

# Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Teknologi Hybrid Bioreaktor Biofilm - Fitoremediasi

Sri Sumiyati<sup>1\*</sup>, Endro Sutrisno<sup>1</sup>, Sudarno<sup>1</sup>, Fadhil Wicaksono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, e-mail: srisumiyati@lecturer.undip.ac.id

## ABSTRAK

Pengelolaan air limbah domestik masih menjadi permasalahan yang cukup serius di Indonesia hingga saat ini. Pencemaran air limbah domestik diperlukan pengolahan lebih lanjut hingga baku mutu dapat dipenuhi sebelum kemudian dialirkan menuju badan air. Terdapat beberapa alternatif teknologi dalam pengolahan air limbah domestik yaitu dengan biofilm dan fitoremediasi. Selama ini penggunaan teknologi biofilm dan fitoremediasi dilakukan secara sendiri-sendiri. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan penerapan pengolahan air limbah dengan teknologi biofilm dan fitoremediasi secara satu kesatuan, dan diharapkan dapat menjadi suatu alternatif baru yang unggul dengan beberapa keunggulan yaitu perawatan dan operasional yang mudah dengan biaya yang murah, penggunaan energi yang kecil, dan juga tidak menimbulkan masalah lumpur. Metode pengolahan air ini menggunakan teknologi biofilm dengan media biofilter PVC berbentuk sarang tawon. Bahan dari PVC diharapkan lebih tahan lama dan bentuk sarang tawon akan mempermudah terjadinya proses degradasi karena lapisan biofilm mudah terbentuk. Agen fitoremediasi yang digunakan adalah tanaman *duckweed*, salah satu jenis tanaman air yang efektif menyerap polutan-polutan yang terkandung dalam air limbah dan juga keberadaannya yang melimpah. Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa pengolahan air limbah domestik dengan teknologi hybrid bioreaktor biofilm dan fitoremediasi berhasil menurunkan pencemaran pada air limbah domestik.

**Kata kunci:** air limbah, biofilm, fitoremediasi, alternatif, biofilter

## ABSTRACT

Domestic wastewater management is still a serious problem in Indonesia today. Pollution of domestic wastewater requires further processing until the quality standards can be met before then flowing into water bodies. There are several alternative technologies in domestic wastewater treatment, namely biofilm and phytoremediation. So far, biofilm and phytoremediation technologies have been used separately. The purpose of this research is to implement wastewater treatment with biofilm technology and phytoremediation as a whole, and it is hoped that it will become a superior new alternative with several advantages, namely easy maintenance and operation with low cost, small energy use, and also no causing sludge problems. This water treatment method uses biofilm technology with honeycomb-shaped PVC biofilter media. It is hoped that PVC material will last a long time and the shape of a honeycomb will facilitate the degradation process because the biofilm layer will easily form. The phytoremediation agent used is duckweed, a type of aquatic plant that effectively absorbs the pollutants contained in wastewater and also their abundant presence. Based on research, it was found that domestic wastewater treatment with biofilm bioreactor hybrid technology and phytoremediation succeeded in reducing pollution in domestic wastewater.

**Keywords:** wastewater, biofilm, phytoremediation, alternative, biofilter

**Citation:** Sumiyati, S., Sutrisno, E., Sudarno, dan Wicaksono, F. (2023). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Teknologi Hybrid Bioreaktor Biofilm - Fitoremediasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 403-407, doi:10.14710/jil.21.2.403-407

## 1. Pendahuluan

Air limbah domestik merupakan masalah lingkungan yang kompleks dan memerlukan teknologi pengolahan yang efektif (Zhao et al., 2020). Air limbah domestik berkontribusi meningkatkan pencemaran pada badan air penerima. Penurunan kualitas pada badan air dapat menurunkan derajat kesehatan masyarakat (Amri & Wesen, 2015).

Pengolahan air limbah domestik menjadi topik penting dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat

dan lingkungan. Menurut laporan dari Dirjen Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum (2012), sistem pengelolaan air limbah yang dilakukan secara terpusat hanya ada 11 kota saat ini di Indonesia. Kota Semarang tidak lepas juga dari permasalahan pengelolaan air limbah domestik. Menurut laporan dari Badan Lingkungan Hidup Kota Semarang (2013) bahwa sebagian besar kualitas sungai yang melewati daerah pemukiman di Kota Semarang sudah melebihi baku mutu air bagi peruntukan air sungai Kelas II

karena parameter polutan yang ada di dalamnya berdasarkan PP Nomer 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan dan Pengendalian Kualitas Air.

Parameter pencemar BOD di Kali Semarang konsentrasinya antara 6,72 – 78,96 mg/l (BM 3mg/l). Keberadaan bahan pencemar di dalam air limbah domestik yaitu adalah kandungan BOD, COD, TSS dan Amoniak. BOD, COD, TSS, dan Amoniak dengan konsentrasi tinggi di badan air dapat menyebabkan kondisi septic dan anoksic yang menimbulkan pencemaran bau, hingga kematian organisme di badan air. Selain itu konsentrasi amoniak yang melebihi batas baku mutu dapat memicu terjadinya proses eutrofikasi di dalam badan air. Menurut Kolb dkk. (2017), COD ialah salah satu faktor pencemar yang penting dalam mengevaluasi kualitas air limbah dan menentukan jumlah beban organik dalam air.

Teknologi pengolahan air limbah domestik yang dilakukan saat ini antara lain: Rotating Biological Contactor (RBC), Fluidized Bed, Anaerobic Baffled Methane Fermentation Tank (ABMFT), lumpur aktif (Activated Sludge) dan UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blangket). Teknologi tersebut memiliki kelemahan antara lain banyaknya lumpur yang dihasilkan dan timbulnya bau (Jeong et al., 2013).

Semarang dengan topografi yang naik turun menyebabkan permasalahan tersendiri untuk mengelola limbah domestik yang dihasilkan oleh masyarakat. Dari permasalahan tersebut maka diperlukan teknologi pengolahan yang sederhana dengan biaya operasional yang murah, mudah dioperasikan, penggunaan energi kecil, dan tidak memunculkan masalah lumpur.

Untuk mengatasi masalah limbah domestik rumah tangga (*grey water*), dapat dimanfaatkan biofilter. Selain biayanya yang relatif terjangkau juga mudah untuk didapatkan di pasaran (Hidayat et al., 2019). Biofilter bekerja dengan mendegradasi limbah cair rumah tangga melalui media kontak (biofilm) (Maeng et al., 2015; Fuentes et al., 2018). Saat dioperasikan, limbah cair yang mengandung polutan mengalir melalui celah media dan bersentuhan langsung dengan lapisan massa mikroba (biofilm) (Liao et al., 2014). Mikroorganisme tumbuh dan berkembang di atas suatu media, membentuk lapisan lendir yang melekat pada permukaan media sehingga membentuk lapisan biofilm (Hadiwidodo et al., 2012; Liao et al., 2014).

Menurut Santoso et al. (2014), efisiensi biofilter untuk parameter BOD berkisar antara 40,6% hingga 86,5%, yang lebih tinggi daripada penggunaan media tunggal (kayu apu) sebesar 38,5%. Menurut Dewi & Buchori (2016), penggunaan media zeolite, arang batok, dan penambahan sekam padi hanya menunjukkan tingkat penurunan COD dalam rentang 30,9% hingga 60,6%. Namun, efisiensi penurunan BOD dan COD yang diperoleh dengan menggunakan media abu vulkanik tidak jauh berbeda, yaitu masing-masing sekitar 82,24% dan 85,68% (Wardiha & Prihandono, 2015).

Sabbah et al (2013) menunjukkan bahwa matrik tuff dari gunung berapi mempunyai kemampuan untuk menurunkan kadar amoniak pada limbah cair. Ada beragam pilihan dalam melakukan remediasi perairan yang terkontaminasi oleh bahan polutan. Salah satu teknologi alternatif lain yang dapat dikembangkan adalah fitoremediasi, di mana tumbuhan memainkan peran penting dalam mengatasi masalah lingkungan tersebut. Tumbuhan mampu memecah polutan organik dan menyerap serta menstabilkan logam yang tercemar (Puspitasari & Irawanto, 2016).

Penjernihan air limbah menggunakan tanaman air akhir-akhir ini banyak mendapatkan perhatian. Tanaman air secara umum memiliki kemampuan untuk menetralsir komponen tertentu. Contoh tanaman yang dapat digunakan untuk fitoremediasi adalah *duckweed* (*Lemna minor*) (Irawanto & Munandar, 2017). Menurut Kusumawardani dan Irawanto (2013), meskipun berfungsi sebagai fitoremediasi, kehadiran tumbuhan akuatik yang dipakai untuk mengolah air limbah di taman-taman memberikan kesan alami dan indah secara estetika.

Dalam penelitian ini dipilih kombinasi teknologi biofilm dan fitoremediasi untuk pengolahan limbah, yang sebelumnya hanya dilakukan secara terpisah. Pemilihan kombinasi tersebut didasarkan pada pertimbangan pengaplikasian di lapangan dan fokus pada aspek estetika pengolahan limbah. Dengan diterapkannya kombinasi dua teknologi ini, diharapkan masyarakat dan industri akan mendapatkan manfaat dari segi lingkungan dan estetika. Teknologi hybrid bioreaktor biofilm-fitoremediasi ini dapat diadopsi oleh masyarakat, pengembang perumahan, dan pemerintah daerah Kota Semarang untuk menangani permasalahan pengolahan air limbah domestik.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor kontinu. Jumlah reaktor ada 2 buah. Reaktor biofilm dan reaktor fitoremediasi. Kemudian dipasang pipa untuk mengalirkan air limbah antar reaktor. Reaktor biofilm diisi media sarang tawon, sedangkan reaktor fitoremediasi ditanami tanaman air rumput bebek (*duckweed*) yang sudah mengalami kulturasi. Tujuan melakukan kultur pada rumput bebek agar didapatkan rumput bebek yang bagus dan tidak terkontaminasi dengan pencemar pada waktu berada di habitatnya.

Pengolahan dengan menggunakan media biofilter sarang tawon diharapkan mampu menurunkan polutan organik dalam air limbah dan TSS dengan baik. Semakin lama waktu tinggal dalam reaktor, maka semakin besar pula efisiensi penurunannya. Hasil terbaik untuk efisiensi penurunan berada pada waktu 4 hari, dengan didapat penurunan COD 87%, BOD 89%, dan TSS 96% (Said & Firly, 2018).

Penelitian ini membutuhkan jangka waktu selama 6 bulan. Lokasi penelitian ada tiga tempat, yaitu pengambilan sampel air limbah domestik, pengambilan tanaman rumput bebek, serta tempat pengoperasian reaktor. Lokasi pengambilan sampel limbah domestik dilakukan di saluran drainase pada salah satu perumahan di Kota Semarang. Sedangkan *honey comb tube* diperoleh dari limbah pralon (PVC) yang dipotong-potong sepanjang 5 cm, kemudian ditempel dengan lem pralon dan disusun menyerupai bentuk sarang tawon. Gambar 1 menyajikan bentuk sarang tawon dari limbah PVC. Agen fitoremediasi penelitian ini menggunakan tanaman rumput bebek (*duckweed*). Tanaman rumput bebek diambil dari Danau Rawa Pening yang berlokasi di Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Lokasi pengoperasian reaktor dan analisa parameter pencemar di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.



Gambar 1. Bentuk Sarang Tawon



Gambar 2. Tanaman Rumput Bekek

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Karakteristik Limbah

Pengujian karakteristik air limbah ini dilakukan agar kualitas air limbah sebelum dilakukan Pengolahan dapat diketahui. Air limbah domestik yang diambil dari salah satu drainase di Kota Semarang menunjukkan karakteristik bahwa sebagian besar parameter pencemar diantaranya suhu, pH, COD, BOD<sub>5</sub>, TSS, dan Amonia konsentrasinya tidak memenuhi baku mutu yang ada ditentukan menurut Perda Jateng No. 5 Tahun 2012 tentang Perubahan atas Perda Jateng No. 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Limbah organik yang berasal dari sumber seperti rumah tangga dan industri dapat menyebabkan nilai COD meningkat, yang merupakan salah satu indikator parameter pencemaran dalam air (Tian et al., 2016).

Keberadaan BOD, COD, TSS, dan Amonia dengan konsentrasi tinggi di badan air dapat menyebabkan kondisi septik dan anoksik yang berdampak pada munculnya pencemaran bau hingga menyebabkan kematian organisme di badan air. Selain itu, konsentrasi ammonia yang melebihi batas baku mutu dapat memicu terjadinya proses eutrofikasi di dalam badan air. Oleh sebab itu, keberadaan parameter pencemar tersebut harus dikurangi dengan cara dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

#### 3.2. Rancangan Hybrid Bioreaktor Biofilm - Fitoremediasi

Proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik menggunakan teknologi yang sebagian besar dari aktivitas mikroorganisme untuk melakukan penguraian pada senyawa polutan organik tersebut. Air limbah domestik merupakan jenis air limbah yang mengandung polutan khususnya senyawa organik dan polutan berupa mikroorganisme. Keberadaan senyawa organik dan mikroorganisme dalam air limbah domestik perlu dikurangi agar konsentrasinya tidak melebihi baku mutu yang sudah ditetapkan.

Pada proses pengolahan air limbah domestik dengan teknologi biofilm bisa dilakukan dengan kondisi dengan oksigen (*aerob*), tanpa oksigen (*anaerob*), maupun gabungan keduanya. Proses pengolahan air limbah dengan teknologi biofilter atau biofilm yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan cara membuat rancangan desain bioreaktor gabungan reaktor biofilm dan fitoremediasi.

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter atau biofilm tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga sebagai pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses anaerobik, dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Dengan posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air, semua media biofilter tercelup dengan air limbah yang akan diolah.

Rancangan hybrid bioreaktor dilakukan penyesuaian dengan kondisi air limbah domestik yang akan diolah. Desain bioreaktor disesuaikan dengan karakteristik air limbah domestik. Desain reaktor biofilm sebagai berikut:

- Bahan : kaca dengan ketebalan 2 cm.
- Bentuk: persegi panjang
- Ukuran : 30cm x 10cm x 20cm
- Bahan pendukung : pipa PVC, lem kaca, alat pemotong kaca dan meteran.
- Bahan lain : bak penampung dari bahan plastik dengan volume 300 liter, kayu penyangga, ember (volume 20 liter), gayung, jerigen (volume 10 liter), botol sampel, selang dan lem pralon.

Dalam penelitian Ryanita et al. (2020), dilakukan aklimatisasi tanaman air selama 5-7 hari sebelum fitoremediasi. Setiap perlakuan menggunakan 250 gram tanaman air dalam 10 liter air limbah domestik.

**Tabel 1** Hasil Uji Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu Perda Jateng No. 5 Tahun 2012	Baku Mutu
Suhu	°C	28	38	Memenuhi
pH	-	7,65	6,0-9,0	Memenuhi
COD	mg/l	147,45	275	Memenuhi
BOD <sub>5</sub>	mg/l	107,02	100	Tidak Memenuhi
TSS	mg/l	504	100	Tidak Memenuhi
Amonia	mg/l	24,94	20	Tidak Memenuhi

### 3.3. Prototype Bioreaktor Biofilm – Fitoremediasi

Lokasi pembuatan prototype bioreaktor skala laboratorium di Laboratorium Teknik Lingkungan Undip. Prototype bioreaktor skala laboratorium disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Rancangan Prototype Bioreaktor

Prototype bioreaktor terdiri dari bak penampung air limbah. Bak tersebut berfungsi untuk menampung air limbah yang akan diolah. Bak kedua adalah bak equalisasi yang berfungsi untuk menstabilkan debit agar tidak terjadi gejolak di reaktor selanjutnya yaitu reaktor biofilm dan fitoremediasi. Apabila terjadi gejolak debit pada reaktor biofilm mengakibatkan terjadinya kondisi shock, yang akan berakibat rusaknya lapisan biofilm yang sudah terbentuk dan kondisinya sudah *steady state*. Kondisi lapisan biofilm yang sudah *steady state* tersebut artinya mikroorganisme yang membentuk lapisan biofilm sudah siap melakukan penguraian polutan-polutan yang terkandung dalam air limbah.

Reaktor biofilm dirancang dengan bentuk persegi empat, diharapkan bentuk persegi untuk membantu proses biokimiawi yang terjadi akan berjalan dengan sempurna dan juga disesuaikan dengan kondisi desain yang ada di lapangan. Sedangkan bahan dari kaca dengan pertimbangan agar memudahkan untuk melakukan pengamatan dari proses penguraian polutan material organik yang terjadi. Media biofilter yang digunakan adalah media PVC berbentuk sarang tawon. Bahan dari PVC diharapkan akan tahan lama dan tidak mengalami pembusukan apabila direndam dalam air limbah. Sedangkan bentuk sarang tawon akan mempermudah terjadinya proses degradasi karena lapisan biofilm akan mudah terbentuk.

Reaktor fitoremediasi mempunyai bentuk persegi dengan desain dan bahan sama dengan reaktor biofilm. Bentuk persegi dan bahan dari kaca tersebut

dengan pertimbangan untuk memudahkan melakukan pengamatan proses yang terjadi di dalam reaktor fitoremediasi. Agen fitoremediasi yang digunakan adalah tanaman *duckweed*, salah satu jenis tanaman air yang efektif menyerap polutan-polutan yang terkandung dalam air limbah dan juga keberadaan tanaman *duckweed* yang melimpah di alam dan mempunyai kemampuan berkembangbiak dengan cepat.

Tanaman air dapat mempengaruhi nilai BOD dalam air limbah dengan cara menurunkannya. Hal ini terjadi karena tanaman air mampu mengurangi jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba untuk mengoksidasi zat organik di dalam air limbah domestik (Susanthi et al., 2018).



**Gambar 4.** Prototype Bioreaktor

### 4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan beberapa hal dari hasil penelitian ini bahwa hasil uji karakteristik air limbah domestik menunjukkan parameter polutan melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu Peraturan Daerah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Perubahan Peraturan Daerah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Limbah Cair. Desain bioreaktor biofilm-fitoremediasi disesuaikan dengan kriteria desain yang sudah ada. Bahan dan ukuran dirancang sedemikian rupa sehingga proses yang terjadi di dalam reaktor akan berjalan dengan sempurna, dan hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diharapkan.

Prototype hybrid bioreaktor biofilm-fitoremediasi disesuaikan dengan desain dan kondisi realitas di lapangan. Pada prototype skala laboratorium, limbah yang digunakan adalah limbah buatan (artifisial) agar konsentrasi bisa disesuaikan dengan karakteristik air limbah yang ada. Waktu pengoperasian reaktor dan pengaturan debit disesuaikan dengan debit air limbah kondisi di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amri, K., & Wesen, P. (2015). Pengolahan air limbah domestik menggunakan biofilter anaerob bermedia plastik (bioball). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2), 55-66.
- Badan Lingkungan Hidup. 2013. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai di Kota Semarang. Laporan Hasil Pengujian No. 660.3/217/IV/2013 Bidang Pengkajian Dampak Lingkungan BLH Kota Semarang Jawa Tengah.
- Dewi, Y. S., & Buchori, Y. (2016). Penurunan COD, TSS pada penyaringan air limbah tahu menggunakan media kombinasi pasir kuarsa, karbon aktif, sekam padi dan zeolit. *Jurnal Ilmiah Satya Negara Indonesia*, 9(1), 74-80.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum. 2012. Materi Bidang Air Limbah, Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP Jakarta.
- Fuentes, N., Vizcaino, L. Y., & Gonzalez, H. E. (2018). Integrated system "biodigester - biofilter": a sustainable option for the environmental management of wastewater from small communities. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(87), 4329-4337. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.88446>
- Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, A. R., Bernadette Nusye Parasmita, & Gunawan, I. (2012). Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland. *Jurnal Presipitasi*, 9(2), 84-95.
- Hidayat, M. Y., Fauzi, R., & Suoth, A. (2019). Efektivitas Multimedia Dalam Biofilter Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga (The Effectiveness of Multimedia In Biofilters On Grey Water Treatments). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 3(2), 111-126.
- Irawanto, R. O. N. Y., & Munandar, A. A. (2017). Kemampuan tumbuhan akuatik Lemna minor dan Ceratophyllum demersum sebagai fitoremediator logam berat timbal (Pb). *Jurnal PROS SEM NAS MASY BIODIV INDOV*, 3(3), 446-452.
- Jeong, S. Bae, H, Naidu 2013. Bacterial Community Structure in a Biofilter used as a Pretreatment for Seawater Desalination. *Ecological Engineering Journal*.
- Liao, X., Chen, C., Zhang, J., Dai, Y., Zhang, X., & Xie, S. (2014). Operational performance, biomass, and microbial community structure: Impacts of backwashing on drinking water biofilter. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 546-554. <https://doi.org/10.1007/s11356-0143393-7>
- Maeng, M., Choi, E., & Dockko, S. (2015). Reduction of organic matter in drinking water using a hybrid system combined with a rock biofilter and membrane in developing countries. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 102, 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.005>
- Puspitasari, D., & Irawanto, R. (2016). Fitoremediasi Limbah Domestik Dengan Tumbuhan Akuatik Mengapung Di Kebun Raya Purwodadi. In *Prosiding Seminar Nasional FTP UB Malang* (pp. 1-10).
- Ryanita, P. K. Y., Arsana, I. N., & Juliasih, N. K. A. (2020). Fitoremediasi Dengan Tanaman Air untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Widya Biologi*, 11(2), 76-89.
- Sabbaha, K. Baransia, N. 2013. Efficient Ammonia Removal from Wastewater by a Microbial Biofilm in Tuff-Based Intermittent Biofilters. *Ecological Engineering*. (2013): 354 Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ec](http://www.elsevier.com/locate/ec).
- Said, N. I., & Firly, F. (2018). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3).
- Santoso, U., Mahreda, E. S., Shadiq, F., & Biyatmiko, D. (2014). Pengolahan limbah cair sasirangan melalui kombinasi metode filtrasi dan fitoremediasi sistem lahan basah buatan menggunakan tumbuhan air yang berbeda. *EnviroScience*, 10, 157-170.
- Susanthi, D., Yanuar Purwanto, M. J., Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, P., Pascasarjana, S., & Pertanian Bogor, I. (2018). Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan IPAL Komunal di Kota Bogor Evaluation of Domestic Wastewater Treatment Using Communal WWTP in Bogor City. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 229-238.
- Tian, Q., Ong, S. K., Xie, X., Li, F., Zhu, Y., Wang, F. R., & Yang, B. (2016). Enhanced phosphorus recovery and biofilm microbial community changes in an alternating anaerobic/aerobic biofilter. *Chemosphere*, 144, 1797-1806. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.072>
- Wardiha, M. W., & Prihandono, A. (2015). Efektifitas biofilter dengan media kontak batu vulkanik untuk mengolah effluen air limbah domestik pada tangki septik konvensional. *Bumi Lestari*, 15(Agustus), 125-135.
- Zhao, L., Dai, T., Qiao, Z., Sun, P., Hao, J., & Yang, Y. (2020). Application of artificial intelligence to wastewater treatment: A bibliometric analysis and systematic review of technology, economy, management, and wastewater reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 133(92), 169-182. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.014>