

## Pengaruh Waktu Operasional Terhadap Penurunan BOD dan TSS pada Reaktor Biofilter Aerob dengan Aliran Upflow

Yuvita Dian Siswanti<sup>1✉</sup>, Candra Dwi Ratna<sup>2</sup>, Heri Setyobudiarso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Jember

Institut Teknologi Nasional Malang

### ABSTRAK

Rendahnya pengolahan limbah rumah tangga dan tingginya pencemaran lingkungan menuntut penerapan teknologi biofilter aerobik untuk meningkatkan kualitas air dan mendukung pemanfaatan kembali. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu operasional terhadap penurunan BOD dan TSS pada limbah domestik menggunakan reaktor biofilter aerob aliran ke atas dengan media batu apung berdiameter 3–5 cm yang telah diaktivasi. Variasi waktu operasional yang digunakan yaitu 2,5 jam, 6,5 jam, dan 10,5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penghilangan polutan meningkat seiring bertambahnya durasi waktu operasional. Penurunan BOD dan penyisihan TSS menunjukkan peningkatan signifikan pada setiap variasi waktu, dengan efektivitas lebih tinggi pada TSS dibandingkan BOD. Hal ini mengindikasikan bahwa biofilter bekerja melalui proses biologis oleh mikroorganisme dan proses fisik berupa filtrasi partikel padat. Dengan demikian, biofilter aerob aliran upflow efektif sebagai alternatif pengolahan limbah domestik.

Kata kunci: Biofilter Aerob, Upflow, BOD, TSS

Effect of Operating Time on BOD and TSS Reduction in Aerobic Biofilter Reactor with Upflow Flow

### ABSTRACT

The low rate of domestic wastewater treatment and the high level of environmental pollution necessitate the application of aerobic biofilter technology to improve water quality and support reuse efforts. This study aims to analyze the effect of operational time on the reduction of BOD and TSS in domestic wastewater using an upflow aerobic biofilter reactor with activated pumice media measuring 3–5 cm in diameter. The operational time variations applied were 2.5 hours, 6.5 hours, and 10.5 hours. The results indicate that pollutant removal efficiency increases with longer operational time. Both BOD reduction and TSS removal showed significant improvements over time, with higher effectiveness observed for TSS than BOD. This suggests that the biofilter operates through a combination of biological processes by microorganisms and physical processes such as particle filtration and entrapment. Therefore, the upflow aerobic biofilter can serve as an effective alternative technology for domestic wastewater treatment.

Keywords: Aerobic Biofilter, Upflow, BOD, TSS

### PENDAHULUAN

Permasalahan pengelolaan limbah domestik di kawasan perkotaan menjadi isu global yang semakin penting seiring dengan laju urbanisasi yang meningkat di berbagai wilayah dunia. Di negara berkembang, khususnya kota besar, pertumbuhan penduduk yang cepat

memicu tingginya produksi limbah domestik. Kawasan permukiman padat di perkotaan kerap menghadapi kendala serius dalam mengolah air limbah akibat terbatasnya lahan serta minimnya fasilitas pengolahan yang memadai (Putri & Julianti, 2025). Air limbah rumah tangga

✉ Corresponding author

Address : Jember, Jawa Timur

Email : yuvita@unmuhjember.ac.id

merupakan buangan yang berasal dari kegiatan dapur, kakus, cucian, atau aktivitas industri rumahan, serta kotoran manusia. Berdasarkan laporan statistik lingkungan hidup indonesia 2020, tercatat bahwa lebih dari separuh rumah tangga di indonesia (57,42%) masih membuang limbah dari aktivitas mandi, mencuci, dan dapur langsung ke got, selokan, atau sungai (BPS, 2020). Selain itu, sekitar 18,71% rumah tangga membuang limbah ke dalam lubang tanah, sementara 10,26% lainnya menyalurkan ke tangki septik. Sebagian kecil (1,67%), menggunakan sumur resapan, dan hanya 1,28% rumah tangga yang telah memanfaatkan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) atau saluran pembuangan air limbah (SPAL) (Annur, 2021). Pengolahan dan pengelolaan air limbah rumah tangga (domestik) sangat penting bagi keberlangsungan lingkungan hidup sekitar. Apabila beban polutan terus di buang ke lingkungan (terutama badan air / perairan) tanpa diikuti kemampuan *self purification* oleh alam, maka tingkat pencemaran yang terjadi akan terus meningkat dan menyebabkan tingkat kesehatan masyarakat menurun seiring berjalannya waktu.

Untuk itu, dari permasalahan tersebut, pengolahan air limbah domestik dirasa sangat perlu untuk dilakukannya pengolahan. Selain bertujuan melindungi kesehatan masyarakat, hal ini juga sejalan dengan upaya pengelolaan lingkungan melalui program pemanfaatan kembali (*reuse*) yang kini semakin digalakkan oleh pemerintah. Hasil olahan (*effluent*) dari instalasi pengolahan air limbah dapat dimanfaatkan kembali, misalnya untuk penyiraman tanaman atau sebagai air pembilas pada kloset. Bahkan pada penelitian yang dilakukan oleh Susanawati, et al. (2016) menunjukkan Greywater yang dimanfaatkan sebagai media tanam hidroponik menunjukkan hasil yang lebih baik dalam pertumbuhan tanaman sawi dibandingkan dengan menggunakan air PDAM atau campuran keduanya. Dengan demikian, kegiatan ini

tidak hanya mendukung efisiensi penggunaan air bersih yang berasal dari PDAM setempat, namun juga dapat mengurangi beban pengeluaran rumah tangga secara finansial.

Air limbah domestik umumnya berasal dari aktivitas rumah tangga seperti mandi, mencuci, dan penggunaan toilet. Limbah tersebut mengandung berbagai komponen organik maupun anorganik, yakni lemak, deterjen, mikroorganisme patogen, serta beragam zat kimia lainnya (Putri & Julianti, 2025). Menurut Said (2006) karakteristik limbah domestik dapat dijabarkan pada tabel 1.

Pada lampiran PermenLHK no P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan domestik, salah satu parameter kunci indikator pencemaran adalah parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solids*). Salah satu metode alternatif yang dapat diterapkan untuk menurunkan beban organik pada air limbah adalah melalui proses pengolahan secara *aerobik*, dengan memanfaatkan teknologi *biofilter aerobik* aliran ke atas (*upflow*) menggunakan media batu apung. Teknologi ini dipilih karena sistem aliran *upflow* mampu mengurangi risiko penyumbatan (*clogging*) dibandingkan dengan sistem aliran ke bawah (*downflow*) (Metcalf & Eddy, 2003). Hal ini sejalan pula pada penelitian yang telah dilakukan oleh Wibowo & Rahmanto (2021) *biofilter upflow* pada pengolahan air limbah industri pengolahan tempe didapat efisiensi penyisihan BOD mencapai 95,58%.

Media yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah batu apung, dengan pertimbangan sesuai kriteria pemilihan media *biofilter*. Batu kerikil secara luas memang sangat umum digunakan sebagai media pertumbuhan *biofilm* dan terbukti cukup efektif dalam menurunkan parameter pencemar, namun media tersebut memiliki beberapa kelemahan, antara lain porositas yang rendah, bobot yang berat sehingga berisiko menyebabkan penyumbatan,

Tabel 1  
Karakteristik Limbah Domestik

Parameter	Minimum	Maksimum
Ph	4,92	8,99
BOD (mg/l)	31,52	675,33
Cod (mg/l)	46,62	1183,4
Angka permanganat ( $\text{kmno}_4$ ) (mg/l)	69,84	739,56
Amonia (mg/l)	10,79	158,73
Nitrit (mg/l)	0,013	0,274
Nitrat (mg/l)	2,25	8,91
Khlorida (mg/l)	29,74	103,73
Sulfat	81,3	120,6
Zat padat tersuspensi (mg/l)	27,5	211
Deterjen (mbas) (mg/l)	1,66	9,79
Minyak dan lemak (mg/l)	1	125
Cadmium (cd) (mg/l)	Ttd	0,016
Timbal (pb) (mg/l)	0,19	0,04
Tembaga (cu) (mg/l)	Ttd	0,49
Phenol (mg/l)	0,04	0,63

Sumber: Said (2006)

serta berat jenis yang relatif besar (Heantomas et al., 2025). Sebaliknya, batu apung dipilih karena memiliki berat jenis lebih ringan, luas permukaan yang tinggi, serta tidak mengubah volume keseluruhan media di dalam reaktor. Pada hasil penelitian yang dilakukan Ratnawati & Kholif (2018) menunjukkan media batu apung pada reaktor biofilter ikut berperan dalam penurunan konsentrasi beban organik pada air limbah, dimana efisiensi penyisihan kadar BOD dan COD pada limbah RPA mencapai 94% dan 96%.

Dalam penelitian ini, digunakan variasi yang digunakan adalah waktu operasional. Dimana peneliti menduga bahwa semakin lama waktu operasional dan semakin tebal lapisan media dalam *biofilter*, maka efisiensi penyisihan parameter pencemar akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya mikroorganisme yang dapat menempel pada permukaan media sehingga kemampuan bakteri dalam mendegradasi bahan organik semakin optimal. Dengan demikian, diharapkan waktu operasional yang lebih panjang mampu menghasilkan penurunan polutan yang bersumber dari limbah cair domestik secara maksimal.

#### METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Air limbah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari air limbah domestik yang di ambil di Perumahan Sumber Sari, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Adapun media yang digunakan pada reaktor biofilter ini menggunakan media batu apung yang dengan diameter 3cm – 5cm dan telah di aktivasi. Waktu operasional yang dipakai pada penelitian ini adalah  $t_1 = 2,5$  jam;  $t_2 = 6,5$  jam;  $t_3 = 10,5$  jam. Adapun tahap kegiatan penelitian diantaranya mencakup; Tahap persiapan

Tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa alat dan bahan dapat digunakan dengan baik. Selain itu, penyeragaman diameter media melalui teknik pengayakan dan aktivasi media dilakukan pada tahap ini. Aktivasi media dilakukan dengan memanaskan media pada oven selama 2 jam pada suhu  $200^\circ\text{C}$ . Adapun ketinggian media yang digunakan adalah 120 cm.

Tahap aklimatisasi

Tahap ini dilakukan agar bakteri yang tumbuh pada media filter mencapai kondisi *steady state* dan telah menyesuaikan dengan lingkungannya. Untuk mengetahui

kondisi yang steady state maka peneliti melakukan pengukuran angka *permanganat value* (PV) selama tahap penyesuaian mikroba sampai pada keadaan tunak atau dalam keadaan stabil dicapai. Pada penelitian ini kondisi steady state tercapai pada hari ke 19

Tahap operasional / running

Prosedur menjalankan/running reaktor ini dilakukan setelah reaktor dalam kondisi siap dan tahap aklimatisasi selesai atau telah mencapai angka yang stabil. Selain itu sebelum limbah domestik ke dalam reaktor, peneliti melakukan analisa awal terhadap limbah tersebut.

Tahap analisis

Adapun parameter yang akan dianalisis adalah BOD dan TSS. Analisis dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh waktu operasional terhadap penurunan BOD dan TSS. Untuk mengetahui presentase penyisihan digunakan rumusa seperti berikut:

$$\% \text{penyisihan} = (C_0 - C_x) / C_x \cdot 100\% \quad (1)$$

Di mana  $C_0$  merupakan konsentrasi awal parameter pencemar sebelum pengolahan, sedangkan  $C_x$  adalah konsentrasi akhir setelah proses pengolahan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efektivitas proses pengolahan dalam menurunkan kadar polutan. Nilai persentase yang lebih tinggi menunjukkan bahwa pengolahan lebih efisien dalam mengurangi beban pencemar dari kondisi awal ke kondisi akhir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah domestik yang dimaksud pada penelitian ini adalah limbah domestik *grey*

*water* yang berasal dari bekas mandi, cuci, dan berasal dari dapur (tidak termasuk limbah *black water* yang berasal dari WC / kakus. Sebelum dilakukan pengamatan atau analisa lebih lanjut, maka peneliti melakukan analisa awal terhadap kandungan organik pada limbah domestik tersebut untuk mengetahui karakter awal kandungan suhu, pH, BOD, dan TSS. Adapun hasil pemeriksaan awal dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 diketahui bahwa kualitas limbah cair domestik di kawasan perumahan tersebut jauh berada di atas baku mutu yang telah dipersyaratkan. Selain itu, berdasar pengamatan secara visual, limbah cair domestik tersebut memiliki warna keruh, berbuih, dan ditemukan sedikit minyak yang mengapung pada permukaan air limbah tersebut. Kualitas air sungai di Indonesia masih dikategorikan belum cukup baik. Di tahun 2019, data dari BPS '(2020) menunjukkan bahwa dari 98 sungai di Indonesia, 54 tercemar ringan, 6 tercemar ringan-sedang, dan 38 tercemar berat. Banyak sungai di Indonesia, seperti Sungai Code, Bengawan Solo, dan Brantas, sudah melebihi daya tampung untuk parameter pencemaran seperti COD, TSS, nitrit, nitrat, fosfat, dan amonia' (Firmansyah et al., 2021) Berdasarkan hal tersebut maka dirasa perlu untuk melakukan pengolahan air limbah domestik untuk menjamin dan menjaga kesehatan lingkungan serta badan air penerima dari aktivitas pencemaran.

Parameter BOD adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen ter-

**Tabel 2**  
**Hasil Pemeriksaan Awal Limbah Domestik Di Perumahan Sumber Sari, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang**

Parameter	Satuan	Nilai	Permenlh no p.68/menlhk/setjen/kum.1/8/2016
Ph		6,73	7,1
Suhu	°c	25,1	26
BOD	mg/l	388	25
TSS	mg/l	237	16

Sumber: Data Primer Diolah, 2025

larut yang dibutuhkan oleh organisme untuk merombak polutan. Apabila pada badan sungai atau perairan nilai BOD menunjukkan angka yang tinggi maka dapat dipastikan bahwa konsumsi oksigen oleh mikroorganisme perairan terbilang rendah. Adanya pemakaian oksigen oleh mikroorganisme ini adalah untuk mendegradasi atau merombak bahan atau polutan organik yang terkandung dalam badan sungai /perairan. Semakin banyak polutan yang masuk pada badan air penerima maka nilai BOD akan semakin tinggi dan kadar oksigen akan berkurang (memiliki nilai yang rendah) (Pramita & Puspita, 2019).

Parameter TSS menunjukkan adanya kandungan residu atau ampas atau kotoran dari suatu padatan total dimana partikel dengan ukuran lebih dari 2  $\mu\text{m}$  masih bisa terperangkap. Adapun yang termasuk jenis TSS ini biasanya berupa lumpur, logam oksida, ganggang, bakteri dan tanah liat serta bahan-bahan organik lainnya. Biasanya semakin tinggi nilai TSS semakin tinggi pula beban bahan organik pada badan air atau perairan itu (Hermansyah et al., 2024). Kadar TSS yang tinggi juga dapat menyebabkan kinerja reaktor ataupun IPAL dapat terganggu. Penelitian yang dilakukan oleh Fajarwati & Putri (2021) menunjukkan bahwa kadar TSS di IPAL Komunal PUSTEKLIM Yogyakarta di bawah standar yang berlaku Dimana hal ini mempengaruhi kinerja dari IPAL tersebut.

Upaya menurunkan konsentrasi BOD dan TSS dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan teknologi *biofilter aerob* yang menggunakan aliran *upflow*. *Biofilter aerobik* dengan sistem aliran ke atas (*upflow aerobic biofilter*) merupakan pengolahan biologis yang bekerja berdasarkan prinsip aliran dari bagian bawah reaktor menuju ke atas melalui media berpori. Pada permukaan media tersebut nantinya akan ditumbuhi oleh lapisan *biofilm*. Lapisan *biofilm* ini berfungsi sebagai perombak polutan organik maupun anorganik. Adapun keunggulan dari sistem aliran ke atas ini

adalah adanya kontak antara air limbah, media, dan mikroorganisme yang lebih *intensif* sehingga dapat memperbaiki efisiensi penyisihan parameter pencemar (Haerun et al., 2018). Selain itu, desain aliran *upflow* juga mencegah terjadinya penyumbatan media (*clogging*) dan memperpanjang umur operasi reaktor (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun hasil penelitian terdapat pada Tabel 3.

Dari tabel hasil analisis diatas, menunjukkan bahwa baik parameter BOD maupun TSS memiliki presentase penyisihan tertinggi pada waktu operasional 10,5 jam dan penyisihan yang paling rendah terjadi pada waktu operasional 2,5 jam. Hal ini dapat dijelaskan bahwa waktu operasional yang cukup lama antara air limbah domestik dengan lapisan *biofilm* yang tumbuh pada permukaan media, dimana hal ini memberikan kesempatan pada mikroorganisme untuk melakukan proses sintesa dan oksidasi sel dalam melakukan proses degradasi dan penguraian bahan-bahan organik (Slamet & Masduqi, 2000). Temuan ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Meilufi (2018) Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan adanya hubungan linier antara waktu operasional dengan proses penyisihan bahan organik dalam hal ini adalah BOD. Hasil ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Nurullita & Mifbakhuddin (2010), penurunan BOD pada limbah rumah tangga menggunakan teknologi tricking filter menunjukkan angka penurunan tertinggi terjadi pada waktu operasional selama 3 minggu yaitu sebesar 63.22%. Sedangkan waktu operasional selama satu minggu menunjukkan penurunan yang lebih rendah yaitu sebesar 39,94%.

Berdasarkan Tabel 3 Diketahui bahwa terjadi penurunan konsentrasi terhadap parameter BOD. Adanya penurunan konsentrasi parameter BOD ini menunjukkan adanya aktivitas bakteri asam laktat (*Lactobacillus sp.*) yang memfermentasi bahan organik menjadi asam laktat. Asam laktat ini mempercepat

**Tabel 3**  
**Hasil analisa presentase penyisihan BOD dan TSS limbah domestik di Perumahan Sumber Sari, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang**

Parameter	Waktu operasional (jam)	Konsentrasi awal (mg/l)	Konsentrasi akhir (mg/l)	Persentase penyisihan (%)	Baku mutu* (mg/l)
BOD	2,5	388	318	18	25
	6,5	388	249	35,8	
	10,5	388	187	51,8	
TSS	2,5	237	112	52,9	16
	6,5	237	76	67,8	
	10,5	237	32	86,5	

Sumber: Data Primer Diolah, 2025

\* permenlh no p.68/menlhk/setjen/kum.1/8/2016 tentang baku mutu air limbah domestik

perombakan bahan organik. Selain itu, bakteri tersebut juga mampu mengurai senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Kedua proses ini secara tidak langsung berkontribusi pada penurunan kadar BOD (Sari et al., 2017).

Adapun untuk parameter TSS terlihat juga mengalami penurunan konsentrasi. Hal ini dikarenakan partikel yang terkandung pada air limbah tidak sampai terbawa aliran dan mengendap pada dasar reaktor. Sehingga dalam hal ini perencanaan debit yang masuk pada reaktor sangat berpengaruh. Selain itu, terjadi proses penyaringan secara fisik dimana media filter berfungsi sebagai pemisah atau penyaring partikel-partikel yang terkandung pada air limbah tersebut (Azistia et al., 2024). Lebih lanjut, materi padatan tersuspensi yang umumnya bersifat anorganik dapat tersaring oleh media filter sedangkan untuk bahan organik (zat yang menempel pada residunya) akan dirombak oleh mikroorganisme-mikroorganisme yang hidup pada permukaan media filter (Azhari et al., 2025). Efektivitas *biofilter aerob* yang menggunakan aliran *upflow* sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi parameter TSS. Hal ini dapat dilihat dari tabel hasil penelitian dimana efektivitas penyisihan TSS lebih besar dibandingkan dengan efektivitas penyisihan BOD. Hal ini menunjukkan adanya fungsi ganda

pada biofilter yaitu sebagai penyaringan bahan organik oleh mikroorganisme serta sebagai penjebakan partikel yang tersuspensi. Namun, karakteristik awal limbah cair domestik juga dapat mempengaruhi perbedaan efisiensi presentase penyisihan tersebut.

### SIMPULAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penyisihan BOD dan TSS terendah terjadi di waktu operasional 2,5 jam, sedangkan penyisihan tertinggi dicapai pada waktu operasional 10,5 jam, sehingga durasi proses sangat berpengaruh terhadap efektivitas pengolahan. Sehingga biofilter aerob aliran upflow ini dapat menjadi alternatif teknologi pengolahan yang efektif dalam menurunkan beban pencemar limbah domestik. Untuk meningkatkan kinerja, disarankan menentukan waktu operasional yang optimal agar hasil maksimal tercapai tanpa pemborosan energi dan biaya, serta tetap melakukan pemantauan rutin untuk menjaga kualitas sesuai standar.

### DAFTAR PUSTAKA

Annur, C. M. (2021). *Lebih dari 50% Rumah Tangga di Indonesia Membuang Air Limbah ke Selokan hingga Sungai*. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/layanan-konsumen-kesehatan/statistik/6e15934bf4f6148/lebih-dari-50-rumah-tangga-di->

- indonesia-membuang-air-limbah-ke-selokan-hingga-sungai
- Azhari, A. N., Arifin, A., & Apriani, I. (2025). Review Design Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Pengolahan Limbah Cair Bengkel X. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(3), 811–819. <https://doi.org/10.14710/jil.23.3.811-819>
- Azistia, A. P., Andira, D., Dewi, F. K., Rizhkiawan, R. R., Satria, R. Y., Nurfadilah, S., Angreani, T., Wiyatin, Tungadewi, A. T., & Dirapraja, M. A. (2024). Efektivitas Metode Filtrasi Pada Pengolahan Limbah Tambak Udang Di Sekolah Vokasi IPB University. *Bullet: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 3(3), 347–353. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet/article/view/4266>
- BPS. (2020). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia: Air dan Lingkungan* (Krismawati, N. Supriyani, & C. Widya (eds.)). Jakarta: Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/publication/2020/11/27/5a798b6b8a86079696540452/statistik-lingkungan-hidup-indonesia-2020.html>
- Fajarwati, F. I., & Putri, A. D. (2021). Analisa Parameter Fisika dan Kimia Outlet IPAL Komunal Domestik Dusun Sukunan di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna Pengolahan Air Limbah (PUSTEKLIM) Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2). <https://journal.uui.ac.id/chemical/article/view/22280>
- Firmansyah, Y. W., Setiani, O., & Darundiati, Y. H. (2021). Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2), 1879–1890. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i2.2889>
- Haerun, R., Mallongi, A., & Natsir, M. F. (2018). Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Biofilter Sistem Upflow dengan Penambahan Efektif Mikroorganisme 4. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 1(2). <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jnik/article/view/5988>
- Heantomas, Komala, P. S., & Raharjo, S. (2025). Pengembangan Sistem dan Model Bisnis Pengelolaan Lumpur Tinja di Kota Sawahlunto. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(2). <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/874>
- Hermansyah, M. H., Putri, Y. P., Setiawan, A. A., Eddy, S., Jumingin, J., & Saputra, W. (2024). Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) Pada Sampel Air Limbah Sawit Secara Gravimetri. *Environmental Science Journal (ESJo): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 2(2), 27–33. <https://journal.univpgripalembang.ac.id/index.php/esjo/article/view/15828>
- Meilufi, S. (2018). Kajian Kinerja Biofilter Aerobik dalam Penurunan Kandungan Organik Limbah Tinja. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, 1(1), 1–11. <http://dx.doi.org/10.32493/jtc.v1i1.1341>
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th ed.). New York: McGraw Hill.
- Nurullita, U., & Mifbakhuddin. (2010). Manipulasi Waktu Tinggal dan Tebal Media Filter Tempurung Kelapa Terhadap Penurunan BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) Air Limbah Rumah Tangga. *Prosiding Seminar Nasional Dan Internasional*. <http://103.97.100.145/index.php/psn12012010/article/view/63>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- Pramita, A., & Puspita, E. D. (2019). Penurunan Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Total Suspended Solids (TSS) pada Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Proses Anaerobik Biofilter. *Journal of*

- Research and Technology*, 5(1), 21-29. <https://journal.unusida.ac.id/index.php/jrt/article/view/443>
- Putri, R. A., & Julianti, S. (2025). Optimalisasi Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Berbasis Biofilter Anaerob-Aerob di Permukiman Padat Penduduk. *Journal of Science and Technology: Alpha*, 1(2), 42-47. <https://doi.org/10.70716/alpha.v1i2.173>
- Ratnawati, R., & Kholif, M. Al. (2018). Aplikasi Media Batu Apung pada Biofilter Anaerobik untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 10(1). <https://journal.uui.ac.id/JSTL/article/view/10747>
- Said, N. I. (2006). Daur Ulang Air Limbah (Water Recycle) Ditinjau dari Aspek Teknologi, Lingkungan dan Ekonomi. *Jurnal Air Indonesia*, 2(2). <https://doi.org/10.29122/jai.v2i2.2300>
- Sari, K. L., As, Z. A., & Hardiono, H. (2017). Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS pada Limbah Tahu Menggunakan Effective Microorganism-4 (EM4) Secara Aerob. *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 14(1). <https://ejournal.kesling-poltekkesbjm.com/index.php/JKL/article/view/61>
- Slamet, A., & Masduqi, A. (2000). *Buku Ajar Satuan Proses*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Susanawati, L. D., Wirosodarmo, R., & Santoso, G. A. (2016). Pemanfaatan Limbah Cair Greywater untuk Hidroponik Tanaman Sawi (*Brassica Juncea*). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 3(2). <https://jsal.ub.ac.id/index.php/jsal/article/view/189>
- Wibowo, M. A., & Rahmanto, T. A. (2021). Kombinasi Tangki Aerasi dan Upflow Biofilter dalam Mendegradasi Bahan Organik (BOD, TSS, TDS) Limbah Cair Industri Tempe. *Enviroous*, 2(1), 27-35. <https://enviroous.upnjatim.ac.id/index.php/enviroous/article/view/82>