD, COD, TSS, dan Amonia pada air sungai sudah memenuhi bakumutu kelas I, namun pada nilai total koliform air sungai tersebut tidak memenuhi bakumutu dan memang tinggi sebelum tercampur dengan air buangan IPAL yaitu 24.000 jumlah /100 mL.

Tabel 3. Kualitas Air Sungai Pelang di Kampung Kandang, Desa Condongcatur, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, DIY.

Parameter	S ₅ (mg/L)	S ₆ (mg/L)
BOD	2,7	1
COD	15,4	5
TSS	2	2
Amonia (NH ₃)	0,012	0,0053
Total Koliform jumlah /100 mL	240.10 ²	240.10 ²

3.2. Evaluasi Air Buangan dan Perencanaan Rehabilitasi IPAL Domestik

3.2.1. Evaluasi Kualitas Air Buangan

Evaluasi kualitas air buangan dihitung dengan menggunakan perhitungan evaluasi standar *stream* dan evaluasi standar effluen. Evaluasi standar *stream* dihitung untuk mengetahui konsentrasi pencampuran air limbah domestik dengan badan air penerima sebelum air limbah tersebut diolah. Sedangkan evaluasi standar effluen dihitung berdasarkan persen reduksi yang harus dicapai setelah diolah. Rumus perhitungan dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2).

Konsentrasi campuran air limbah dan air sungai di Kampung Kandang dihitung dari konsentrasi air sungai dan air limbah yang tercantum pada **Tabel 2** dan **3**. Debit sungai yang digunakan pada perhitungan ini adalah sebesar 3 L/s dan debit limbah sebesar 1,025 L/s. Debit yang dihitung merupakan debit aktual yang diukur langsung di lapangan. Hasil perhitungan beban pencemaran dan persen penyisihan yang harus dicapai oleh IPAL Domestik Komunal di Kampung Kandang dapat dilihat pada **Tabel 4**. Dari tabel tersebut, parameter BOD, COD, TSS, amonia dan total koliform harus direduksi dengan pengolahan. Sedangkan persen efisiensi penyisihan tertinggi yang harus direduksi adalah parameter total koliform. **Gambar 3** menunjukkan grafik batang dari efisiensi pengolahan yang harus dicapai pada setiap parameter. Hasil perhitungan ini adalah % reduksi yang seharusnya dicapai oleh IPAL.

Tabel 4. Evaluasi Air Buangan

No	Parameter	Konsentrasi Campuran (mg/l)	Baku Mutu	% Reduksi
1	BOD	176,7	2	98,97
2	COD	438,86	10	97,72
3	TSS	87,3	50	42,73
4	Amonia	11,336	0,5	95,6
5	Total Koliform	6,1.10 ³	10000	99,99

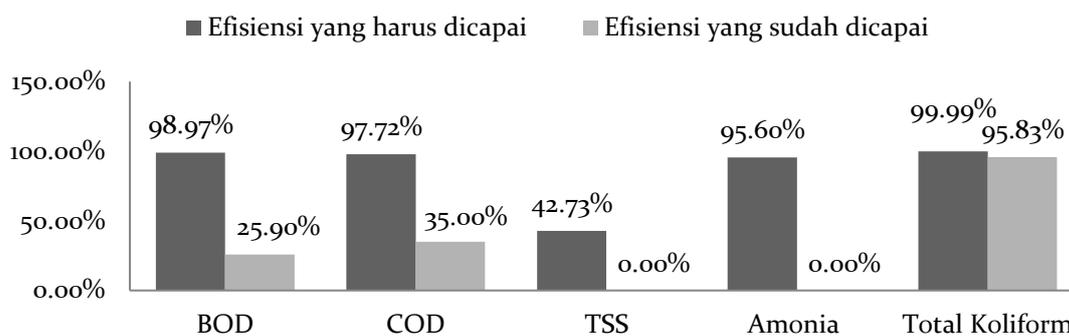
Setelah dihitung efisiensi pengolahan yang harus direduksi oleh IPAL, perhitungan evaluasi dilanjutkan dengan menghitung efisiensi pengolahan yang sudah dicapai oleh IPAL domestik komunal Kampung Kandang. Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 5**. Karakteristik limbah cair dengan parameter TSS dan Amonia sudah dapat dicapai oleh IPAL tersebut. TSS dapat disisihkan pada IPAL karena proses pengolahan fisik pada IPAL dapat berproses dengan baik. TSS merupakan padatan tersuspensi yang terkandung pada air buangan. TSS dapat tersisihkan salah satunya dengan proses pengendapan. Agar padatan tersuspensi semuanya terendapkan, dibutuhkan waktu optimal dalam

pengendapan. Amonia dapat berubah menjadi senyawa nitrogen lain dalam proses denitrifikasi atau nitrifikasi yang terjadi pada proses mikrobiologi yang terjadi pada sistem pengolahan biologi. Proses oksidasi amonia dalam proses pengolahan biologi yang menyebabkan penyisihannya dalam IPAL (Jetten *et al.*, 2001).

Tabel 5. Evaluasi IPAL Domestik Komunal Kampung Kandang

No	Parameter	% Reduksi Evaluasi
1	BOD	25,9
2	COD	35
3	TSS	-
4	Amonia	-
5	Total koliform	95,83

Sementara pengolahan untuk mereduksi parameter BOD, COD dan Total Koliform masih harus ditingkatkan. Pada **Gambar 3** dapat dilihat perbandingan efisiensi IPAL yang sudah dicapai pada setiap parameter. Penyisihan total koliform masih harus mencapai angka yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan pada IPAL belum dapat menyisihkan total koliform secara signifikan pada air limbah domestik.



Gambar 3. Efisiensi Reduksi IPAL Domestik Komunal Kampung Kandang

3.2.2. Perencanaan Rehabilitasi IPAL Komunal Domestik Kampung Kandang

Rancangan rehabilitasi dari IPAL domestik di Kampung Kandang adalah berupa penambahan bak ekualisasi, bak darurat dan penambahan filter. Pada bak pertama, ditambah dua bak tambahan untuk penyisihan kontaminan yang menyebabkan padatan lumpur pada bak awal mengambang yang kemudian akan mengalir pada bak ekualisasi. Bak darurat dipergunakan ketika aliran dihentikan sementara pada bak ekualisasi karena ada pemeliharaan atau pembersihan.

Sebelum dibuang ke badan air, bak penampung akhir diberi tambahan filter berupa karbon aktif dan kerikil yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses penyisihan kontaminan yang masih tinggi. Efisiensi yang harus ditunjang antara lain BOD, COD, dan total koliform. Efisiensi penyisihan limbah cair domestik menggunakan biofilter bisa mencapai 50-85% untuk parameter *suspended solid* (SS), COD, dan BOD (Romali and Mokhtar, 2011). Untuk itu, diharapkan penyisihan lebih besar untuk parameter BOD dan COD setelah dipasang filter tersebut.

4. Kesimpulan

Permasalahan IPAL komunal yang sudah terbangun di desa Kandang adalah lumpur yang terbentuk cukup banyak pada bak awal biologis sehingga perlu rutinitas yang cukup singkat untuk menyedot lumpur yang terbentuk. Air limbah domestik perlu diolah dengan menggunakan Instalasi Pengolahan Air Limbah. IPAL Domestik Komunal Kampung Kandang perlu menyisihkan parameter

COD, BOD, TSS, amonia, dan total koliform sebesar 97,7%, 98,9%, 42,7%, 95,6%, dan 99,9%. Setelah dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan pada IPAL, IPAL tersebut sudah mampu menyisihkan TSS dan amonia. Sedangkan BOD, COD, dan total koliform masih perlu disisihkan sebanyak masing-masing 25,9%, 35%, dan 95,83%. Perlu dilakukan rehabilitasi agar fungsi IPAL menjadi lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta atas kesempatan dan dana yang diberikan kepada kami untuk melaksanakan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Avsar, Y., Kimchie, S. and Ozturk, I. 2011. Rehabilitation of Wastewater Treatment Plant of Sakhnin City in Israel by Using Advanced Technologies. *Survival and Sustainability*, (January).
- BPS Kabupaten Sleman. 2018. Kecamatan Sleman Dalam Angka 2018. Sleman.
- DIY, G. 2016. Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Hegazy, M.H. and Gawad, M.A. 2016. Measuring and evaluating the performance of a wastewater treatment plant. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*, 16–20.
- Jetten, M.S.M. *et al.* 2001. Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox') process. *Current Opinion in Biotechnology*, 12 (3), 283–288.
- Karyadi, L. 2010. Partisipasi Masyarakat Dalam Program Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Di RT 30 RW 07 Kelurahan Warungboto, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta. . Universitas Negeri Yogyakarta.
- McIntosh, T. 1992. *Grey-Water Reclamation And Reuse System*.
- Metcalf and Eddy. 2004. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Fourth. New York: McGraw-Hill.
- Nanda, T. *et al.* 2017. Efektifitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Domestik Berdasarkan Parameter Kimia dan Bakteri Total Coliform di Kelurahan Malendeng, Kota Manado. *Media Kesehatan*, 9 (3), 1–8.
- Republik Indonesia, P. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Pengelolaan dan Pengendalian Pencemaran Air. Pemerintah Republik Indonesia, 1–41.
- Romali, N.S. and Mokhtar, N. 2011. Application of Biofilter System for Domestic Wastewater Treatment. *International Journal of Civil Engineering*. 13–18.
- Saputra, M., Hartati, E. dan Halomoan, N. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Waduk Melati, Kota Jakarta Pusat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22 (2), 52–62.
- Von Sperling, M. 2015. *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, International Water Association.
- Susanthi, D., Purwanto, M.Y. and Suprihatin, S. 2018. Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan IPAL Komunal di Kota Bogor. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19 (2), 229.
- US Environmental Protection Agency. 1974. *Process design manual for upgrading existing wastewater treatment plants*.
- Vítez, T., Ševčíková, J. and Oppeltová, P. 2012. Evaluation of the efficiency of selected wastewater treatment plant. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60 (1), 173–180.