

**Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan
Tambahan Batu Apung serta Identifikasi
Mikroorganisme pada Media Adsorben**

Skripsi



Ruben Widiasmara Krisnandito

31210401

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2025**

Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed
Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan
Tambahan Batu Apung serta Identifikasi Mikroorganisme
pada Media Adsorben

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si.)
pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana



Ruben Widiasmara Krisnandito

31210401

DUTA WACANA

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2025**

PERNYATAAN PENYERAHAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ruben Widiasmara Krisnandito
NIM/NIP/NIDN : 31210401
Program Studi : Biologi
Judul Karya Ilmiah : Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan Tambahan Batu Apung serta Identifikasi Mikroorganisme pada Media Adsorben

dengan ini menyatakan:

- a. bahwa karya yang saya serahkan ini merupakan revisi terakhir yang telah disetujui pembimbing/promotor/reviewer.
- b. bahwa karya saya dengan judul di atas adalah asli dan belum pernah diajukan oleh siapa pun untuk mendapatkan gelar akademik baik di Universitas Kristen Duta Wacana maupun di universitas/institusi lain.
- c. bahwa karya saya dengan judul di atas sepenuhnya adalah hasil karya tulis saya sendiri dan bebas dari plagiasi. Karya atau pendapat pihak lain yang digunakan sebagai rujukan dalam naskah ini telah dikutip sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.
- d. bahwa saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku berupa pencabutan gelar akademik jika di kemudian hari didapati bahwa saya melakukan tindakan plagiasi dalam karya saya ini.
- e. bahwa Universitas Kristen Duta Wacana tidak dapat diberi sanksi atau tuntutan hukum atas pelanggaran hak kekayaan intelektual atau jika terjadi pelanggaran lain dalam karya saya ini. Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran dalam karya saya ini akan menjadi tanggung jawab saya pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Kristen Duta Wacana.
- f. menyerahkan hak bebas royalti noneksklusif kepada Universitas Kristen Duta Wacana, untuk menyimpan, melestarikan, mengalihkan dalam media/format lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), dan mengunggahnya di Repositori UKDW tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta atas karya saya di atas, untuk kepentingan akademis dan pengembangan ilmu pengetahuan.

- g. bahwa saya bertanggung jawab menyampaikan secara tertulis kepada Universitas Kristen Duta Wacana jika di kemudian hari terdapat perubahan hak cipta atas karya saya ini.
- h. bahwa meskipun telah dilakukan pelestarian sebaik-baiknya, Universitas Kristen Duta Wacana tidak bertanggung jawab atas kehilangan atau kerusakan karya atau metadata selama disimpan di Repositori UKDW.
- i. mengajukan agar karya saya ini: *(pilih salah satu)*

- ☐ Dapat diakses tanpa embargo.
- ☒ Dapat diakses setelah 2 tahun.*
- ☐ Embargo permanen.*

Embargo: penutupan sementara akses karya ilmiah.

*Halaman judul, abstrak, dan daftar pustaka tetap wajib dibuka.

Alasan embargo *(bisa lebih dari satu)*:

- ☐ dalam proses pengajuan paten.
- ☐ akan dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional.**
- ☒ akan diterbitkan dalam jurnal nasional/internasional.**
- ☐ telah dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional ... dan diterbitkan dalam prosiding pada bulan ... tahun ... dengan DOI/URL ... ***
- ☐ telah diterbitkan dalam jurnal ... dengan DOI/URL artikel ... atau vol./no. ... ***
- ☐ berisi topik sensitif, data perusahaan/pribadi atau informasi yang membahayakan keamanan nasional.
- ☐ berisi materi yang mengandung hak cipta atau hak kekayaan intelektual pihak lain.
- ☐ terikat perjanjian kerahasiaan dengan perusahaan/organisasi lain di luar Universitas Kristen Duta Wacana selama periode tertentu.
- ☐ Lainnya (mohon dijelaskan)

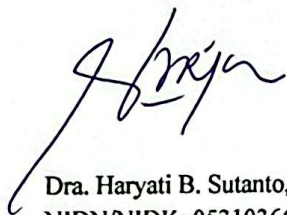
**Setelah diterbitkan, mohon informasikan keterangan publikasinya ke repository@staff.ukdw.ac.id.

***Tuliskan informasi kegiatan atau publikasinya dengan lengkap.

UKDW
DUTA WACANA

Yogyakarta, 22 Juni 2025

Mengetahui,



Dra. Haryati B. Sutanto, M.Sc.
NIDN/NIDK: 0531036601

Yang menyatakan,



Ruben Widiastara Krisnandito
NIM: 31210401

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi dengan judul:

PENGOLAHAN LIMBAH *LAUNDRY* DENGAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN *Echinodorus palaefolius* DAN TAMBAHAN BATU APUNG SERTA IDENTIFIKASI MIKROORGANISME PADA MEDIA ADSORBEN

telah diajukan dan dipertahankan oleh:

RUBEN WIDIASMARA KRISNANDITO

31210401

dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Sains pada tanggal 28 Mei 2025

Nama Dosen

Tanda Tangan

1. Prof. Dr. Suwarno Hadisusanto, S.U.
(Ketua Tim Penguji)

:



2. Dra. Haryati B. Sutanto, M.Sc.
(Dosen Pembimbing I/Dosen Penguji II)

:



3. Dr. Dhira Satwika, M.Sc.
(Dosen Pembimbing II/Dosen Penguji III)

:



UTA WACANA

Yogyakarta, 4 Juli 2024

Disahkan oleh:

Dekan,

Ketua Program Studi,



Dr. Charis Amarantini, M.Si.
NIK. 914E155



Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc.
NIK. 214E556

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem
Constructed Wetland Menggunakan
Echinodorus palaefolius dan Tambahan
Batu Apung serta Identifikasi
Mikroorganisme pada Media Adsorben.

Nama Mahasiswa : Ruben Widiasmara Krisnandito

Nomor Induk Mahasiswa : 31210401

Pembimbing I : Dra. Haryati B. Sutanto, M.Sc.

Pembimbing II : Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

Hari/Tanggal Ujian : Rabu, 28 Mei 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

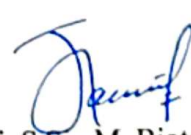

Dra. Haryati B. Sutanto, M.Sc.


Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

NIK: 894E099

NIK: 904E146

Ketua Program Studi,


Dwi Adityarini, S.St., M. Biotech., M.Sc.

NIK: 214E556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ruben Widiasmara Krisnandito

NIM : 31210401

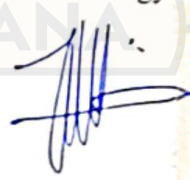
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

“Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan Tambahan Batu Apung serta Identifikasi Mikroorganisme pada Media Adsorben”

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggung jawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 28 Mei 2025



Ruben Widiasmara Krisnandito

31210401

KATA PENGANTAR

Segala syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan penyertaannya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan Tambahan Batu Apung serta Identifikasi Mikroorganisme pada Media Adsorben” dengan sebaik mungkin dan pada waktu yang tepat. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas segala bentuk dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak diantaranya:

1. Ibu Dra. Haryati Bawole Sutanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing dan Bapak Dr. Dhira Satwika, M.Sc. selaku dosen pendamping untuk segala masukan, saran, dan dukungan yang telah diberikan selama proses skripsi.
2. Bapak Widi Pranoto, S.Kom., Ibu Esti Widiastuti, M.Min. dan seluruh keluarga atas segala dukungan moral dan materi yang telah diberikan selama proses perkuliahan hingga penulis menyelesaikan tugas akhir.
3. Teman-teman “Makarios 21” serta sahabat lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas seluruh dukungan yang telah diberikan.
4. Laboran Fakultas Biologi UKDW, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam bentuk apapun sehingga proses penyusunan tugas akhir dapat berjalan dengan sebaik mungkin.

Penulis menyadari penyusunan tugas akhir skripsi ini tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca, terima kasih.

Yogyakarta, 28 Mei 2025



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL DEPAN.....	i
HALAMAN SAMPUL DALAM.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Limbah <i>Laundry</i>	3
2.2. <i>Constructed Wetland</i> (CW).....	6
2.3. Melati Air (<i>Echinodorus palaefolius</i>).....	9
2.4. Media Adsorben	10
2.5. Batu Apung sebagai Media Adsorben Pengolahan Limbah <i>Laundry</i> ...	12
2.6. <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT).....	14
2.7. Aklimatisasi	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Bahan Penelitian.....	16
3.3. Alat Penelitian.....	17
3.4. Cara Kerja	17
3.4.1. Preparasi pra-penelitian.....	17

3.4.2.	Persiapan penelitian	17
3.4.3.	Pengukuran Parameter	20
3.4.4.	Parameter Uji Kimia dan Fisika.....	21
3.4.5.	Identifikasi Mikroorganisme.....	24
3.5.	Bagan Alir Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1.	Hasil Pengukuran Parameter Kimia	30
4.1.1.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	30
4.1.2.	Derajat Keasaman (pH).....	32
4.1.3.	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	33
4.1.4.	Fosfat (P).....	35
4.1.5.	<i>Methylene Blue Active Substance</i> (MBAS)	38
4.1.6.	Sulfat	40
4.2.	Hasil Pengukuran Parameter Fisik	42
4.2.1.	Suhu	42
4.2.2.	<i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)	43
4.2.3.	<i>Total Suspended Solids</i> (TSS).....	45
4.2.4.	Identifikasi Mikroorganisme.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1.	Kesimpulan	49
5.2.	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN.....		57

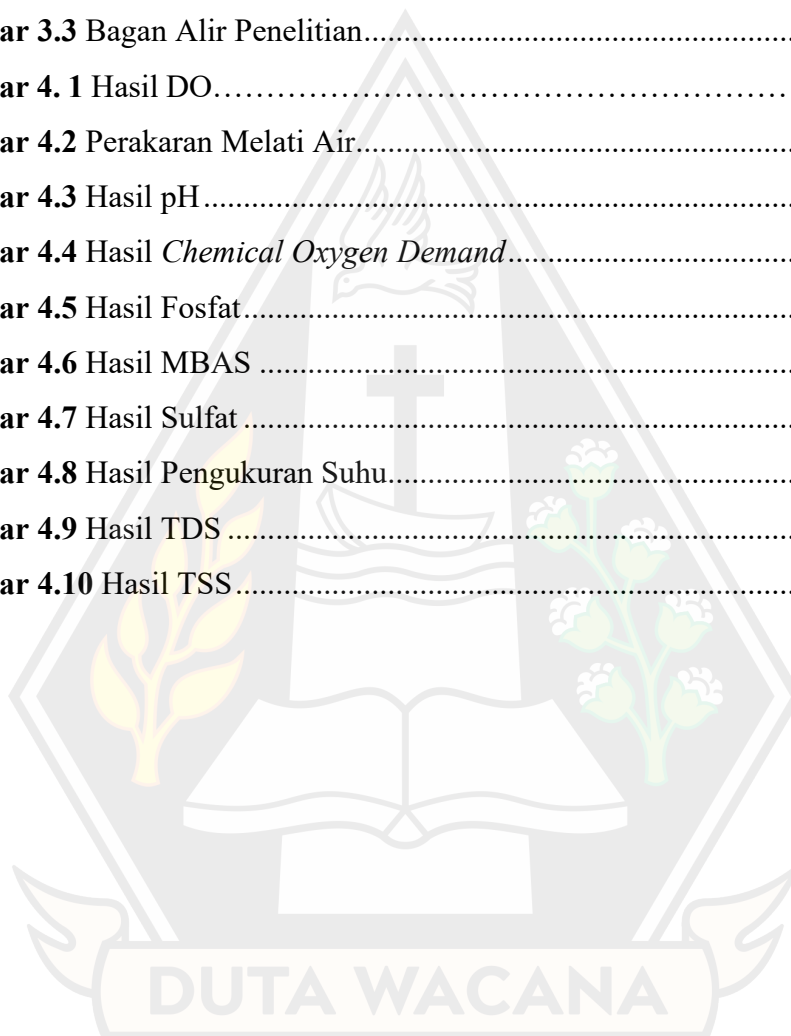
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah <i>Laundry</i> PERDA DIY No. 7 Tahun 2016.....	5
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Parameter Fisik dan Kimia.....	29
Tabel 4.2 Pertumbuhan Melati Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan	37



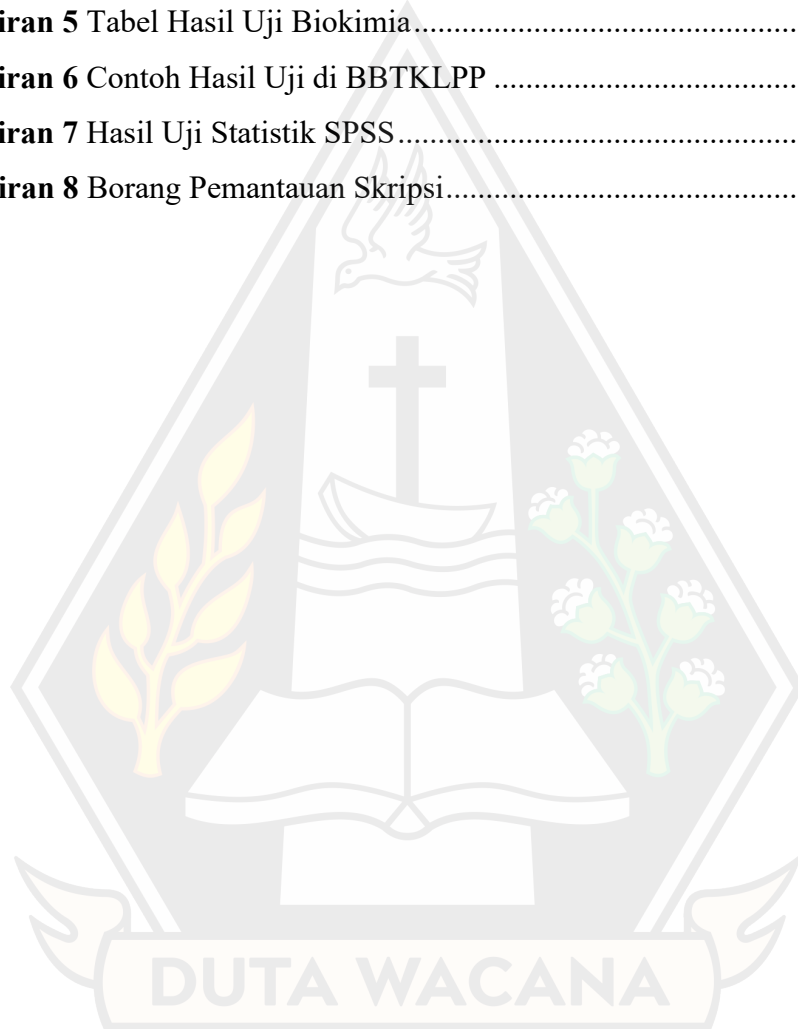
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Echinodorus palaefolius</i>	9
Gambar 2.2 Batu Apung	12
Gambar 3.1 Desain Reaktor Kontrol dan Perlakuan	19
Gambar 3.2 Desain Susunan Reaktor Secara vertikal	19
Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian.....	28
Gambar 4. 1 Hasil DO.....	30
Gambar 4.2 Perakaran Melati Air.....	31
Gambar 4.3 Hasil pH.....	32
Gambar 4.4 Hasil <i>Chemical Oxygen Demand</i>	33
Gambar 4.5 Hasil Fosfat.....	35
Gambar 4.6 Hasil MBAS	38
Gambar 4.7 Hasil Sulfat	40
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Suhu.....	42
Gambar 4.9 Hasil TDS	43
Gambar 4.10 Hasil TSS.....	45



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Persiapan Penelitian.....	57
Lampiran 2 Hasil <i>Outlet</i> dan Pengujian Parameter.....	58
Lampiran 3 Tabulasi Data Parameter Fisik dan Kimia	59
Lampiran 4 Proses Persiapan dan Pengujian Biokimia.....	60
Lampiran 5 Tabel Hasil Uji Biokimia.....	61
Lampiran 6 Contoh Hasil Uji di BBTCLPP	62
Lampiran 7 Hasil Uji Statistik SPSS.....	63
Lampiran 8 Borang Pemantauan Skripsi.....	64



ABSTRAK

Pengolahan Limbah *Laundry* dengan Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan Tambahan Batu Apung serta Identifikasi Mikroorganisme pada Media Adsorben

RUBEN WIDIASMARA KRISNANDITO

Limbah *laundry* merupakan air buangan yang dihasilkan dari proses pencucian pakaian di industri *laundry* maupun pencucian pakaian secara komunal. Limbah tersebut mengandung berbagai senyawa yang berpotensi merusak ekosistem dan mengganggu keseimbangan lingkungan seperti fosfat, surfaktan, dan partikel tidak terlarut. Salah satu sistem pengolahan limbah yang rendah biaya, *low maintenance*, dan tidak memerlukan ruang yang besar adalah *constructed wetland*. Penelitian ini menggunakan reaktor dengan tinggi 30 cm, diameter 17 cm berkapasitas 17 liter sejumlah 6 reaktor untuk tiap pengulangannya. Digunakan tanaman air *Echinodorus palaefolius* yang dikenal sebagai hiperakumulator sekaligus sebagai penyedia oksigen ke dalam sistem melalui proses fotosintesis yang ditransmisikan melalui jaringan aerenkim ke sistem perakaran. Media yang digunakan berupa tanah sawah untuk lapisan paling atas, batu kerikil diameter 0,5-1cm, batu apung diameter 1-1,5 cm, dan batu besar diameter 3 cm untuk lapisan paling bawah dengan rasio tanah ke batu besar 1:3:2:3. Hasil pengujian parameter memberikan persentase efektivitas penurunan parameter COD 47,23%, TSS 93,83, TDS 8,08%, MBAS 63,42%, Sulfat 70,9% dengan pH yang stabil pada rentang 6,5-6,6, dan kenaikan DO sebesar 0,2-0,4 mg/L. Dilakukan uji biokimia dan pengecatan gram dengan sampel media adsorben dan didapatkan 3 kelompok bakteri yang diduga dapat membantu sistem pengolahan secara biologi meliputi *Escherichia*, *Providencia*, dan *Beggiatoa*.

Kata kunci: Batu apung, *Constructed Wetland*, *Echinodorus palaefolius*, Limbah *laundry*.

ABSTRACT

Laundry Wastewater Treatment Utilizing a Constructed Wetland System Incorporating Echinodorus palaefolius and Supplementary Pumice Stones Along with Microorganism Identification on the Adsorbent Media

RUBEN WIDIASMARA KRISNANDITO

Laundry wastewater is wastewater generated from the process of washing clothes in the laundry industry or washing clothes communally. The wastewater contains various compounds that have the potential to damage the ecosystem and disturb the environmental balance such as phosphates, surfactants, and undissolved particles. One of the wastewater treatment systems that is low cost, low maintenance, and does not require large space is constructed wetland. This study used a reactor with a height of 30cm, a diameter of 17 cm with a capacity of 17 liters, and 6 replications in each treatment. The aquatic plant *Echinodorus palaefolius* is used because it is well known as a hyperaccumulator as well as a provider of oxygen into the system through the process of photosynthesis transmitted through the aerenchymal tissue to the root system. The media used are paddy field soil for the top layer, gravel stone diameter (0.5-1cm), pumice stone diameter (1-1.5 cm), and large stone diameter (3 cm) for the bottom layer with the ratio of soil to large stone 1:3:2:3. The results shows that the removal efficiency of COD, TSS, TDS, MBAS, and fosfate is 47,23%, 93,83%, 8,08%, 63,42%, and 70,9%, respectively with pH in the range of 6.5-6.6, and an increase of DO 0.2-0.4 mg/L. Biochemical tests and gram painting were carried out with adsorbent media samples and obtained 3 groups of bacteria that were thought to help the biological treatment system including *Escherichia*, *Providencia*, and *Beggiatoa*.

Keywords: Constructed Wetland, *Echinodorus palaefolius*, laundry wastewater, Pumice

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan kegiatan mencuci pakaian baik dari masyarakat ataupun industri *laundry* di Kota Yogyakarta, terutama disebabkan oleh meningkatnya aktivitas pariwisata, urbanisasi, gaya hidup secara tidak langsung berpengaruh terhadap peningkatan frekuensi pencucian pakaian yang menghasilkan limbah cair. Limbah *laundry* merupakan air buangan yang dihasilkan dari proses pencucian pakaian di industri *laundry*. Limbah ini mengandung berbagai zat kimia (dan organik) yang berpotensi merusak ekosistem jika tidak dikelola dengan baik. Beberapa kandungan utama dalam limbah *laundry* meliputi deterjen, *surface active agent* (surfaktan), zat organik, partikel padatan, dan bahan kimia lain (Jabbar *et al.*, 2024). Dampak dari limbah *laundry* terhadap lingkungan perairan sangat signifikan, pembuangan limbah secara langsung ke badan air tanpa pengolahan dapat menyebabkan pencemaran air, merusak habitat akuatik, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan mengancam kesehatan masyarakat. Pengelolaan limbah *laundry* di Yogyakarta terkendala berbagai faktor yang diantaranya adalah kendala biaya dalam penerapan teknologi limbah. Sebagai contoh, penelitian di Sleman mengidentifikasi bahwa banyak usaha *laundry* yang tidak memiliki instalasi pengolahan limbah, sehingga langsung masuk ke lingkungan tanpa pengolahan sebelumnya (Aminatun *et al.*, 2016). Terbatasnya lahan yang dibutuhkan untuk instalasi sistem pengolahan limbah juga menjadi suatu alasan mengapa limbah *laundry* langsung dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah *laundry* yang efektif, tidak membutuhkan biaya tinggi dan ruang yang besar diperlukan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Salah satu metode pengolahan yang dapat digunakan antara lain *constructed wetland*.

Constructed wetland merupakan sistem pengolahan limbah secara biologi yang memanfaatkan komponen alami seperti tanaman, tanah, batu, dan kerikil yang berinteraksi pada satu sistem dan dengan bantuan mikroorganisme dapat mengurangi polutan pada air limbah. Kelebihan dari sistem tersebut adalah biaya

pembuatannya yang terjangkau, perawatan yang relatif mudah serta keberlanjutan yang ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan dengan sistem *constructed wetland* menggunakan *Echinodorus palaefolius* dan batu apung sebagai media adsorben dalam mengolah limbah hasil aktivitas *laundry* (Muduli *et al.*, 2024). Batu apung merupakan jenis batuan vulkanik yang terbentuk dari lava yang cepat mendingin dan mengandung banyak gelembung gas, sehingga memiliki struktur berpori dan ringan. Batu apung merupakan hasil dari aktivitas vulkanik dan terutama terdiri dari silikat. Batu apung memiliki kemampuan adsorpsi yang baik karena strukturnya yang berpori sehingga menjadikannya sebagai alternatif adsorben yang efektif dan biaya rendah dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam penyisihan logam berat dari air (Indah *et al.*, 2024). Selain itu, juga dilakukan identifikasi mikroorganisme pada reaktor pengolahan limbah melalui berbagai uji biokimia.

1.2. Rumusan Masalah

- 1.2.1 Apakah sistem *constructed wetland* dengan kombinasi melati air dan batu apung dapat memenuhi standar baku mutu limbah cair *laundry* sesuai dengan peraturan yang berlaku?
- 1.2.2 Keragaman mikroba apakah yang terdapat pada media adsorben?

1.3. Tujuan Penelitian

- 1.3.1 Mengetahui apakah sistem *constructed wetland* dengan kombinasi melati air dan batu apung dapat memenuhi standar baku mutu limbah cair sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- 1.3.2 Mengetahui keragaman mikroba yang terdapat pada media adsorben.

1.4. Manfaat Penelitian

Sebagai informasi bagi peneliti dan masyarakat akan penggunaan melati air dan batu apung dalam pengolahan limbah *laundry*, serta sebagai dasar acuan atau informasi bagi pengembangan penelitian terkait penggunaan media adsorben dalam pengolahan limbah *laundry*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- 5.1.1 Sistem CW dengan kombinasi melati air dan batu apung sebagai media adsorben telah memenuhi baku mutu pH, TDS, dan Sulfat, serta menunjukkan keunggulan dengan efisiensi penghilangan polutan pada parameter TSS, sulfat, MBAS sebesar 93,83%, 70,9%, dan 63,42%.
- 5.1.2 Terdapat tiga genus bakteri yang diidentifikasi berdasarkan sifat biokimia, dua genus pada reaktor kontrol adalah *Escherichia* sp. dan *Providencia* sp., pada reaktor perlakuan batu apung teridentifikasi genus *Beggiatoa* sp.

5.2. Saran

- 5.2.1 Melakukan *pretreatment* batuan dengan perendaman dan pencucian yang lebih lama dalam jangka waktu minimal satu hari, serta perendaman batu apung dengan larutan asam untuk mengoptimalkan penurunan parameter seperti fosfat dan TDS.
- 5.2.2 Melakukan pengukuran parameter biologis seperti pertumbuhan tanaman meliputi berat basah, panjang akar, dan jumlah daun untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengolah limbah dan membantu mengidentifikasi masalah yang mungkin terjadi dalam sistem.
- 5.2.3 Melakukan identifikasi mikroorganisme potensial hingga ke tingkat molekuler, karena kelemahan uji biokimia hasilnya kurang maksimal dan dapat menyebabkan data yang bias.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, A. A., & Ismayana, A. (2022). *Removal of cyanide from an artificial wastewater in constructed wetland system with Pistia stratiotes and C. zizanioides*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1063(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1063/1/012018>
- Al Kholif, M., Pungut, P., Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Nezarudin, S. I.. (2023). Penerapan Teknologi *Constructed Wetland* (CW) dalam Menurunkan Kadar Cemaran pada Air Limbah Domestik. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2023.010.01.1>
- Aminatun, T., Padmaningrum, R., & Yuliati. (2016). Pemecahan Masalah Limbah *Laundry* di Sleman dengan Program IPTEK Bagi Masyarakat. *INOTEKS: Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni*, 20(1), 29–37. <https://doi.org/10.21831/ino.v20i1.11273>
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah *Laundry*. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44. <https://doi.org/10.33084/mitl.v2i1.132>
- Aregu, M. B. (2018). *Identification of two low-cost and locally available filter media (pumice and scoria) for removal of hazardous pollutants from tannery wastewater*. *Environmental Systems Research*. <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0112-2>
- Aregu, M. B., Asfaw, S. L., & Khan, M. M. (2021). *Developing horizontal subsurface flow constructed wetland using pumice and Chrysopogon zizanioides for tannery wastewater treatment*. *Environmental Systems Research*, 10(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00238-0>
- Bergey, D. H. & Holt, J. G. (2000). *Bergey's manual of determinative bacteriology* (9th. ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Bunce, J. T., Ndam, E., Ofiteru, I. D., Moore, A., & Graham, D. W. (2018). *A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems*. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00008>
- Cappucino, J., & Welsh, C. (2019). *Microbiology, A Laboratory Manual*, 12th Edition. Pearson.
- Chi, R., Wei, Z., Gong, L., Zhang, G., Wen, D., & Li, W. (2024). *The Study of Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency in Urbanized River Systems Using Artificial Wetland Systems with Different Substrates*. *Water*, 16(22), 3309. <https://doi.org/10.3390/w16223309>

- Crini, G., Lacalamita, D., Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., Liu, C., Wilson, L. D., Picos-Corrales, L. A., Akhere, M. A., Sotiropoulou, M., Bradu, C., & Mongioví, C. (2024). *Characterization and treatment of industrial laundry wastewaters: A review. Environmental Chemistry Letters*, 22(5), 2257–2292. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01770-y>
- De Rozari, P., Krisnayanti, D. S., Refli, Yordanis, K. V., & Atie, M. R. R. (2021). *The use of pumice amended with sand media for domestic wastewater treatment in vertical flow constructed wetlands planted with lemongrass (Cymbopogon citratus). Heliyon*, 7(7), e07423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07423>
- Fikri, E., S., Putri, A., Prijanto, T., & Syarief, O. (2020). *Study of Liquid Waste Quality and Potential Pollution Load of Motor Vehicle Wash Business in Bekasi City (Indonesia). Journal of Ecological Engineering*, 21(3), 128–134. <https://doi.org/10.12911/22998993/118288>
- Fitria, F. L., & Dhokhikah, Y. (2021). *Phytoremediation of phosphate using Typha sp. And Echinodorus palaefolius. Journal of Physics: Conference Series*, 1832(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1832/1/012010>
- Fitriani N., & Isworo S,. (2020). *The phytoremediation of Echinodorus palaefolius in reducing BOD and COD of liquid waste—Batik Industry “X” in Pekalongan. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 12(3), 215–222. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.12.3.0303>
- Funada, H., Hattori, K. I., & Kosakai, N. (1978). *Catalase-negative Escherichia coli isolated from blood. Journal of Clinical Microbiology*, 7(5), 474–478. <https://doi.org/10.1128/jcm.7.5.474-478.1978>
- Hill, J., & Walters, H. (2016). *Beggiatoa sp. on anoxic sublittoral mud: Marine Evidence-based Sensitivity Assessment Review. The Marine Life Information Network*. <https://doi.org/10.17031/MARLINHAB.181.1>
- Indah, S., Herald, D., & Herdiani, F. (2024). *Pemanfaatan batu apung sebagai adsorben dalam aplikasi kolom adsorpsi untuk penyisihan logam kromium dari air tanah. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 20(1), 33–40. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol20.No1.2024.1510>
- Jabbar, A., Amalia, A. V., Haris, A., Dewi, N. R., Falasifah, F., & Abdullatif, M. (2024). *Potensi Spirulina platensis sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry. Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1224–1231. <https://doi.org/10.14710/jil.22.5.1224-1231>
- Kamp, A., Stief, P., & Schulz-Vogt, H. N. (2006). *Anaerobic Sulfide Oxidation with Nitrate by a Freshwater Beggiatoa Enrichment Culture. Applied and*

- Kasman, M., Herawati, P., & Aryani, N. (2018). Pemanfaatan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) dengan Sistem *Constructed Wetlands* untuk Pengolahan Grey Water. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.33087/daurling.v1i1.3>
- 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. *Jurnal Litbang Industri*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i1.3832.39-46>
- Kumar, S., & Dutta, V. (2019). *Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: An overview. Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 11662–11673. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04816-9>
- Merrettig-Bruns, U. (2009). *Anaerobic Biodegradation of Detergent Surfactants. Materials* (2) 181-206; doi:10.3390/ma2010181
- Minakshi, D., Sharma, P. K., & Rani, A. (2021). *Effect of filter media and hydraulic retention time on the performance of vertical constructed wetland system treating dairy farm wastewater. Environmental Engineering Research*, 27(1), 200436–0. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.436>
- Moharir, S. R., Patni, P. A., Datar, A. V., & Suryawanshi, T. S. (2020). *Study of Treatment of Laundry Wastewater. 7(9). Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR).ISSN-2349-5162*
- Muduli, M., Swain, B., Choudhary, M., Verma, P., & Ray, S. (2024). *Environmental Contaminants Remediation from Real Domestic Wastewater through a Canna-Based Bioretention Engineered System. Water Conservation Science and Engineering*, 9(2), 43. <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00277-5>
- Myka-Raduj, A., Siwiec, T., Rybczyńska-Tkaczyk, K., Raduj, W., & Józwiakowski, K. (2024). *Efficiency of the Installation to Treatment of Outflow from the Hybrid Constructed Wetland System and Possibility of Reuse of Treated Wastewater in the Household. Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(4), 296–311. <https://doi.org/10.12913/22998624/189619>
- Orosz-Coghlan, P. A., Rusin, P. A., Karpiscak, M. M., & Gerba, C. P. (2006). *Microbial Source Tracking of Escherichia coli in a Constructed Wetland. Water Environment Research*, 78(3), 227–232. <https://doi.org/10.2175/106143005X89995>

- Palilingan, S. C., Pungus, M., & Tumimomor, F. (2019). Penggunaan kombinasi adsorben sebagai media filtrasi dalam menurunkan kadar fosfat dan amonia air limbah laundry. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 48. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i2.59>
- Perdana, M. C., Sutanto, H. B., & Prihatmo, G. (2018). *Vertical Subsurface Flow (VSSF) constructed wetland for domestic wastewater treatment*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 148, 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/148/1/012025>
- Prasakti, L., Melyta, D., Sarto, & Prasetya, A. (2022). *Subsurface flow constructed wetland model for phytoremediation of chromium from tannery wastewater using Echinodorus palaefolius*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1), 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012057>
- Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan kadar BOD dan COD dalam limbah cair laundry menggunakan kombinasi adsorben alam sebagai media filtrasi. *Fullerene Journ. Of Chem Vol.4 No.2*: 54-60, 2019 ISSN 2598-1269
- Pungut, P., Al Kholif, M., & Pratiwi, W. D. I. (2021). Penurunan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Fosfat pada Limbah Laundry dengan Metode Adsorpsi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(2). <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss2.art6>
- Puspitasari, N., & Suwartha, N. (2024). *Efficiency with Constructed Wetlands System Using Water Ferns (Azolla microphylla) to Treat Laundry Wastewater*. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(8), 4680–4691. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i8.17046>
- Qomariyah, S., Sobriyah, S., Koosdaryani, K., & Muttaqien, A. Y. (2017). Lahan Basah Buatan sebagai Pengolah Limbah Cair dan Penyedia Air Non-Konsumsi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 1(1), 25. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v1i1.14712>
- Rani, A., Chauhan, M., Kumar S., P., Kumari, M., Mitra, D., & Joshi, S. (2024). *Microbiological dimensions and functions in constructed wetlands: A review*. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100311. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100311>
- Ratnawati, R., Nurhayati, I., Rohim, I. N., & Andriani, V. (2024). *Phytoremediation of Landfill Lechate Using Chlorophytum comosum, Echinodorus palaefolius, and Hippochaetes lymenalis*. *Journal of Ecological Engineering*, 25(12), 124–135. <https://doi.org/10.12911/22998993/194007>

- Ratnawati, R., & Talarima, A. (2017). Subsurface (SSF) Constructed Wetland untuk Pengolahan Air Limbah Laundry. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 15(2), 1–6. <https://doi.org/10.36456/waktu.v15i2.711>
- Ravikumar, Y., Yun, J., Zhang, G., Zayed, H. M., & Qi, X. (2022). A review on constructed wetlands-based removal of pharmaceutical contaminants derived from non-point source pollution. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102504. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102504>
- Ren, T., Perdana, M. C., Kříženecká, S., Sochacki, A., & Vymazal, J. (2023). Constructed wetlands for the treatment of household organic micropollutants with contrasting degradation behaviour: Partially-saturated systems as a performance all-rounder. *Chemosphere*, 314, 137645. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137645>
- Riyadi, A., & Amrulloh, F. (2021). Efektivitas Penggunaan Reaktor Downflow Lahan Basah Buatan (Constructed Wetlands) Terhadap Penurunan COD, BOD Dan TSS Dalam Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan* 8 (2).
- Ruikar, M. S., Godse, Y. H., & Ghatage, D. A. (2024). Isolation and Characterization of Detergent Degrading Bacteria from Natural Environmental Sources. *Bulletin of Pure and Applied Sciences Zoology (Animal Science)*, 43(1), 162–174.
- Sabur, M. A., Parsons, C. T., Maavara, T., & Van Cappellen, P. (2022). Effects of pH and Dissolved Silicate on Phosphate Mineral-Water Partitioning with Goethite. *ACS Earth and Space Chemistry*, 6(1), 34–43. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.1c00197>
- Schutte, C. A., Teske, A., MacGregor, B. J., Salman-Carvalho, V., Lavik, G., Hach, P., & De Beer, D. (2018). Filamentous Giant Beggiatoaceae from the Guaymas Basin Are Capable of both Denitrification and Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(15), e02860-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.02860-17>
- Sharma, N., Manhas, P. S., Joshi, P. K., & Navneet. (2006). Bioremediation using artificial constructed wetland in combination with efficient microbial cultures. *Environment Conservation Journal*, 7(3), 37–42. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2006.070306>
- Silalahi, M. I., Hartono, H., Manalu, P., Panggabean, V. T., Nababan, W. T., & Ginting, M. (2023). Kombinasi Adsorben Alam Dalam Pengolahan Air Limbah Cucian Pada Bengkel. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(2), 122–127. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.2.122-127>

- Sudarsan, J. S., Roy, R. L., Baskar, G., Deeptha, V. T., & Nithiyanantham, S. (2015). *Domestic wastewater treatment performance using constructed wetland*. *Sustainable Water Resources Management*, 1(2), 89–96. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0008-5>
- Suliestyah, Jamal T., E., Permata S, I., & Wisnu F., M. (2021). *Effectiveness of carbon active processed from coal in treating the acid mine drainage at a laboratory scale*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 882(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/882/1/012066>
- Sutanto, H., & Bawole, P. (2021). *Possibility Study of Implementing Vertical Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment in Urban Kampong*. *Jurnal Teknosains*, 10(2), 179. <https://doi.org/10.22146/teknosains.63801>
- Suwahdendi, M. P. A., & Purnama, I. G. H. (2020). Uji Efektivitas Batu Vulkanik dan Arang sebagai Media Filter Pengolahan Air Limbah Laundry Menggunakan Sistem Pengolahan *Constructed Wetland*. *Archive of Community Health*, 5(1), 67. <https://doi.org/10.24843/ACH.2018.v05.i01.p09>
- Tefa, M., Harisuseno, D., & Haribowo, R. (2018). *Potential use of aquatic plants in constructed wetlands for simultaneous removal of Phosphate and COD from laundry wastewater*. *Civil and Environmental Science*, 001(02), 070–079. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2018.00102.4>
- Thineza A., P., & Mohamad M. (2023). Penurunan TSS, COD, dan Total-Nitrogen pada Air Lindi dengan Metode *Constructed Wetland* Tanaman *Typha angustifolia*. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(4), 745–753. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i4.2309>
- Usman, M. O., Aturagaba, G., Ntale, M., & Nyakairu, G. W. (2022). *A review of adsorption techniques for removal of phosphates from wastewater*. *Water Science and Technology*, 86(12), 3113–3132. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.382>
- Vargas-Luque, A., & Canales-Gutiérrez, A. (2022). *Application of pumice stone in the treatment process of green wastewater from an animal slaughter center*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(10), 9345–9354. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03707-2>
- Vásquez, L. A. H., García, F. P., Lassman, A. A., Gómez, C. R., Torres, E. A., Salinas, G. H., De Jesús, R. R., E., Acevedo Sandoval, O. A., & Rosas, S. R. (2023). *Treatment of laundry wastewater by constructed wetlands with *Eichhornia crassipes**. *Desalination and Water Treatment*, 312, 50–54. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.30009>

- Vymazal, J. (2011). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience*. *environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 61–69
- Wang, Q., Zhou, G., Qin, Y., Wang, R., Li, H., Xu, F., Du, Y., Zhao, C., Zhang, H., & Kong, Q. (2021). *Sulfate removal performance and co-occurrence patterns of microbial community in constructed wetlands treating saline wastewater*. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102266. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102266>
- Warisaura, A. D., Fadlilah, I., Prasetya, A., & Fahrurrozi, M. (2019). Studi Stabilitas Sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSF-CW) Menggunakan Tanaman Melati Air dan Media Tanam Zeolit untuk Menurunkan Logam Hg. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 1(1).
- Watiniasih, N. L., Purnama, I. G. H., Padmanabha, G., Merdana, I. M., & Antara, I. N. G. (2019). *Managing laundry wastewater*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 248, 012084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/248/1/012084>
- Widyaningsih, T. (2023). Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Bahan Koagulan Tawas Menjadi Air Bersih dengan Biaya Rendah. *Jurnal Pendidikan Indonesia: Teori, Penelitian, dan Inovasi*, 3(3). <https://doi.org/10.59818/jpi.v3i3.495>
- Wimbaningrum, R., Arianti, I., & Sulistiyowati, H. (2020). Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia*) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri *Laundry*. *BERKALA SAINSTEK*, 8(1), 25. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.16499>
- Xiao, L., Zhu, B., Nsenga Kumwimba, M., & Jiang, S. (2017). *Plant soaking decomposition as well as nitrogen and phosphorous release in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir*. *Science of The Total Environment*, 592, 527–534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.104>