

DESAIN PROTOTIPE UNIT FILTRASI UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH AIR WUDHU

Prototype Design Of A Filtration Unit For Abbue Water Waste Treatment

**Mar'atus Sholihah^{1*}, Vivin Setiani², Ria Rismawati³, Nora Amelia Novitrie⁴,
Sekarsari Wibowo⁵, Nur Fajar Aprilia Sari⁶**

^{1,2,3,4,5,6}**Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya**

Email: maratus.sholihah@ppns.ac.id

Abstract

This study aims to design and evaluate a simple prototype filtration unit for the treatment of ablution (wudhu) wastewater generated from religious facilities. Ablution water is categorized as domestic wastewater that is commonly discharged directly into the environment without prior treatment, although it still poses a potential risk of pollution. The developed prototype employs a multi-layer filter configuration consisting of palm fiber, zeolite, activated carbon, and sponge, with a total media height of 40 cm and an operational flow rate of 100 L/h. Based on design calculations, the system achieved a Hydraulic Loading Rate (HLR) of 0.4 m³/m²·h and an Empty Bed Contact Time (EBCT) of 60 minutes, indicating conservative hydraulic characteristics with a relatively long contact time. Performance testing showed that the filtration unit effectively reduced turbidity from 3 NTU to 1.2 NTU, achieving a removal efficiency of 88%, and increased the pH value from 5.6 to 7.0, thereby meeting the Class II water quality standard as regulated in Government Regulation No. 22 of 2021. These findings demonstrate that the designed filtration system is effective in improving the physical quality of ablution wastewater and has strong potential for application in public facilities such as mosques and educational institutions to support water conservation and sustainable wastewater management.

Keywords: *filtration, ablution wastewater, prototype, removal efficiency, water conservation*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi prototipe sederhana unit filtrasi untuk pengolahan air limbah wudhu yang dihasilkan dari fasilitas ibadah. Air wudhu dikategorikan sebagai air limbah domestik yang umumnya dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan sebelumnya, meskipun tetap berpotensi menimbulkan pencemaran. Prototipe yang dikembangkan menggunakan konfigurasi filter berlapis terdiri dari ijuk, zeolit, karbon aktif, dan spons, dengan tinggi total media 40 cm dan laju alir operasi 100 L/jam. Berdasarkan perhitungan desain, sistem mencapai Hydraulic Loading Rate (HLR) sebesar 0,4 m³/m²·jam dan Empty Bed Contact Time (EBCT) selama 60 menit, menunjukkan karakteristik hidraulik yang konservatif dengan waktu kontak yang relatif lama. Pengujian kinerja menunjukkan bahwa unit filtrasi ini efektif menurunkan kekeruhan dari 3 NTU menjadi 1,2 NTU, dengan efisiensi penyisihan sebesar 88%, serta meningkatkan nilai pH dari 5,6 menjadi 7,0, sehingga memenuhi baku mutu air Kelas II sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem filtrasi yang dirancang efektif meningkatkan kualitas fisik air limbah wudhu dan memiliki potensi besar untuk diterapkan di fasilitas publik seperti masjid dan institusi

pendidikan untuk mendukung konservasi air dan pengelolaan air limbah yang berkelanjutan.

Kata kunci: filtrasi, air limbah wudhu, prototipe, efisiensi penyisihan, konservasi air

PENDAHULUAN

Limbah air wudhu dikategorikan sebagai limbah cair domestik non fekal yang termasuk dalam air buangan dari aktivitas kebersihan diri seperti mencuci tangan, wajah, kaki, serta berkumur sebelum menjalankan ibadah salat. Aktivitas ini umumnya menggunakan air bersih dalam jumlah yang cukup besar, dengan estimasi kebutuhan sekitar 3 hingga 5 liter per orang untuk setiap kali wudhu (Hadisantoso et al., 2020). Meskipun air limbah tersebut tidak mengandung patogen sebagaimana limbah fekal, komposisinya tetap berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan karena mengandung padatan tersuspensi (TSS), padatan terlarut (TDS), bahan organik seperti BOD dan COD, serta kemungkinan sisa sabun atau deterjen ringan yang digunakan selama proses pembersihan tubuh. Tingkat pencemaran limbah air wudhu tergolong ringan dibandingkan dengan limbah rumah tangga lainnya. Namun, jika dibuang langsung ke saluran pembuangan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu, limbah tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas badan air akibat peningkatan kekeruhan, akumulasi bahan organik, dan berkurangnya kadar oksigen terlarut (Faradila et al., 2021). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menetapkan bahwa air limbah domestik yang dibuang ke badan air wajib memenuhi baku mutu lingkungan, yaitu $BOD \leq 30$ mg/L, $COD \leq 100$ mg/L, $TSS \leq 30$ mg/L, dan pH berkisar antara 6 hingga 9. Ketentuan tersebut menunjukkan pentingnya penerapan teknologi pengolahan limbah sederhana dan efisien yang dapat diimplementasikan pada fasilitas publik berskala menengah seperti masjid, guna mencegah pencemaran sekaligus mendukung efisiensi penggunaan air bersih.

Filtrasi merupakan salah satu metode pengolahan air limbah yang paling banyak digunakan karena sederhana, mudah dioperasikan, dan tidak membutuhkan energi tinggi. Limbah air wudhu dapat diolah menggunakan teknologi sederhana seperti filtrasi, tanpa memerlukan proses biologis kompleks (Bahagia, 2021). Prinsip dasar filtrasi adalah mekanisme penyaringan mekanis dan penyerapan (adsorpsi) dengan air limbah dialirkan melalui lapisan media berpori untuk menangkap partikel tersuspensi, mengurangi kekeruhan, serta menyerap bahan organik dan senyawa terlarut lainnya (Sulianto et al., 2022). Efektivitas sistem filtrasi sangat dipengaruhi oleh jenis dan konfigurasi media yang digunakan, laju aliran, serta ketebalan lapisan media penyaring. Menurut Sulianto et al. (2022), kombinasi beberapa media dengan ukuran dan karakteristik berbeda meningkatkan efisiensi penyisihan polutan. Pasir silika efektif mengurangi kekeruhan, zeolit menurunkan kadar amonium dan logam berat, sedangkan karbon aktif mengadsorpsi bahan organik dan zat penyebab bau. Jenis media dan susunannya berpengaruh terhadap hasil filtrasi. Penyusunan media filtrasi menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran butiran media filter, semakin kecil pula ukuran pori-pori yang dihasilkan. Hal ini meningkatkan kemampuan media filter dalam menahan partikel yang lebih halus, sehingga meningkatkan kualitas air hasil filtrasi (Sulianto et al., 2022). Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Sulianto et al. (2022), sistem filtrasi dengan konfigurasi down-flow yang terdiri dari kombinasi media pasir silika, zeolit, dan karbon aktif

terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi biochemical oxygen demand (BOD) hingga 85% dan total suspended solids (TSS) hingga 90%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air hasil olahan memenuhi baku mutu air kelas III, yaitu kualitas air yang dapat digunakan untuk kegiatan pertanian, perikanan, atau rekreasi air sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Selain itu pada penelitian sistem filtrasi menggunakan media kerikil, ijuk, karbon aktif, dan zeolit dalam pengolahan air baku. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi media tersebut efektif dalam menurunkan parameter kualitas air seperti TSS, TDS, kekeruhan, DO, suhu, bau, dan pH (Rizky, 2021). Penurunan parameter TDS dengan nilai 209,5 mg/l secara efektif menggunakan media ijuk, sedangkan penurunan parameter TSS dengan nilai 0,049 mg/l dan kekeruhan dengan nilai 4,6 NTU efektif menggunakan media zeolite.

Sistem filtrasi berlapis (multi-media filtration) menjadi solusi yang efisien dan aplikatif untuk pengolahan limbah air wudhu, terutama di fasilitas publik seperti masjid. Selain biaya operasional yang rendah dan mudah diterapkan, sistem filtrasi juga sejalan dengan prinsip teknologi tepat guna dan ramah lingkungan, sehingga berpotensi besar mendukung pengelolaan air berkelanjutan di lingkungan pendidikan (Faradila, 2021; Sulianto et al., 2022). Kajian yang secara khusus menyoroti perancangan prototipe unit filtrasi untuk limbah air wudhu berdasarkan karakteristik debit dan kualitas limbah masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada aspek desain sistem filtrasi yang kompak dan kombinasi media penyaring yang disesuaikan secara spesifik dalam mengolah limbah air wudhu.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental yang berfokus pada perancangan dan pengujian kinerja prototipe unit filtrasi limbah air wudhu. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik limbah air wudhu serta meninjau berbagai teknologi filtrasi yang relevan dan telah diterapkan pada pengolahan limbah cair domestik serupa. Berdasarkan hasil kajian tersebut, dilakukan perancangan prototipe unit filtrasi yang disesuaikan dengan debit dan karakteristik air limbah wudhu. Selanjutnya, dilakukan pembuatan prototipe menggunakan bahan konstruksi akrilik agar ringan, transparan untuk observasi visual, dan tahan terhadap korosi. Sistem ini bersifat modular, memungkinkan penambahan atau penggantian media filtrasi sesuai kebutuhan pengujian. Unit filtrasi terdiri atas beberapa lapisan media dengan fungsi berbeda, yaitu spons sebagai lapisan dasar dan penopang media, pasir zeolit untuk penyisihan padatan, karbon aktif menghilangkan bau dan ijuk berfungsi menstabilkan distribusi aliran serta sebagai penyaringan awal. Setelah unit selesai dirancang, dilakukan uji kinerja prototipe dengan mengukur dan membandingkan parameter fisik kualitas air limbah sebelum dan sesudah proses filtrasi yang terdiri dari kekeruhan dan pH untuk menilai efektivitas sistem dalam menurunkan tingkat pencemar. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kaca akrilik sebagai bahan utama unit filtrasi, pipa PVC berdiameter 3/4 inci sebagai inlet dan outlet air limbah, serta media filtrasi (ijuk, karbon aktif, zeolit, dan spons).

HASIL

Perhitungan geometri dan hidraulika dilakukan untuk memperoleh parameter desain utama berupa luas penampang, volume media, laju beban hidrolis (Hydraulic Loading Rate/HLR), waktu kontak tempat kosong (Empty Bed Contact Time/EBCT), serta kecepatan aliran permukaan (superficial velocity). Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian rancangan dengan kriteria desain filtrasi konvensional serta memperkirakan efisiensi penyisihan kekeruhan yang dapat dicapai oleh unit prototipe.

1. Spesifikasi desain (data input)

Tujuan: penurunan kekeruhan 60–70% pada limbah air wudhu.

Debit operasi: $Q = 100 \text{ L/h}$

Dimensi unit (luas penampang persegi): $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$

Komponen ruang:

Media: ijuk 10 cm, zeolit 10 cm, karbon aktif 10 cm, spons 10 cm, $H_{\text{media}} = 40 \text{ cm}$

Ruang pengendapan bawah: $10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$ (bawah media).

Ruang kosong atas media: $10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$ (atas media).

Volume media yang dinyatakan: $V_{\text{bed}} = \text{luas} \times \text{tinggi media}$

2. Perhitungan geometri dan volume

2.1 Luas penampang (A)

$$A = 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$$

2.2 Volume bed media V_{bed}

$$V_{\text{bed}} = A \times H_{\text{media}} = 0,25 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ m} = 0,10 \text{ m}^3$$

(=> Konfirmasi: volume media = 100 L sesuai data)

2.3 Diameter ekuivalen (untuk referensi kolom)

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,25}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{\pi}} \approx \sqrt{0,3183099} \approx 0,5642 \text{ m} \approx 56,4 \text{ cm}$$

2.4 Total tinggi unit (perkiraan)

$$H_{\text{total}} = \text{ruang bawah } 0,10 + H_{\text{media}} 0,40 + \text{ruang atas } 0,10 = 0,60 \text{ m}$$

3. Perhitungan hidraulika

3.1 Hydraulic Loading Rate (HLR)

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

$$HLR = \frac{0,1}{0,25} = 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Interpretasi: $HLR = 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (relatif rendah dibanding HLR tipikal multimedia $3\text{--}8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ artinya sistem bekerja pada laju permukaan yang sangat konservatif/“lambat”).

3.2 Empty Bed Contact Time (EBCT)

$$EBCT = \frac{V_{\text{bed}}}{Q} = \frac{0,10 \text{ m}^3}{0,1 \text{ m}^3/\text{h}} = 1 \text{ jam}$$

Interpretasi: EBCT keseluruhan = 60 menit (sangat panjang untuk filtrasi; memberikan waktu kontak signifikan untuk mekanisme penyaringan dan beberapa adsorpsi).

3.3 Superficial velocity (v_s)

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{0,1}{0,25} = 0,4 \text{ m/h}$$

Konversi ke m/s:

$$v_s = \frac{0,4}{3600} \approx 1,1111 \times 10^{-4} \text{ m/s} \approx 0,0001111 \text{ m/s}$$

4. Waktu kontak efektif pada fase pori (opsional, menggunakan porositas)

Asumsi porositas media gabungan $n = 0,4$ (nilai tipikal untuk bed campuran).

Void volume:

$$V_{\text{void}} = V_{\text{bed}} \times n = 0,10 \times 0,40 = 0,04 \text{ m}^3$$

Waktu retensi di pori:

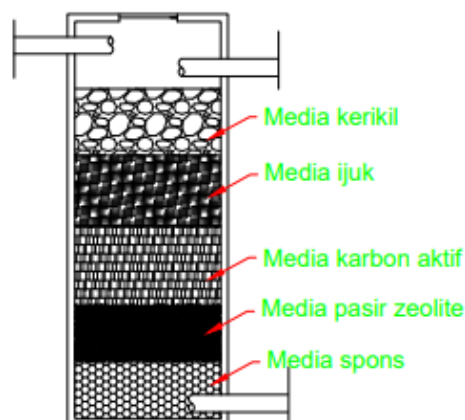
$$t_{\text{pore}} = \frac{V_{\text{void}}}{Q} = \frac{0,04}{0,1} = 0,4 \text{ h} = 24 \text{ menit}$$

Interpretasi: meskipun EBCT total 60 menit, waktu air “terikat” di pori media (ketersediaan kontak untuk adsorpsi/penahanan partikel) ≈ 24 menit.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini dilakukan perancangan desain pengolahan limbah air wudhu dengan metode filtrasi. Desain prototype filtrasi terdiri dari media filter berupa ijuk, karbon aktif, zeolite dan spons. Dimensi prototype berukuran panjang 50 cm, lebar 50 cm x 60 cm. Sedangkan masing-masing media disusun dengan dimensi 50 cm x 50 cm x 10 cm, dengan menyisakan ruang untuk inlet air limbah setinggi 10 cm di bagian atas bak filtrasi dan ruang untuk filtrat atau outlet setinggi 10 cm dibagian bawah bak filtrasi.

Desain prototype dirancang sesuai dengan perhitungan desain dengan volume bed 100 L (luas penampang $0,25 \text{ m}^2$; tinggi media 0,4 m) dan debit operasi 100 L/h menghasilkan $\text{HLR} = 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ dan $\text{EBCT} = 60$ menit (void $\text{EBCT} \approx 24$ menit dengan asumsi porositas 0,4). HLR yang rendah dan EBCT panjang mendukung efisiensi filtrasi yang tinggi; estimasi konservatif efektivitas penurunan kekeruhan berada pada 70–90%, sehingga memenuhi dan berpotensi melampaui target penurunan kekeruhan 60–70% untuk limbah air wudhu. Detail desain media filter seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Desain filtrasi 2 dimensi

Reaktor atau protipe filtrasi dibuat dari kaca akrilik sesuai dengan perancangan desain. Penggunaan kaca aklirik untuk memudahkan dalam

pengamatan proses filtrasi oleh masing-masing media filter. Proses mengalirkan air limbah dibantu dengan pemasangan pipa outlet dan inlet di bagian atas dan bawah bak filtrasi seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Prototipe Unit Filtrasi

Desain prototipe unit filtrasi yang sudah selesai dirancang, selanjutnya dilakukan pengujian kinerja dengan mengukur dan membandingkan parameter fisik kualitas air limbah sebelum dan sesudah proses filtrasi yang terdiri dari kekeruhan dan pH seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Olahan Limbah Air Wudhu

No	Parameter Fisik	Konsentrasi air limbah sebelum filtrasi	Konsentrasi air limbah setelah filtrasi	Baku Mutu*
1	Kekeruhan	3 NTU	1,2 NTU	25 NTU
2	pH	5,6	7	6-9

* Baku Mutu Kelas 2 PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh maka semua parameter air olahan telah memenuhi baku mutu kelas 2 No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI sesuai dengan peruntukannya. Hal ini menunjukkan bahwa unit filtrasi dapat menurunkan kadar parameter pada limbah wudhu. Parameter fisik untuk kekeruhan mengalami penurunan dari 3 NTU menjadi 1,2 NTU dengan efisiensi penurunan polutan 88 %, lebih rendah dari baku mutu 25 NTU, menunjukkan penyisihan partikel tersuspensi yang signifikan. Menurut Hoya, A. L., et al. (2023), penggunaan karbon aktif juga dapat menurunkan tingkat kekeruhan air hingga 37,2%. Filter dengan ketebalan karbon aktif yang lebih besar terbukti lebih efektif dalam meningkatkan pH (Mashadi, A., et al . 2018). Selebihnya karbon aktif karbon aktif memiliki kemampuan penyerapan terhadap zat-zat asam organik sehingga berperan dalam peningkatan pH (Asnaning., 2018). Hasil uji kinerja unit filtrasi menunjukkan bahwa tingkat efisiensi penyisihan polutan telah sesuai dengan rancangan, dengan penurunan nilai kekeruhan mencapai kisaran 70–90%. Capaian ini menunjukkan bahwa sistem filtrasi yang dikembangkan mampu memenuhi bahkan berpotensi melampaui target desain, yaitu penurunan kekeruhan sebesar 60–70% pada air limbah wudhu.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang sekaligus menguji kinerja prototipe

unit filtrasi sederhana yang difungsikan untuk pengolahan limbah air wudhu. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian, sistem filtrasi yang terdiri atas susunan media ijuk, zeolit, karbon aktif, dan spons menunjukkan kinerja yang efektif dalam menurunkan parameter fisik air limbah, terutama kekeruhan. Nilai kekeruhan mengalami penurunan signifikan dari 3 NTU menjadi 1,2 NTU, dengan efisiensi penyisihan mencapai 88%, sedangkan nilai pH meningkat dari 5,6 menjadi 7,0. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas air hasil filtrasi telah memenuhi baku mutu air kelas II sebagaimana diatur dalam PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI.

Desain hidraulika unit filtrasi dengan debit operasi 100 L/jam, luas penampang 0,25 m², dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) sebesar 0,4 m³/m²·jam menunjukkan karakteristik aliran yang konservatif namun efisien, dengan *Empty Bed Contact Time* (EBCT) sebesar 60 menit. Waktu tinggal yang cukup lama di dalam kolom media memungkinkan terjadinya proses penyaringan mekanis dan adsorpsi senyawa terlarut secara optimal. Berdasarkan hasil tersebut, prototipe filtrasi yang dikembangkan terbukti mampu mencapai bahkan melampaui target desain penurunan kekeruhan sebesar 60–70%.

Secara keseluruhan, unit filtrasi yang dirancang dinilai efektif, sederhana, dan ekonomis, serta berpotensi untuk diimplementasikan pada fasilitas publik seperti masjid dalam rangka mendukung konservasi air dan pengelolaan limbah cair yang berkelanjutan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian lanjutan terhadap parameter kimia dan mikrobiologi, serta evaluasi optimasi kombinasi media dan variasi debit aliran guna memperoleh kinerja pengolahan yang lebih efisien dan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnaning, A. R., & Saputra, E. (2018). Uji Kualitas Air Hujan Hasil Filtrasi untuk Penyediaan Air Bersih Rainwater Quality Test From Filtration Result for Clean Water Supply.
- Bahagia. (2021). *Pengolahan limbah wudhu dengan reaktor lahan basah buatan dan saringan pasir lambat*. Jurnal NKTI. Diakses dari <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jnkti/article/view/4586>
- Faradila. (2021). *Rekayasa pengolahan air limbah domestik dengan metode kombinasi filtrasi untuk menurunkan tingkat polutan air*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia. Diakses dari <https://ejournal.undip.ac.id>
- Hadisantoso, E. P., Widayanti, Y., Hanifah, R., & Amalia, V. G. (2020). *Pengolahan limbah air wudhu wanita dengan metode aerasi dan adsorpsi menggunakan karbon aktif*. Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan, 5(1), 22–29.
- Hoya, A. L., Yosilia, R., Mukti, A. D., Sugiharta, I., & Ratih, R. F. (2023). *Pengembangan alat filter air menggunakan kandungan karbon aktif yang berbeda sebagai media pembelajaran*. Jurnal Basicedu, 7(5), 3272–3281. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i5.6308>
- Mashadi, A., Surendro, B., Rakhmawati, A., & Amin, M. (2018). *Peningkatan kualitas pH, Fe, dan kekeruhan dari air sumur gali dengan metode filtrasi*. Jurnal Riset Rekayasa Sipil, 1(2), 105. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v1i2.20660>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource*



recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VI*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Rizky, M. A. N., Hanurawaty, N. Y., Wahyudi, P., & Iqbal, M. (2025). *Pengaruh variasi waktu kontak pasir silika dan pasir aktif pada alat filtrasi sederhana terhadap penurunan kadar Fe pada air bersih*. *Environmental Health and Safety Journal*, 2(1), 21–28.

Sulianto, A. A., Kurniati, E., & Hapsari, A. A. (2022). *Perancangan unit filtrasi untuk pengolahan limbah domestik menggunakan sistem downflow*. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.