Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi
Volume 26, Issue 02, Juli 2026, 378-382
Webite: https://ji.unbari.ac.id, E-Mail: jiubj.unbari@gmail.com
e-ISSN: 2549-4236 (Online), p-ISSN: 1411-8939 (Print), DOI: 10.33087/jiubj.v26i2.6426

Efektivitas *Surface-flow Wetlands* untuk Reduksi Polutan Organik pada Air Limbah Domestik dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Anggrika Riyanti, Hadrah*, Marhadi, Emelda Raudhati, Iptahul Jannah
Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari
*Correspondence: hadrah.hasan@gmail.com

ABSTRAK
Pengolahan air limbah domestik sistem komunal saat ini memiliki banyak tantangan, salah satunya menurunnya kinerja pengolahan akibat tingginya beban pencemar limbah yang masuk ke dalam sistem akibat minimnya upaya pemeliharaan yang layak. Untuk itu diperlukan suatu sistem untuk mendukung kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar lebih optimal yaitu dengan *surface-flow wetlands (SF-Wetlands)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu tinggal terhadap efektivitas penyisihan bahan organik pada sistem *surface-flow wetlands* menggunakan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.). Variasi waktu tinggal yang digunakan adalah 12, 24, 36, 48, 60 dan 72 jam. Parameter air limbah domestik yang dianalisis yaitu BOD_5 dan amoniak. Hasil menunjukkan efisiensi penurunan konsentrasi BOD_5 tertinggi terjadi pada waktu tinggal 72 jam sebesar 97,42% dengan konsentrasi 16,85 mg/L, sementara amoniak sebesar 82,43% dengan konsentrasi 3,86 mg/L. Nilai yang dicapai telah memenuhi bakumutu PermenLHK Nomor 16 Tahun 2016. Lama waktu tinggal berpengaruh signifikan dalam penyisihan bahan organik pada air limbah domestik. Penambahan waktu tinggal diperlukan untuk meningkatkan penyisihan amoniak pada sistem *SF-wetlands*.

Kata kunci : *Surface-flow wetlands*, air limbah domestik, Kayu Apu, waktu tinggal.

ABSTRACT
The treatment of domestic wastewater in communal systems currently faces many challenges, including a decline in treatment performance due to the high pollutant load entering the system, resulting from inadequate maintenance. Therefore, a system is needed to support the optimal performance of wastewater treatment plants (WWTPs), namely surface-flow wetlands (SF-Wetlands). This study aims to analyze the effect of retention time on the effectiveness of organic matter removal in surface-flow wetlands using Pistia stratiotes L. plants. The retention times used were 12, 24, 36, 48, 60, and 72 hours. The domestic wastewater parameters analyzed were BOD_5 and ammonia. The results showed that the highest efficiency in reducing BOD_5 concentration occurred at a retention time of 72 hours, with a reduction of 97.42% to 16.85 mg/L, while ammonia was reduced by 82.43% to 3.86 mg/L. The values achieved met the quality standards of PermenLHK Number 16 of 2016. Retention time significantly affects the removal of organic matter from domestic wastewater. An increase in retention time is needed to improve ammonia removal in the SF-wetlands system.

Keywords**:** *surface-flow wetlands, domestic wastewater, Apu Wood, retention time.*

PENDAHULUAN

Air limbah domestik merupakan salah satu sumber utama beban pencemar organik dan nutrien di badan air perkotaan/peri-urban. Dalam konteks pengelolaan sanitasi skala permukiman, pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik/komunal merupakan pendekatan yang banyak diterapkan untuk mengurangi pembuangan air limbah langsung ke drainase/sungai. Namun, pada banyak sistem komunal, tantangan umum adalah keterbatasan biaya operasi-pemeliharaan, fluktuasi debit dan beban masuk, serta efektivitas pengolahan agar efluen lebih stabil dan memenuhi baku mutu (Wang et al., 2023). Beberapa studi di Indonesia menunjukkan bahwa karakteristik air limbah domestik dapat memiliki kadar BOD, COD, TSS, dan amonia yang tinggi (Ardiatma et al., 2023; Kasman et al., 2022). Tingginya beban pencemaran menyebabkan kerja instalasi lebih berat dapat menyebabkan menurunnya efisiensi pengolahan pada IPAL. Untuk itu diperlukan teknologi untuk menunjang kerja IPAL agar efluen yang dihasilkan memenuhi baku mutu lingkungan.

Salah satu alternatif pengolahan yang relevan untuk menunjang kerja IPAL skala permukiman adalah *constructed wetlands* atau lahan basah buatan. Sistem ini merupakan sistem rekayasa yang memanfaatkan proses alami yang melibatkan vegetasi lahan basah, media tanam, dan mikroba untuk menurunkan pencemar melalui kombinasi mekanisme fisik (pengendapan/filtrasi), kimia (adsorpsi/presipitasi), dan biologis (biodegradasi, nitrifikasi–denitrifikasi, serapan tanaman) (Selvaraj & Velvizhi, 2021). *Constructed wetlands* dipilih karena hemat energi, operasinya relatif sederhana, serta dapat dibangun dengan material lokal, sesuai untuk pengolahan domestik terdesentralisasi.

Sistem *surface-flow wetlands* dengan pemanfaatan tanaman air makrofita mengapung menjadi opsi yang menarik karena perakaran yang menjuntai di kolom air dapat menjadi substrat tumbuh biofilm mikroba, meningkatkan kontak antara air limbah dan komunitas biologis, serta mempercepat penurunan nutrien tertentu. Pada praktiknya, efektivitas sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman, waktu tinggal hidrolik (HRT) dan

konsentrasi air limbah. Studi menunjukkan bahwa tanaman mengapung seperti *Eichhornia crassipes* dan *Pistia stratiotes* dapat menurunkan parameter seperti amonia, fosfat, dan COD (Sayanthan et al., 2024). Selvaraj & Velvizhi (2021) juga menegaskan bahwa perakaran yang kuat menyediakan habitat bagi bakteri aerob yang berperan dalam pengolahan.

Salah satu tanaman yang potensial untuk diaplikasikan adalah Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.), yaitu tumbuhan mengapung yang relatif mudah ditemukan di perairan tropis dan memiliki biomassa/perakaran yang mendukung proses fitoremediasi. Penggunaan *Pistia stratiotes* pada pengolahan air limbah domestik dapat menyisihkan bahan organik yang tinggi. Penelitian pada limbah domestik di Jakarta melaporkan efektivitas penurunan BOD_5 yang sangat tinggi pada konsentrasi limbah tertentu, bersamaan dengan COD, TSS, dan amoniak (Ardiatma et al., 2023). Kasman et al. (2022) juga menjelaskan bahwa penggunaan tanaman Kana (*Canna indica sp)* dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) pada sistem *wetlands* mampu menurunkan air limbah domestik dengan penyisihan bahan organik sebesar 84%. Namun diperlukan studi lebih lanjut mengenai pengaruh waktu tinggal terhadap efektivitas penyisihan pencemar pada *surface-flow wetlands*. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu tinggal terhadap efektivitas penyisihan bahan organik dalam air limbah domestik (BOD_5 dan amoniak) pada sistem *surface-flow wetlands* menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.).

METODE

Material

Reaktor *SF-Wetlands* menggunakan bak persegi panjang dengan bahan plastik kapasitas 36,9 liter, dengan dimensi 67 cm x 23 cm x 24 cm. Media tanam yang digunakan terdiri dari dua kerikil setinggi 5 cm dan tanah yang dicampurkan dengan pasir dengan perbandingan 1:1 setinggi 10 cm. Sampel air limbah domestik diambil dari outlet IPAL domestik di Desa Olak Kemang Kecematan Danau Teluk Kota Jambi. Parameter yang diujikan adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5) dan Amoniakk.

Eksperimen

Aklimatisasi tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes l.)* dilakukan dengan mengalirkan air bersih secara terus menerus selama 3 hari. Aklimatisasi bertujuan agar tanaman benar-benar siap untuk digunakan. Kemudian air limbah dialirkan pada reaktor *SSF-wetlands* yang telah disiapkan. Sampel air limbah kemudian diambil pada variasi waktu tinggal yaitu 12, 24, 36, 48, 60, 72 jam. Pengujian parameter BOD_5 dan Amoniakk pada sampel air limbah selanjutnya dilakukan di laboratorium. Eksperimen dilakukan secara batch.

Analisis Efektivitas Penyisihan

Efektivitas sistem wetlands menyatakan kemampuan sistem dalam mengurangi polutan pencemar dalam air limbah. Efektivitas penyisihan dapat dihitung melalui efisiensi penyisihan (Efisiensi, %) parameter BOD_5 dan Amoniakk, yang dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut: (Rajabi et al., 2016; Gupta et al., 2017).

$$Efisiensi = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} x100$$

dimana, C_o (mg/L) adalah konsentrasi awal and C_t (mg/L) konsentrasi akhir setelah proses penyisihan pada *SSF-wetlands*.

HASIL

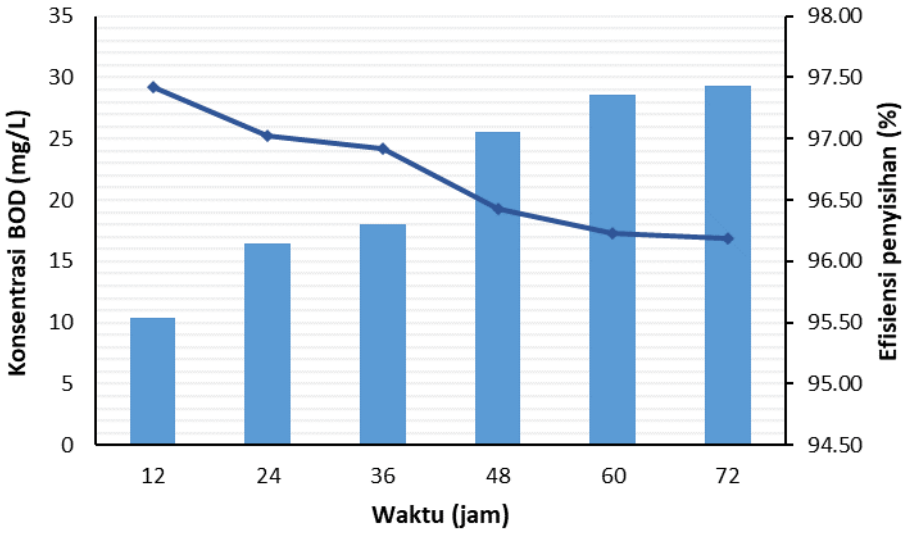
Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)

Hasil penyisihan parameter BOD_5 pada air limbah domestik menggunakan SSF-wetlands menunjukkan hasil yang signifikan. Konsentrasi awal sebesar 654,77 mg/L yang melebihi baku mutu, setelah melalui proses pada *SSF-Wetlands* selama 12 jam terjadi penurunan cukup tinggi menjadi 29,22 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 95,54%. Kemudian mengalami penurunan konsentrasi kembali setiap 12 jam hingga mencapai konsentrasi terendah dicapai pada waktu tinggal 72 jam sebesar 19,36 mg/L dengan efisiensi penyisihan 97.06% (Tabel 1). Konsentrasi BOD5 ini telah memenuhi baku mutu PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016 sebesar 30 mg/L. Penyisihan BOD_5 pada variasi waktu tinggal dengan sistem *SSF-Wetlands* ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 1
Efektivitas penyisihan BOD_5

Waktu (Jam)	Konsentrasi BOD (mg/L)	Efisiensi (%)	Baku mutu* (mg/L)
0	654.77		
12	29.22	95.54	
24	25.24	96.3	
36	24.22	96.14	30
48	17.28	97.36	
60	19.26	97.06	
72	16.85	97.42	

*) Permen LHK No. 68/2016
Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 1
Penyisihan BOD_5 pada variasi waktu tinggal (mg/l)

Pada Gambar 1 terlihat bahwa penurunan BOD_5 mengalami peningkatan pada 12 jam hingga 48 jam pertama, kemudian mulai stabil pada 60 hingga 72 jam, yang terlihat dari grafik yang mulai melandai. Hal ini terjadi karena terjadi penyisihan bahan organik yang sangat efektif dalam *Surface flow Wetland* dengan tanaman kayu apu akibat adanya mekanisme tanaman yang menyerap polutan organik melalui proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh di sekitar akar tanaman (*rhizophere*) maupun kehadiran bakteri heterotrof di dalam air limbah. Bahan organik terlarut dalam air limbah dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas mikroorganisme di dalam SSF-Wetlands.

Penurunan BOD_5 yang signifikan juga dibantu oleh adanya proses filtrasi pada media tanam yang terdiri dari pasir dan kerikil. Penggunaan kerikil cukup efektif untuk pengendapan partikel - partikel terlarut dalam air limbah (Saputra et al., 2024). Rongga-rongga yang terbentuk di antara kerikil memungkinkan terjadinya proses sedimentasi, sehingga limbah menjadi relatif lebih jernih. Kontak antara kerikil dengan air limbah akan membentuk biofilm yang merupakan tempat hidup yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam menguraikan bahan-bahan organik. Penggunaan media pasir juga berperan dalam mampu menurunkan bahan organik dalam air limbah. Pasir merupakan jenis senyawa silica dan oksigen yang ada dalam air berupa koloid yang dapat meningkat OH, serta sebagai tempat menempelnya mikroorganisme (Lin et al., 2025).

Efektivitas penyisihan juga bergantung pada waktu tinggal dimana waktu tinggal yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikoorganisme dengan air limbah (Dionisi & Rasheed, 2018). Waktu tinggal hingga 10 hari pada reaktor wetlands sistem batch mampu menurunkan BOD_5 pada air lindi dengan efisiensi sebesar 76-88% (Riyanti et al., 2024). Sementara Kasman et al. (2018) mendapatkan penurunan BOD_5 pada air limbah industri tahu sebesar 95% pada waktu tinggal 15 hari menggunakan sistem *Subsurface wetlands.* Hasil pada penelitian ini menunjukkan terjadi penyisihan bahan organik yang sangat efektif dengan efisiensi mencapai 95,54% pada 12 jam pertama setelah kontak dengan air limbah.

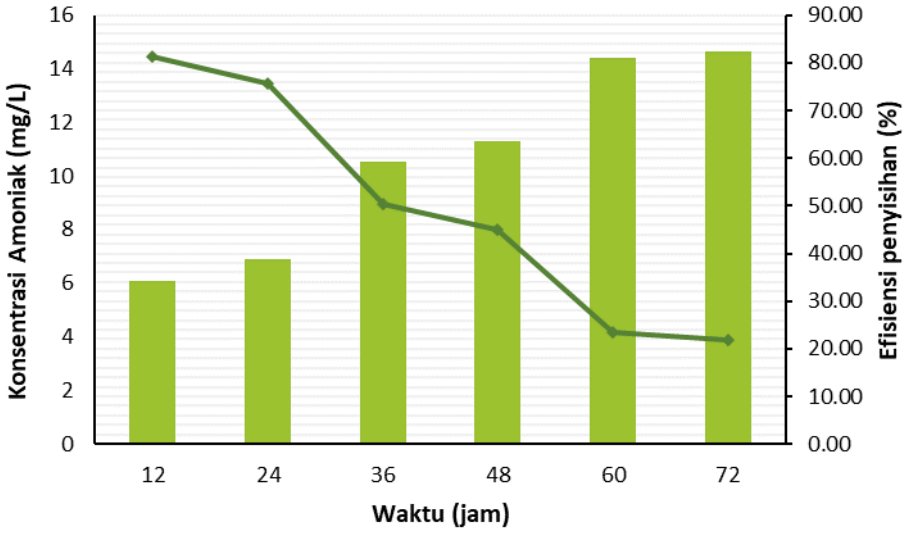
Amoniak

Hasil penyisihan amoniak pada air limbah domestik menggunakan SSF-wetlands menunjukkan hasil yang baik. Hasil pengujian awal menunjukkan konsentrasi Amoniak sebesar 21,97 mg/L dimana nilai ini melebihi baku mutu PP Nomor 68 Tahun 2016 yaitu 10 mg/L. Setelah melalui proses selama 12 jam terjadi penurunan cukup tinggi menjadi 14,47 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 34,14%. Konsentrasi amoniak terus mengalami penurunan hingga 60 jam, dan laju penurunan mulai melambat pada 72 jam. Konsentrasi terendah dicapai pada waktu tinggal 72 jam sebesar 3,86 mg/L dengan efisiensi penyisihan 82,43% (Tabel 2). Konsentrasi Amoniak ini telah memenuhi baku mutu PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016 sebesar 10 mg/L. Penyisihan Amoniak pada variasi waktu tinggal dengan sistem *SSF-Wetlands* ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 2
Efektivitas penyisihan Amoniak

Waktu (Jam)	Konsentrasi Amoniak (mg/l)	Efisiensi (%)	Baku mutu* (mg/L)
0	21.97	-	
12	14.47	34.14	
24	13.43	38.87	
36	8.94	59.31	10
48	8,00	63.59	
60	4.19	80.93	
72	3.86	82.43	

*) Permen LHK No. 68/2016
Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 2
Penyisihan Amoniak pada variasi waktu tinggal

Gambar 2 menunjukkan tren penurunan Amoniak pada waktu tinggal 12 hingga 72 jam. Penyisihan amoniak terlihat cukup cepat pada 12 hingga 60 jam setelah air limbah masuk ke SSF-Wetlands, kemudian proses penyisihan mulai melambat pada waktu 72 jam. Penyisihan amoniak pada wetlands terjadi secara alami melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Proses nitrifikasi dilakukan oleh bakteri aerobik dimana terjadi konversi nitrogen ammonium (NH_4-N) menjadi nitrit (NO_2-N), lalu nitrat NO_3-N). Pada wetlands, kebutuhan oksigen bakteri disediakan oleh tanaman kayu apu melalui proses fotosintesis. Oksigen terdifusi ke dalam pori-pori daun menuju ke akar tumbuhan sehingga akan terbentuk zona rizosfer yang kaya oksigen (Wulandari et.al., 2018). Pelepasan oksigen oleh akar tumbuhan air meningkatkan kandungan oksigen terlarut dalam wetlands sehingga mendukung mikro habitat untuk bakteri aerob melalakukan proses penguraian.

Selanjutnya terjadi proses denitrifikasi pada kondisi lingkungan anoksik yang terjadi di bagian bawah reaktor dimana terjadi proses penguraian nitrat menjadi gas nitrogen (N_2) dan air dengan bantuan bakteri denitrifikasi. Gas nitrogen selanjutnya dilepaskan ke atmosfer. Pada penelitian ini tidak dilakukan penambahan oksigen yang mendukung terbentuk kondisi anoksik pada reaktor sehingga terjadi penurunan konsentrasi Amoniak yang cukup signifikan dalam waktu 72 jam. Hasil ini sesuai dengan penelitian Hidayah et al. (2018) dimana *constructed wetlands* dengan tanaman Iris (*I. pseudoacorus*) efektif untuk penyisihan amoniak dibandingkan bak kontrol tanpa tanaman. Adanya kerikil pada media tanam juga memberikan pengaruh dalam proses penyisihan biologis baik BOD_5 maupun amoniak, karena terbentuknya biofilm pada sela-sela kerikil yang membentuk tempat hidup mikroorganisme untuk proses penguraian bahan organik dalam air limbah. Dengan demikian sistem SSF-Wetlands dengan tanaman kayu apu efektif dalam menyisihkan BOD_5 dan Amoniak pada air limbah domestik dengan baik.

SIMPULAN

Efektivitas sistem *Surface-flow Wetlands* dengan tanaman kayu apu dalam menurunkan polutan organik pada air limbah domestik, dengan efisiensi penyisihan BOD_5 sebesar 97,42 % dan amoniak (NH_3) sebesar 82,43%. Waktu tinggal selama 72 jam mampu

meningkatkan efektivitas penyisihan dengan baik pada penyisihan BOD5, sementara diperlukan penambahan waktu tinggal yang lebih lama untuk penyisihan amoniak (NH_3) yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiatma, D., Ilyas, N. I., & Sara, N. U., 2023. Efektivitas metode fitoremediasi dengan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap penurunan kadar BOD dalam limbah domestik di Jakarta. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 15(2), 121–133.

Dionisi, D., & Rasheed, A. A., 2018. Maximisation of the organic load rate and minimisation of oxygen consumption in aerobic biological wastewater treatment processes by manipulation of the hydraulic and solids residence time. *Journal of water process engineering*, *22*, 138-146.

Hidayah, E. N., Djalalembah, A., Asmar, G. A., Cahyonugroho, O. H., 2018. Pengaruh aerasi dalam constructed wetland pada pengolahan air limbah domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *16*(2), 155.

Kasman, M., Riyanti, A., Sy, S., Ridwan, M., 2018. Reduksi pencemar limbah cair industri tahu dengan tumbuhan melati air (Echinodorus palaefolius) dalam sistem kombinasi constructed wetland dan filtrasi. *Indonesian Journal of Industrial Research*, *8*(1), 39-46.

Kasman, M., Hadrah, H., Firmanda, F., 2022. Reduksi COD dan BOD Air Limbah Domestik dengan Konsep Taman Constructed Wetland. *Jurnal Daur Lingkungan*, *5*(1), 1-4.

Kasman, M., Riyanti, A., Kartikawati, C. E., 2019. Fitoremediasi Logam Aluminium (Al) pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air Menggunakan Tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius). *Jurnal Daur Lingkungan*,, *2*(1), 7-10.

Lin, W. R., Liu, R. C., Yen, C. L., Wang, P. H., 2025. Removal of coliform pollution using a gravel-packed contact bed: reduction effect and microbial community analysis. *Water Science & Technology*, *92*(3), 455-470.

Permen LHK No 68/Menlhk/Setjen/Kum. 1/8/2016. Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Riyanti, A., Hadrah, H., Kasman, M., Ramadan, B. S., Saputra, I., Fitri, R. R. D., 2024. Biochar-Based Subsurface-Flow Wetland from Crumb Rubber Scrap in Treatment of Landfill Leachate. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *21*(1), 51-60.

Saputra, A. W. W., Rubiantoro, P., Asmoro, R., Artha, V. M., 2024. Water quality enhancement through vertical and horizontal roughing filtration (case study: drilling well at Mojorejo Village, Batu City, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1311(1), IOP Publishing.

Sayanthan, S., Hasan, H. A., Buhari, J., Abdullah, S. R. S., 2024. Treatment of domestic wastewater using free floating constructed wetlands assisted by *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*. *Journal of Ecological Engineering*, 25(8), 237–252.

Selvaraj, D., Velvizhi, G., 2021. Sustainable ecological engineering systems for the treatment of domestic wastewater using emerging, floating and submerged macrophytes. *Journal of Environmental Management*, 286, 112253.

Wang, X., Chen, J., Li, Z., Cheng, S., Mang, H.-P., Zheng, L., Jan, I., Harada, H., 2023. Nutrient recovery technologies for management of blackwater: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1080536.

Wulandari, A., Nusantara, R. W., Anwari, M. S., 2020. Efektifitas Sistem Lahan Basah Buatan Dalam Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit-x. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, *27*(2), 39-49.