

ANALISIS KEBERLANJUTAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR LIMBAH DOMESTIK *GREYWATER* MENGGUNAKAN TEKNOLOGI LAHAN BASAH BUATAN

SUSTAINABILITY ANALYSIS OF GREYWATER DOMESTIC WASTE WATER POLLUTION CONTROL USING CONSTRUCTED WETLANDS

Iga Maliga^{1)*}, Chay Asdak²⁾, Efan Yudha Winata³⁾

¹⁾STIKES Griya Husada Sumbawa Jl. Lingkar Kebayan, Unter Katimis, Sumbawa, Indonesia ²⁾Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Padjadjaran Bandung, Indonesia ³⁾Universitas Teknologi Sumbawa, Jl. Raya Olat Maras, Batu Alang, Sumbawa, Indonesia *Coresponden email: maliga07stikesghs@gmail.com

Diterima: 11 April 2020; Direvisi: 23 Februari 2021 ; Disetujui: 24 Februari 2021

ABSTRACT

Along with the significant increase of population in Bandung City at the moment, domestic wastewater management process must be considered to avoid river contamination, which one of the causes is domestic wastewater disposal without any prior management process. This study is located in Bandung City, which the research was performed in Research Center for Water Resources Office (PUSAIR) Bandung by involving residents of RW 09 Kelurahan Dago as respondents. The method used in this research is a combination of qualitative and quantitative methods. This study aims to analyze the sustainability of the domestic wastewater management process which is carried out using constructed wetlands by considering the economic, environmental, social, and technological aspects. The result shows that the sustainability value of the domestic wastewater management process conducted in the PUSAIR office is approximately 65.2% with the status of moderate sustainability. The detail result of each aspects is economic dimension 62.5%; ecological dimension 75%; social dimension 33.3%; and technological dimension 90%.

Keywords: Domestic wastewater, Constructed wetlands, Surface flow techniques, Sustainability analysis

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya jumlah populasi penduduk di Kota Bandung, proses pengelolaan air limbah domestik menjadi suatu hal yang harus dipertimbangkan saat ini untuk mencegah tercemarnya air sungai, salah satunya dapat disebabkan oleh pembuangan air limbah domestik tanpa ada proses pengelolaan terlebih dahulu. Penelitian ini dilakukan di Kota Bandung dengan lokasi penelitian di Kantor Pusat Pengembangan dan Penelitian Sumber Daya Air (PUSAIR) serta warga RW 09 Kelurahan Dago sebagai responden. Penelitian ini menggunakan metode kombinasi antara kualitatif dan kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberlanjutan proses pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan dengan lahan basah buatan dengan melihat aspek ekonomi, lingkungan, sosial dan teknologi. Nilai keberlanjutan keseluruhan proses pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan di Kantor PUSAIR Bandung sebesar 65,2% dengan status cukup berkelanjutan. Dengan rincian masing-masing aspek yaitu nilai dimensi ekonomi 62,5%; dimensi ekologi 75%; dimensi sosial 33,3% dan dimensi teknologi 90%. Penelitian ini menjadi salah satu alternatif solusi untuk mengendalikan pencemaran air limbah domestik karena memiliki nilai keberlanjutan yang cukup baik untuk diterapkan di masyarakat.

Kata Kunci: Air limbah domestik, Lahan basah buatan, Teknik aliran permukaan, Analisis keberlanjutan

PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah penduduk yang semakin meningkat seiring berjalannya waktu berdampak pada ketersediaan sumberdaya alam dan daya dukung lingkungan dalam menjalankan ekosistemnya. lavanan Iumlah penduduk Indonesia secara keseluruhan saat ini mencapai 254,9 juta jiwa (BPS, 2015). Jumlah tersebut diprediksikan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Peningkatan jumlah penduduk tersebut akan berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan akan air bersih (Hajia et al.,2015). Penggunaan air bersih untuk kebutuhan sehari-hari maupun komersil akan menyebabkan meningkatnya jumlah air limbah domestik. Meningkatnya jumlah air limbah domestik yang tidak diolah dan langsung masuk ke badan air, menyebabkan permasalahan dengan daya dukung dan daya tampung air permukaan. Air limbah domestik juga dapat mengganggu kestabilan ekosistem perairan yang akan berakibat fatal pada keanekaan hayati ekosistem dan landscape perairan. Selain itu, pengelolaan air limbah domestik yang tidak tepat akan berdampak pada meningkatnya produksi CO₂and CH₄vang berpotensi memiliki dampak pada kasus pemanasan global (Rosso and Stenstrom, 2008). Masalah ini menjadi lebih berat oleh kenyataan pesatnya laju pertumbuhan penduduk dan industri pemakai air permukaan dan air tanah.

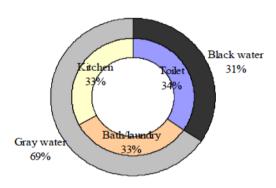
Air limbah domestik dibedakan menjadi greywater dan blackwater. Air limbah domestik yang biasa dikenal dengan sebutan greywater merupakan limbah yang terdiri atas air bekas mandi, air cucian dan air yang berasal dari dapur (Gross, 2015). Greywater yang merupakan air limbah domestik ini biasanya tidak diolah lebih lanjut sehingga seringkali dibuang langsung melalui selokan ataupun dibiarkan meresap ke dalam tanah.

Greywater mengandung berbagai polutan kimia baik organik maupun anorganik yang berasal dari deterjen sampo, sabun, lemak dan bahanbahan lain. Greywater seringkali menimbulkan masalah yang serius karena limbah domestik kategori ini berjumlah sekitar 70% dari total air limbah domestik. Kandungan dalam greywater ini antara lain, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), logam berat dan bakteri/mikroorganisme patogen (Shankhwar et al., 2015).

Meningkatnya jumlah pemukiman dan industri di Kota Bandung juga mengakibatkan bertambahnya beban polutan, terutama polutan organik (Wangsaatmaja *et al.*,2006). Hal ini disebabkan juga oleh buruknya kualitas air limbah

domestik yang dibuang langsung ke badan air (air permukaan) akan menyebabkan permasalahan yang krusial. Meskipun kadar/konsentrasi pencemar di dalamnya tidak besar tetapi dengan akumulasi dari berbagai sumber akan menyebabkan meningkatnya kadar pencemaran yang akan merusak kualitas tanah dan air permukaan (Kivaisi, 2001).

Komposisi perbandingan antara *greywater* dan *blackwater* dapat dilihat pada Gambar 1. Komposisi *greywater* sebanyak 69% terbagi ke dalam air limbah dapur 33% dan air limbah bekas mandi dan sisanya 3% berasal dari *blackwater* toilet. Air limbah *blackwater* yang tidak bisa diolah ke dalam sistem pengelolaan *constructed wetlands* (CWs) sebanyak 31%.



Gambar 1 Komposisi Perbandingan Air Limbah Domestik

sumber : Imhof dan Muhlemann, 2005

Adanya kekhawatiran mengenai intervensi manusia terhadap air, suplai air bersih yang tidak seimbang. dan tidak tepatnya manajemen pengolahan air limbah domestik maka proses pengolahan untuk penggunaan kembali air limbah domestik ini menjadi salah satu isu penting seiring dengan peningkatan kebutuhan akan air dalam kebutuhan konsumsi ataupun kegiatan agrikultural (Shankhwar et al., 2015). Dengan demikian, air limbah domestik yang tidak diolah menyebabkan langsung dapat permasalahan yang mendasar pada ketersediaan dan kemurnian air bersih.

Hampir semua proses manajemen air limbah domestik dihadapkan pada berbagai tantangan yang sama, yaitu masalah biaya, kemudahan dalam pelaksanaannya, dan dapat diterima oleh publik serta kebutuhan lahan/tempat yang relatif kecil (McIlwaine dan Redwood, 2011). Saat ini berkembang suatu teknologi lahan basah buatan sistem aliran permukaan dengan berbagai jenis tanaman air yang mampu menyerap polutan pada

air limbah domestik, agar menjadi air yang dapat digunakan lagi (reuse).

Teknologi lahan basah buatan sistem aliran permukaan adalah salah satu teknologi alternatif pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan tanaman air (Davis, 1996). Kandungan nitrogen dan fosfor akan diserap oleh tanaman untuk kepentingan pertumbuhan tanaman, juga akan mempengaruhi nilai BOD, COD, kandungan nutrien, bakteri dan menghilangkan bau serta menjernihkan air.

Surface Flow (SF) Wetlands merupakan teknologi yang lebih murah (Halverson, 2004). Surface Flow (SF) Wetland memiliki banyak hal yang ditawarkan untuk kontrol polusi dalam berbagai aplikasi. Hal ini memiliki fungsi tambahan dalam mempertahankan ruang hijau di lingkungan perkotaan (Kadlec, 1995). Secara khusus, model aliran permukaan mencoba menggabungkan proses seperti penghilangan kadmium, bahan organik, fosfor, nitrogen (Gargallo et al., 2017), peran vegetasi (Galanopoulos et al., 2013), sedimentasi dan resuspensi padatan yang tersebar (Gargallo et al., 2017). Jenis tanaman yang biasa digunakan dalam konstuksi ini adalah tanaman air seperti Typha latifolia dan Vetiver sp. (Cahyana dan Aulia, 2019). Selain tanaman Typha angustifolia, Phragmites australis dan Sparganium erectum juga biasa digunakan.

Penggunaan teknologi alternatif ini diklaim relatif lebih murah, lahan yang digunakan relatif lebih kecil dan mudah dilaksanakan sehingga sangat cocok diterapkan dimana saja, baik di perkotaan yang terkendala lahan maupun pedesaan. Faktanya, teknik ini belum banyak digunakan di kalangan masyarakat baik skala pemukiman maupun skala lebih luas dalam bidang perhotelan, pusat perbelanjaan maupun perkotaan (David *et al.*, 2020). Ennabili dan Radoux (2020), menyatakan bahwa pengggunaan lahan basah buatan dapat lebih murah dan mudah diadaptasi oleh lingkungan sosial.

Arifin et al. (2013) mengungkapkan keinginan masyarakat memiliki sarana sanitasi yang baik di lingkungan tempat tinggal relatif rendah dan masih banyak yang membuang air limbah bekas mandi dan cuci langsung ke sungai. Kelompok Kerja Sanitasi Kota Bandung (2010) menyatakan sungaisungai di Kota Bandung sangat tercemar oleh bakteri E. Coli yang mana bakteri ini merupakan parameter tercemarnya sungai oleh air limbah, artinya pelayanan dan pengelolaan air limbah rumah tangga masih sangat rendah.

Dengan demikian penelitian ini perlu dilakukan untuk dijadikan solusi yang akan menjadi teknologi yang ramah lingkungan dan mudah diadaptasi di setiap rumah-rumah warga secara komunal. Penelitian ini bertuiuan mengetahui status keberlaniutan proses domestik pengelolaan air limbah tersebut berdasarkan 4 aspek yaitu ekonomi, sosial, teknologi dan lingkungan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Dago (Kawasan perumahan di sekitar Kantor PUSAIR) dan areal kantor PUSAIR Jalan Ir. H. Djuanda 193, Bandung. Adapun sumber air limbah ke IPAL tersebut berasal dari selokan sekitarnya, di mana aliran airnya berasal dari perumahan Kelurahan Dago. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2016 – Februari 2017. Objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah air limbah domestik dan warga masyarakat yang berada di Kelurahan Dago.

Jenis tanaman yang digunakan dalam lahan basah buatan ini adalah Thypa angustifolia, Pontederia Cordata, Cyperus haspan Eleocharisdulcis. 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). Konsep tersebut digunakan untuk konstruksi prototipe dari lahan basah buatan dengan 4 kolam untuk 4 jenis tanaman (Gambar 2). Akan tetapi sebelum air selokan masuk ke lahan basah, terlebih dahulu air selokan diolah dalam kolam Anaerobic Upflows Filter (AUF).

Pengolahan air limbah dengan teknologi lahan basah pada dasarnya memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam substrat tanaman dan tanaman itu sendiri. Dalam sistem ini terjadi aktivitas pengolahan, seperti sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan pengolahan biologis karena aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas tanaman untuk proses fotosintesis, fotooksida dan plant uptake (Metcalf & Eddy, 1993).

Parameter kualitas air limbah domestik yang dianalisis meliputi suhu, residu tersuspensi, amonium, deterjen, fosfat total, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), minyak dan lemak, nitrat, nitrit, nitrogen organik, pH dan total koliform.



Gambar 2 Prototipe Lahan Basah Buatan Sistem Aliran Permukaan

Selain itu dalam penelitian ini melibatkan responden sebanyak 31 Kepala Keluarga (KK) untuk mengetahui aspek sosial (penerimaan dan partisipasi masyarakat) dalam proses pengelolaan limbah domestik dilakukan air yang tersebut.Status keberlanjutan sistem pengelolaan air limbah domestik ditetapkan sebagai indeks keberlanjutan, dihitung dengan menggunakan rumus yang diadaptasi dari perhitungan yang didapatkan dalam Evaluation Criteria for Wastewater Treatment Technologies Assessment (Garfí et al., 2012). Adapun indikator keberlanjutan dalam penelitian ini meliputi aspek ekonomi, lingkungan, teknologi dan sosial-budaya (Tabel 1).

Tabel 1 Indikator Penilaian Aspek Keberlaniutan

Tabel 1 Indikator i emidian Aspek Rebenanjutan						
ASPEK	INDIKATOR					
Ekonomi	Biaya, tenaga kerja					
Lingkungan	Luas lahan yang digunakan, Bau/ suara/ serangga/ visual, Sistem <i>reuse</i> , Air, Bahan baku, Parameter Kualitas air limbah domestik (Pemen KLHK 68 tahun 2016)					
Teknologi	Daya tahan, Sistem kontruksi, Perawatan, Keamanan instalasi, Skala (kecil/ onsite/ lokal)					
Sosial – budaya	Partisipasi, Penerimaan masyarakat					

Sumber : Balkema, 2002

Terkait dengan spesifikasi konstruksi lahan basah buatan dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 2 Konstruksi Instalasi

Unit Instalasi	Dimensi		
Anaeorobik Up Flow (AUF)	Panjang: 3,5 m Lebar: 2,0 m Kedalaman: 2,0 m		
Surface Flow Wetlands	Panjang: 8,5 m Lebar: 2,0 m Kedalaman: 0,8 m		
Bak Outlet	Kedalaman : 1,0 m Diameter : 0,8 m		

Sumber: Data Primer PUSAIR, 2017

Indeks keberlanjutan menggunakan rata-rata nilai indikator dalam satuan persentasesebagai berikut:

Nilai indikator =
$$\frac{\sum \text{Nilai aktual indikator}}{\sum \text{Nilai maksimal indikator}} x 100$$

Tahapan perhitungan untuk mendapatkan indeks keberlanjutan sebagai berikut:

- 1 Nilai tema dirata-ratakan berdasarkan dimensi lingkungan, ekonomi, sosial dan teknologi.
- Menghitung indeks keberlanjutan dengan menghitung rataan nilai dimensi lingkungan, ekonomi, sosial dan teknologi.

Nilai yang mendekati 100 artinya semakin baik atau berkelanjutan, sementara nilai yang mendekati 0 artinya semakin buruk atau tidak berkelanjutan. Interpretasi nilainya dibagi ke dalam tiga kategori yaitu: 0-33= tidak berkelanjutan; 34-66= cukup berkelanjutan; dan 67-100= berkelanjutan

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Observasi lapangan

Observasi lapangan dilakukan dengan mengamati secara langsung sumber buangan air limbah domestik yang dialirkan melalui selokan. Pengamatan langsung pada proses pengelolaan air limbah domestik dengan lahan basah buatan aliran permukaan.

b. Analisis Laboratorium

Sampel air limbah domestik yang diperoleh dari 3 titik pengambilan sampel sebelum air diolah dengan menggunakan lahan basah buatan aliran permukaan akan dianalisis secara laboratorium untuk menentukan nilai aspek fisika, kimia dan biologi sampel air tersebut. Selanjutnya hasil analisis akan dibandingkan dengan parameter standar baku mutu air limbah domestik. Selain sampel air yang belum diolah dengan lahan basah buatan aliran permukaan, air yang merupakan hasil pengolahan tersebut juga dianalisis dan dibandingkan dengan hasil sebelumnya untuk mengetahui efektivitas lahan basah buatan aliran permukaan dalam mengurangi kadar pencemar.

Metode pengujian parameter air limbah domestik dengan menggunakan pengujian di bawah ini,

- 1. Metode pengujian residu tersuspensi menggunakan metode Nomor 2540-D-2012 (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- 2. Metode pengujian parameter amonium menggunakan SNI 06-2479-1991.

- 3. Metode pengujian deterjen menggunakan metode Nomor 5540-C-2012 (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- 4. Metode pengujian parameter fosfat total menggunakan metode Nomor 4500-P (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- 5. Metode pengujian parameter nitrat menggunakan SNI 06-2480-1991.
- 6. Metode pengujian parameter nitrit menggunakan SNI 06-6989.9-2004.
- 7. Metode pengujian parameter nitrogen organik menggunakan SNI 06-2478-1991.
- 8. Metode pengujian parameter oksigen terlarut menggunakan metode Nomor 4500-OC (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- Metode pengukuran parameter pH menggunakan SNI 06-6989.11-2004.
- 10. Metode pengujian parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) menggunakan metode Nomor 5210-B (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- 11. Metode pengujian parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) menggunakan SNI 06-6989.2-2009.
- 12. Metode pengujian parameter minyak dan lemak menggunakan metode Nomor 5520-B (APHA-AWWA-WEF, 2012).
- 13. Metode pengujian parameter total koli menggunakan metode Nomor 9222-B (APHA-AWWA-WEF, 2012).

Analisis untuk efektivitas pengelolaan air limbah domestik akan dievaluasi berdasarkan persen (%) penurunan BOD, COD, pH, suhu, TSS, total koliform, fosfat total, nitrogen organik, nitrat, nitrit, dan amonia total diinlet dan outlet prototipe lahan basah buatan dengan rumus berikut (Suparmin, 2001):

% Efektivitas =
$$\frac{nilai\ Inlet-nilai\ outlet}{nilai\ Inlet}$$
 × 100%

c. Wawancara

Wawancara dilaksanakan secara lisan dalam pertemuan tatap muka untuk menggali informasi mendalam terhadap proses pengelolaan air limbah domestik dengan lahan basah buatan aliran permukaan di Kantor PUSAIR, Bandung. Dengan menggunakan teknik wawancara ini dimungkinkan untuk mengetahui informasi yang relevan terkait dengan usaha pengendalian pencemaran air limbah domestikdalam skala yang lebih luas dan mudah untuk diadaptasi untuk kalangan masyarakat secara langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Limbah Selokan

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap parameter residu tersuspensi, BOD, COD,

amonium, deterjen, minyak dan lemak, nitrat, nitrit, nitrogen organik, pH, fosfat total dan total koli. Beberapa parameter yang memiliki nilai melebihi ambang batas yang telah ditentukan, diantaranya adalah residu tersuspensi, fosfat total. BOD, COD, minyak dan lemak, nitrat, dan total bakteri koliform (Tabel 2). Penerapan teknologi lahan basah buatan dengan sistem aliran permukaan diharapkan dapat menurunkan senyawa pencemar golongan nitrogen dan fosfor. Seperti diketahui dalam lahan basah terdapat komponen abiotik, seperti air dan substrat tanaman air serta komponen biotiknya adalah tanaman air, mikroflora (alga bentik dan planktonik), dan mikroorganisme lainnya. Kedua komponen biotik tersebut berperan dalam memurnikan air melalui penyerapan nutrien (nitrogen dan fosfor) dalam air (Abwao et al., 2014).

Tingginya kadar ammonium yang mencapai 12,6 mg/L dalam air selokan sebagai pertanda adanya air limbah domestik yang masuk ke selokan. Kemudian untuk kadar parameter fosfat total idealnya adalah 0 mg/L, akan tetapi hasil lapangan terukur sebesar 0,976 mg/L (Tabel 2). Hal ini dikhawatirkan akan terjadi penumpukan fosfat di badan air sehingga terjadi eutrofikasi. Akan tetapi dengan penanganan yang tepat kandungan fosfat dialihkan untuk kebutuhan nutrien tanaman dan tidak berdampak negatif pada badan air (Asano et al., 2007).

Kandungan bakteri total koliform yang ditemukan pada sampel air limbah domestik yang ada di lokasi penelitian sangat tinggi melebihi standar yang ditetapkan oleh pemerintah. Total koliform menjadi indikator tingginya kandungan bakteri yang dapat beresiko tinggi terhadap kesehatan manusia, karena bakteri tersebut masuk ke dalam kategori termo-toleran sehingga masih aktif meskipun dalam keadaan suhu tinggi (Asano et al., 2007). Berdasarkan Permen KLHK No.68 tahun 2016, jumlah total koliform yang diperbolehkan dalam kualitas air limbah domestik adalah 3000 dalam setiap 100 mL air limbah.

Bakteri golongan koli tinja digunakan sebagai indikator adanya pencemaran air. Bakteri tersebut berasal dari saluran pencernaan manusia atau hewan, dan sisa-sisa pembusukan tumbuhan. Jika bakteri ini ditemukan dalam jumlah banyak maka mengindikasikan adanya pencemaran yang terjadi akibat bakteri. Kuantitas total koliform yang tinggi dalam air selokan, sebagai indikasi adanya bakteri yang berasal makhluk hidup (kotoran manusia, fecal/urine) yang tercampur. Daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi, penumpukan jumlah total koliform pada air limbah dapat dapat

berdampak serius pada resapan air minum dan kesehatan (Jackson *et al.*, 2018).

Untuk parameter total koliform dari hasil analisis kualitas air selokan ternyata menunjukkan nilai di atas standar yang ditetapkan oleh pemerintah (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan bahwa air limbah domestik yang berasal dari pemukiman warga sekitar kawasan perkantoran PUSAIR, Bandung telah tercemar. Parameter total koliform yang cukup tinggi dapat dikaitkan dengan kondisi tingkat kepadatan pemukiman penduduk yang cukup tinggi pula dan masih banyaknya warga di sekitar yang membuang air saluran pembuangan mandi, cuci dan kakusnya (MCK) secara langsung ke selokan. Hal ini terlihat dari hasil observasi ketika peneliti menyusuri aliran selokan yang ada di sekitar kawasan penelitian yang dipenuhi dengan kotoran manusia (tinja). Dengan demikian dapat diduga yang menyebabkan tingginya nilai total koliform di selokan berkaitan dengan air limbah domestik tersebut.

Kualitas Selokan Setelah Pengolahan

Seperti diuraikan sebelumnya, bahwa beberapa parameter kualitas air selokan yang masuk ke prototip lahan basah buatan telah melebihi kriteria kualitas air (Tabel 2). Akan tetapi dalam pembahasan selanjutnya terkait kinerja lahan basah buatan difokuskan terhadap parameter nitrogen (amonium dan nitrogen organik) dan fosfor (Total fosfat).

Amonium (NH₄-N) dan Nitrogen Organik

Senyawa amonium adalah senyawa yang

dihasilkan dari proses penguraian senyawa nitrogen organik dan bahan organik oleh bakteri pengurai. Senyawa amonium terionisasi dalam air dan diserap tanaman, baik makroflora maupun mikroflora sebagai sumber nutrien nitrogen untuk pertumbuhannya. Berdasarkan hasil percobaan untuk variasi debit 0,01 L/detik dan 0,05 L/detik, lahan basah buatan dapat penurunan kadar amonium mencapai 12,8 % dan 13,7% dari kadar awal 14,8 mg/L dan 7,5 mg/L (Gambar 3). Akan tetapi, pada percobaan variasi debit 0,1 L/detik, parameter amonium tidak mengalami penurunan, tetapi kenaikan persentase sebesar 3,8% (Gambar 3). Hal ini diduga disebabkan waktu detensi atau waktu tinggal sangat berkaitan dengan debit aliran. Semakin kecil debit aliran akan semakin lama waktu tinggal dan proses pengubahan amonium menjadi nitrat dan nitrit oleh bantuan bakteri semakin baik. Debit yang besar mempengaruhi peningkatan kadar amonium di perairan karena mikroorganisme tidak mempunyai waktu yang lama dalam mengoksidasi bahan organik tersebut (Hanisa dkk., 2017).

Penjelasan lainnya, diduga adanya perbedaan debit yang berpengaruh terhadap kecepatan airnya. Secara tidak langsung akan berpengaruh pula terhadap laju penyerapan amonium oleh mikroflora sebagai produsen primer dalam lahan basah buatan tersebut. Semakin kecil kecepatan airnya, kontak dengan mikroflora dalam memfiksasi amonium semakin lama, sehingga menyerapan amonium lebih banyak. Kebalikannya, jika kecepatan airnya amonium semakin kecil.

Tabel 3 Hasil Analisis Kualitas Air Selokan Sebelum Pengolahan

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Kriteria kualitas air kelas III, Peraturan Pemerintah No. 82
				tahun 2001
1	Suhu	°C	23,3	-
2	Residu Tersuspensi	mg/L	10	400
3	Amonium(NH ₄ -N)	mg/L	12,6	-
4	Detergen (MBAS)	mg/L	1,41	0,2
5	Fosfat Total (PO ₄ -P)	mg/L	0,976	1
6	BOD	mg/L	27	6
7	COD	mg/L	63	60
8	Minyak dan Lemak	mg/L	4,0	1
9	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	0,95	20
10	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	0,016	0,06
11	Nitrogen Organik	mg/L	1,03	
12	рН	-	7,3	6 - 9
13	Total Koli	Jml/100 mL	350.000	10.000



Gambar 3 Hasil Analisis Amonium

Gambaran perubahan senyawa amonium di lahan basah tersebut, fenomenanya terjadi pula untuk senyawa nitrogen organik, mengingat kedua senyawa tersebut saling berkaitan. Berdasarkan hasil percobaan untuk variasi debit 0,01 L/detik dan 0,05L /detik, lahan basah buatan dapat penurunan kadar amonium mencapai 45,0 % dan 28,6% dari kadarawal 1,32 mg/L dan 0,82 mg/L nitrogen organik (Gambar 4). Akan tetapi, pada percobaan variasi debit 0,1 L/detik, parameter ini tidak mengalami penurunan, tetapi kenaikan persentase sebesar 22,1% (Gambar 4).



Gambar 4 Hasil Analisis Nitrogen Organik

Penjelasan lebih lanjut bahwa medium air dalam lahan basah terjadi proses penguraian senyawa nitrogen organik dan bahan organik oleh bakteri pengurai yang menghasilkan diantaranya menghasilkan senyawa amonium (NH₄+). Oleh karena itu diduga kelompok bakteri tersebut berperan dalam proses mineralisasi senyawa nitrogen organik, seperti protein, gula-gula amino, dan asam nukleat menjadi bentuk bentuk amonium (NH₄+) (Paul and Clark, 1989). Senyawa nitrogen organik terhidrolisis melalui proses amonifikasi secara enzimatis. Secara alami proses hidrolisis enzimatis menjadi amonium yang dilakukan oleh mikroorganisme (Paul and Clark, 1989).

Hasil amonifikasi tersebut diduga lebih sedikit yang diserap oleh mikroflora, karena faktor kecepatan air mempengaruhi laju penyerapannya. Dengan demikian, pada variasi debit 0,1 L/detik tersebut terjadi ada akumulasi senyawa amonium di outlet lahan basah buatan.

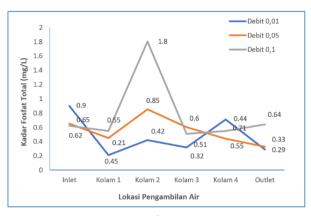
Penjelasan lain terkait terjadinya akumulasi senyawa nitrogen organik di outlet pada variasi debit 0,1 L/detik, diduga sumber nitrogen organiktidak hanya dari medium air yang mengalir, tetapi dapat berasal dari substrat lahan basahnya vang sebelumnya sudah tersedia senyawasenyawa nitrogen organik, seperti protein. Kemudian karena ada aktivitas kelompok bakteri vang berperan dalam proses dekomposisi senyawa nitrogen organik, maka terjadi perpindahan hasil dekomposisi ke medium air. Dengan demikian akan terjadi akumulasi senyawa nitrogen, misalnya hasil dekomposisi senyawa protein dapat berupa asam amino, asam nukleat, sehingga terdeteksi di outletnya sebagai senyawa-senyawa nitrogen organik.

Fosfat Total (PO₄-P)

Dalam air limbah, sumber fosfat dapat berasal dari air limbah penduduk seperti sisa bahan deterjen, air limbah industri, dan air limbah pertanian. Kandungan fosfat yang berlebih dapat menjadi salah satu penyebab proses eutrofikasi di sungai atau badan air lainnya. Fosfat dalam air limbah domestik dalam bentuk anorganik dengan ortofosfat (PO,HPO,H₂PO) (Suhardjo, 2008) .

Greg, Young dan Brown (1998) dalam Catharina et al. (2013), kecepatan dan kemampuan reduksi kandungan fosfat dan polutan lainnya pada air limbah tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti suhu, ketersediaan oksigen, dan pH. Kemudian, keterbatasan hidrologis berupa beban hindrolik ketika debit aliran air melebihi kapasitas disain dapat menyebabkan waktu retensi terlalu singkat untuk penurunan polutan secara efektif.

dijelaskan Seperti telah sebelumnya, mikroflora sebagai produser primer yang paling dominan, bertanggung jawab dalam proses fiksasi karbon dan nutrien utama, seperti golongan nitrogen danfosfor (Vadeboncoeur and Steinman, 2001). Terkait proses penyerapan oleh mikroflora terhadap parameter fosfat total, nilai persentase penuruan kadar fosfat total tertinggi diperlihatkan oleh variasi debit 0.01 L/detik sebesar 67.8% dan variasi debit 0,05 L/detik sebesar 49,2% (Gambar 5). Akan tetapi untuk variasi debit 0,1 L/detik, parameter fosfat total tidak mengalami penurunan, tetapi kenaikan kadar dengan nilai persentase sebesar 3,2% (Gambar 5).



Gambar 5 Hasil Analisis Fosfat Total

Fenomena ini terjadi seperti penjelasan untuk parameter amonium sebelumnya, dugaan adanya perbedaan debit yang berpengaruh terhadap kecepatan airnya. Secara tidak langsung akan berpengaruh pula terhadap laju penyerapan senyawa fosfat oleh mikrofloradalam lahan basah buatan tersebut. Semakin kecil kecepatan airnya,kontak dengan mikroflora dalam memfiksasi fosfat total semakin lama, sehingga menyerapannya lebih banyak. Kebalikannya, jika kecepatan airnya lebih besar, maka mikroflora yang menyerap amonium semakin kecil.

Dibandingkan dengan ketentuan yang ada, seharusnya nilai fosfat total dalam limbah domestik bernilai 0 mg/L. Hal ini ditujukan agar tidak terjadi penumpukkan nilai fosfat yang berakibat pada eutrofikasi badan sungai. Berdasarkan data yang didapatkan kandungan fosfat total masih belum memenuhi ambang batas

yang diharapkan. Hal ini dapat disebabkan karena debit air yang belum optimal sehingga proses asimilasi kadar fosfat belum maksimal (Hanisa dkk., 2017). Selain itu, lama waktu tinggal air limbah juga mempengaruhi efektivitas pereduksian polutan pada air limbah (Mubin dkk., 2016).

Nilai Efektivitas Persen Reduksi

Proses pengolahan limbah dengan teknologilahan basah buatansistem aliran dapat permukaan ini dinilai kinerjanya berdasarkan nilai efektivitas persen reduksi untuk setiap parameter. Tabel 3 menunjukkan bahwa berbagai parameter kualitas air selokan vang tercemar air limbah domestik dengan berbagai variasi debit. Tiap parameter kualitas air memiliki efektivitas bervariasi vang dalam menurunkan kadar pencemar. **Indeks** Keberlaniutan Pengelolaan Air Limbah **Domestik**

Secara keseluruhan, nilai indeks keberlanjutan pengelolaan air limbah domestik dengan menggunakan teknik lahan basah buatan adalah nilai rata-rata dari 4 (empat) dimensi penilaian. Adapun empat dimensi tersebut adalah lingkungan, ekonomi, sosial, dan teknologi. Tiap dimensi memiliki indikator masing-masing (Tabel 4).

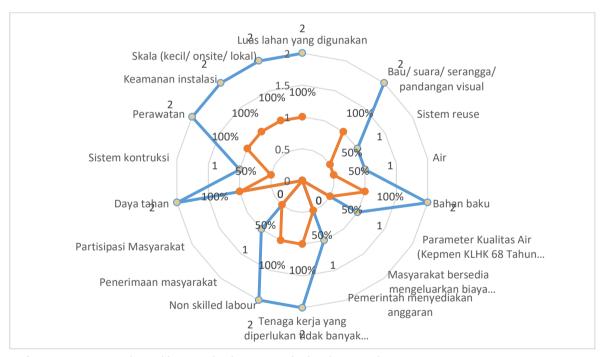
Untuk memudahkan telaahan, nilai indeks keberlanjutan dalam Tabel 4 disajikan dalam bentuk diagram radar, seperti terlihat dalam Gambar 6.

Tabel 4 Nilai Efektivitas Persen Reduksi Kualitas Air Menggunakan Lahan Basah Buatan

No	Parameter	Sebelum Perlakuan	Outlet	% Reduksi				
			Debit (L/deti	Debit (L/detik)				
			0,01	0,05	0,1	0,01	0,05	0,1
1	Residu Tersuspensi(mg/L)	10	5	5	28	50	50	-
2	Amonium (mg/L)	12,6	12,9	6,47	7,03	-	48,7	44,2
3	Detergen (mg/L)	1,41	0,413	0,347	1,05	70,7	75,4	25,5
4	Fosfat Total (mg/L)	0,976	0,288	0,329	0,635	70,5	66,3	34,9
5	BOD (mg/L)	27	16	15	17	40,7	44,4	37
6	COD (mg/L)	63	36	31	46	42,9	50,8	26,9
7	Minyak dan Lemak (mg/L)	4	2	1	0,1	50%	75%	97,5
8	Nitrat (mg/L)	0,95	0,6	2,56	0,16	36,8	-	83,2
9	Nitrit(mg/L)	0,016	0,012	0,116	0,472	25%	-	-
10	Nitrogen Organik (mg/L)	1,03	0,726	0,583	1,49	29,5	43,4	-
11	total Koli (jumlah/100mL)	350.000	440.000	900.000	400.000	-	-	-

Tabel 5 Indeks Keberlanjutan Total

Tabel	1 3 mueks kebenanjulan rolai					
	Indikator	Skor	Nilai	Dimensi	Status Keberlanjutan	
No						
1	Luas lahan yang digunakan	2	100 %			
2	Bau/suara/serangga/pandangan visual	2	100 %			
3	Sistem reuse	1	50 %	Lingkungan 75		
4	Air	1	50 %			
5	Bahan Baku	2	100 %			
6	Parameter kualitas air	1	50 %			
7	Masyarakat bersedia mengeluarkan biaya	0	0 %			
	sendiri untuk instalasi				Indeks	
8	Pemerintah menyediakan anggaran	1	50%	Ekonomi 62,5 %		
9	Tenaga kerja yang diperlukan tidak banyak	2	100 %		65,2%	
	maksimal 3 orang					
10	Non Skill labour	2	100 %		Cukup Berkelanjutan	
11	Penerimaan masyarakat	1	50 %	Sosial 33,3 %		
12	Partisipasi masyarakat	0	0 %			
13	Daya tahan	2	100 %			
14	Sistem konstruksi	1	50%			
15	Perawatan	2	100 %	Teknologi 90 %		
16	Keamanan instalasi	2	100 %			
17	Skala (kecil/on site/lokal)	2	100 %			



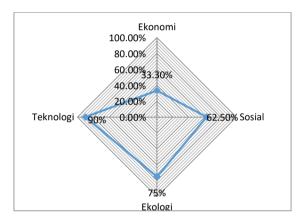
Gambar 6 Diagram Radar Indikator Keberlanjutan Teknik Lahan Basah Buatan

Keterangan:

skor item keberlanjutan
Persen nilai keberlanjutan

Berdasarkan Gambar 6, berbagai indikator yang terbagi dalam empat dimensi memiliki nilai yang beragam bergantung pada penilaian dan skor masing-masing di lapangan. Aspek ekonomi, yaitu keinginan masyarakat membayar iuran mendapatkan skor paling buruk 0, karena berdasarkan hasil penelitian adanya ketidakpedulian masyarakat dalam menanggung iuran untuk proses pengelolaan air limbah domestik. Selain itu pada aspek sosial yaitu indikator partisipasi juga mendapatkan skor 0 karena masyarakat belum memperlihatkan keinginan untuk berpartisipasi dalam proses pengelolaan air limbah domestik baik dari segi perencanaan, pelaksanaan maupun evaluasi.

Secara keseluruhan nilai keberlanjutan proses pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan di Kantor PUSAIR Bandung memiliki nilai persen indeks keberlanjutan sebesar 65,2% dengan status cukup berkelanjutan meskipun pada masingmasing dimensi memiliki ukuran yang berbedabeda. Dimensi ekonomi memiliki nilai 33,3%, teknologi sebesar 90%, ekologi 75% dan sosial 62,5% seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram Radar Nilai Indeks Keberlanjutan Lahan Basah Buatan Aliran Permukaan

Dengan nilai indeks keberlanjutan teknologi sebesar 90% artinya dapat memberikan kontribusi vang besar dalam keberlanjutan sistem. Namun demikian, nilai keberlanjutan sosial 62,5% dan kepadatan penduduk menjadi kendala tersendiri terutama dalam hal kebutuhan lahan untuk pengembangan sistem pengolahan IPAL dengan teknologi yang sama. Aspek ekonomi dengan nilai indeks keberlanjutan 33,30% artinya memiliki skor keberlanjutan yang sedang, karena memang dominasi pemerintah dalam investasi pembangunan sangat tinggi dibandingkan peran masyarakat. Namun, dalam pembiayaan untuk pemeliharaan, operasional dan masyarakat memiliki kemampuan dan kemauan dalam membiayainya. Secara psikologis, peran serta masyarakat masih dapat ditingkatkan seiring dengan tuntutan kontribusi baik secara sosial maupun finansial. Beberapa mempengaruhi kurangnya keterlibatan masyarakat antara lain pemahaman masyarakat terhadap fungsi pegelolaan air limbah dan pentingnya pemeliharaan sistem masih rendah serta

pembagian peran antara lembaga pengelola yang ada dan masyarakat sebagai pemanfaat belum jelas.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nilandita dkk. (2019) menunjukkan bahwa Status keberlanjutan IPAL komunal di RT2 RW 12 Kelurahan Bendul Merisi Kecamatan Wonocolo Kota Surabaya masuk dalam kategori cukup berkelanjutan (63,85%). Kondisi ini didukung oleh pemilihan teknologi yang tepat baik dari sisi kehandalan maupun kemudahan pengoperasian dan pemeliharaannya, sehingga menghasilkan penurunan beban pencemaran yang tinggi.

Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Wirawan dkk, (2019), status keberlanjutan pengelolaan air limbah di DKI Jakarta baik secara multidimensional maupun parsial adalah "kurang berkelanjutan". Atribut penentu pengelolaan air limbah adalah 1) kemampuan masyarakat untuk membayar, 2) resistensi masyarakat, 3) tingkat kesulitan operasional dan pemeliharaan IPAL, 4) peran pemerintah daerah, 5) peran pemerintah pusat, serta 6) penegakan hukum.

KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah nilai keberlanjutan keseluruhan proses pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan di Kantor PUSAIR Bandung sebesar 65,2% dengan status cukup berkelanjutan. Dengan nilai dimensi ekonomi 62,5%; dimensi ekologi 75%; dimensi sosial 33,3% dan dimensi teknologi 90%. Dengan demikian, diharapkan metode pengelolaan air limbah domestik dengan teknologi lahan basah buatan dapat menjadi alternatif untuk mengendalikan pencemaran air limbah domestik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian terutama kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) sebagai penyandang dana penelitian dan Pihak Pusat Sumber Daya Air (PUSAIR) Bandung terutama pada Bagian Pengelolaan Air Limbah yang telah membantu peneliti untuk mendapatkan data penelitian khususnya Bapak Syamsul Bahri, M.T.

DAFTAR PUSTAKA

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

- Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). Water Reuse:

 Issues, Technologies, and Application. USA:

 Metcalf & Eddy, Inc.
- Arifin, Z., Purwanto, & Susanto, H. (2013). Evaluasi Dan Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik Kota Bandung - Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII Program Studi MMT-ITS, Surabaya 2 Februari 2013.*
- Badan Pusat Statistik (BPS) (2015). http://bps.go.id. Diakses pada tanggal 20 Mei 2020 pada pukul 17.00 WITA.
- Balkema, A., Preisig, H.A., Otterpohl, R., & Lambert, F.J.D. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water 4 (2002)*, 153–161 https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00014-6
- Cahyana & Aulia. 2019. Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Menggunakan Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland. *EnviroSan*, 2(2). DOI:10.31219/osf.io/4kbgt
- Catharina, A., Suswati, S.P., & Wibisono, G. (2013). Pengolahan Limbah Domestik dengan Teknologi Taman Tanaman Air (*Constructed Wetlands*). *Indonesian Green Technology Journal*, 2(2). 2013 E-ISSN.2338-178.
- Aragones, D.G., Sanchez-Ramos, D., & Calvo, G.F. (2020). SURFWET: A biokinetic model for surface flow constructed wetlands. *Science of the Total Environment 723*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137650
- Davis, M.L. & Cornwell, D.A. (1996). *Introduction to Environmental Engineering*, 3rd Edn. McGraw-Hill, New York.
- Ennabili, A., & Radoux , M. (2020). Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency Of Three Helophytes In Constructed Surface Flow Wetlands For Urban Wastewater Treatment. *IIUM Engineering Journal*, 21(2), 25 40. https://doi.org/10.31436/iiumej.v21i2.1207
- Galanopoulos, C., Sazakli, E., Leotsinidis, M., & Lyberatos, G. (2013). A pilot-scale study for modeling a free water surface constructed wetlands wastewater treatment system.

 Journal of Environmental Chemical Engineering 1 (4), 642–651.
 DOI:10.1016/j.jece.2013.09.006
- Garfí, M., Garcia, J., & Neculau, M. (2011). Evaluation Criteria for Wastewater Treatment Technologies Assessment. GEMMA - Group of Environmental Engineering and Microbiology

- Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech (UPC).
- Gargallo, S., Martin, M., Oliver, N., & Hernandez-Crespo, C. (2017a). Biokinetic model for nitrogen removal in free water surface constructed wetlands. *Sci. Total Environ. 587–588*, 145–156. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.08
- Gargallo, S., Martin,M., Oliver, N., & Hernandez-Crespo, C., (2017b). Sedimentation and resuspension modelling in freewater surface constructed wetlands. *Ecol. Eng. 98, 318–329*. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.014
- Gross, A. (2015). *Greywater Reuse*. United Stated: CRC PressTaylor & Francis Group.
- Hajia, M.C., Binilang, A., & Wuisan, E. M. (2015).

 Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih di
 Desa Taratara Kecamatan Tomohon Barat.

 TEKNOVol.13/No.64/Desember2015.
- Halverson, N. (Sep 2004). Review of Constructed Subsurface Flow vs Surface Flow Wetlands (WSRC-TR--2004-00509). United States.
- Hanisa, E., Nugraha, W.D., & Sarminingsih, A. (2017).

 Penentuan Status Mutu Air Sungai Berdasarkan
 Metode Indekskualitas Air—National Sanitation
 Foundation (IKA-NSF) Sebagai Pengendalian
 Kualitas Lingkungan (Studi Kasus : Sungai Gelis,
 Kabupaten Kudus, Jawa Tengah). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1).
- Imhof, B. & Muhlemann, J. (2005). Greywater Treatment On Household Level In Developing Countries – A State Of The Art Review. Swiss: ETH DUWIS.
- Jackson, M.R., Meschke, J.S., Simmons, J., & Isaksen, T.B. (2018). Fecal Coliform Concentrations in Effluent from Ultraviolet Disinfection Units Installed in Onsite Wastewater Treatment Systems. Journal of Water & Health. 17(1), 113-123.

DOI:10.2166/wh.2018.256

Kadlec, R. (1995). Overview: Surface flow constructed wetlands. Water Science and Technology, 32(3), 1–12.

doi:10.1016/0273-1223(95)00599-4

- Kelompok Kerja Sanitasi Kota Bandung (2010).

 Dokumen Strategi Sanitasi Kota Bandung,
 Bappeda, KotaBandung.
- Republik Indonesia. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2003 Nomor 112 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.

- Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.
- Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.
- Republik Indonesia. 2010. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.
- Republik Indonesia. 2010. *Status Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2010*. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.
- Kivaisi, A.K. (2001). The Potential For Constructed Wetlands For Wastewater Treatment And Reuse In Developing Countries: A Review. *Ecological Engineering 16 (2001)*, 545–560. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00113-0
- McIlwaine, S., & Redwood. (2011). Greywater Use in the Middle East: Technical, Social, Economic and Policy Issues. UK: Schumacher Centre for Technology and Development.
- Metcalf and Eddy, (1993). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4'h Edition,McGraw-Hill, New York
- Mubin, F., Binilang, A., & Halim, F. (2016). Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik, 4(3),* 211-223, ISSN: 2337-6732.
- Paul, E. A. & Clark, F. E. (1989). Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich. Publisher. San Diego-New York-Boston-London-Sydney-Tokyo-Toronto.
- Rosso, D., Larson, E.L., & Stenstrom, M., K., (2008).

 Aeration of Large-Scale Municipal Wastewater

 Treatmen Plants: State of The Art. Water

- Science and Technology, doi:10.2166/wst.2008.218.
- Shankhwar, A.K., Ramola, S., Mishra, T., & Srivastava, R.K. (2015). Grey water pollutant loads in residential colony and its economic management. *Renewables*, 5 (2015). https://doi.org/10.1186/s40807-014-0005-6
- Suhardjo, D. (2008). Penurunan COD, TSS dan Total Fosfat Pada Septic Tank Limbah Mataram Citra Sembada Catering dengan Menggunakan Wastewater Garden. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan, Vol. 15, No.2,* Juli 2008: 79-89.
- Suparmin, S. (2001). *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Vadeboncoeur, Y., Lodge, D. M., & Carpenter, S. R. (2001). Whole-lake Fertilizer Effect on Distribution of Primary Production between Bentic and Pelagic Habitats. *Journal of Ecology,* 82, 1065 1077. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[1065:WLFEOD]2.0.CO;2
- Wangsaatmaja, S., Sabar, A., & Prasetiati, M. A. A. N. (2006). Permasalahan dan Strategi Pembangunan Lingkungan Berkelanjutan Studi Kasus: Cekungan Bandung. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 3, 163-171. DOI:10.17014/ijog.1.3.163-171
- Nilandita, W., Pribadi, A., Negnse, S., Auvaria, S.W., & Nurmaningsih, D.R. (2019). Studi Keberlanjutan IPAL Komunal di Kota Surabaya (Studi Kasus di RT 02 RW 12 Kelurahan Bendul Merisi Kota Surabaya). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan,* 4(2),46-54.
- Wirawan., Satria, S.M., Maarif., Syamsul, M., Riani, E., & Anwar, S. (2019). Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik yang Berkelanjutan di DKI Jakarta. Tersedia pada link https://repository.ipb.ac.id/ handle/123456789/98049. Diakses pada 10 September 2020.