

SKRIPSI

**PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP PENURUNAN
BAKTERI *Escherichia coli* PADA SISTEM *CONSTRUCTED*
WETLANDS MENGGUNAKAN *Heliconia psittacorum* L.**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Ilmu Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya



OLEH

**SEKAR WIDIASIH
08041181621022**

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP PENURUNAN *Escherichia coli* DALAM SISTEM *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGUNAKAN *Heliconia psittacorum* L.

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Sains pada
Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sriwijaya

OLEH:

SEKAR WIDIASIH

08041181621022

Indralaya, Agustus 2021

Dosen Pembimbing

Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D
NIP. 197503222000032001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan**

Dr. Arum Setiawan, M.Si.
NIP. 197211221998031001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Penurunan Bakteri *Escherichia coli* dalam Sistem *Constructed Wetlands* Menggunakan *Heliconia psittacorum* L.” telah disetujui oleh Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Juli 2021.

Indralaya, Agustus 2021

Tim Penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D.
NIP. 197503222000032001

(..........)

Anggota:

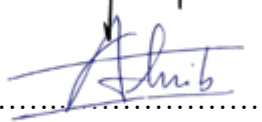
1. Dr.rer.nat. Indra Yustian, M.Si.
NIP. 197307261997021001

(..........)

2. Dr. Moh. Rasyid Ridho, M.Si.
NIP. 196905011995031002

(..........)

3. Dr. Salni, M.Si.
NIP. 196608231993031002

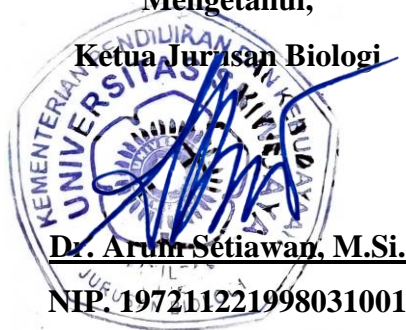
(..........)

4. Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si.
NIP. 197109111999031004

(..........)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi


Dr. Aruh Setiawan, M.Si.
NIP. 197211221998031001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sekar Widiasih

NIM : 08041181621022

Judul : Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Penurunan Bakteri *Escherichia coli* dalam Sistem *Constructed Wetlands* Menggunakan *Heliconia psittacorum* L.

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan atau *plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau *plagiat* dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.



Indralaya, Juli 2021



Sekar Widiasih

NIM. 08041181621022

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sekar Widiasih

NIM : 08041181621022

Judul : Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Penurunan Bakteri *Escherichia coli* dalam Sistem *Constructed Wetlands* Menggunakan *Heliconia psittacorum* L.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.

Indralaya, Juli 2021



Sekar Widiasih

NIM. 08041181621022

RINGKASAN

PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP PENURUNAN BAKTERI *Escherichia coli* PADA SISTEM *CONSTRUCTED WETLANDS* MENGGUNAKAN *Heliconia psittacorum* L.

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, Juli 2021

Sekar Widiasih; Dibimbing oleh Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D.

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

Air tawar yang dapat digunakan untuk berbagai aktivitas makhluk hidup hanya tersedia 0,5% dari total pasokan air di seluruh dunia. Permintaan air bersih diperparah dengan pertambahan penduduk yang menyebabkan meningkatnya produksi air limbah domestik. Pembuangan air limbah melalui pengelolaan yang buruk dapat menyebabkan berbagai isu kesehatan, salah satunya dari bakteri *Escherichia coli* yang dapat menyebabkan penyakit menular seperti diare dan hepatitis. *Constructed Wetlands* (CW) merupakan lahan basah buatan yang memanfaatkan proses dalam lahan basah alami untuk menurunkan polutan dalam air. *Natural die-off* atau mati alami mikroba dalam CW dipengaruhi oleh lama air limbah berada dalam sistem CW, atau disebut dengan waktu retensi. Waktu retensi yang terlalu singkat, dapat menyebabkan mikroba mengalami *wash out*, sedangkan waktu retensi yang terlalu lama menyebabkan rendahnya produktivitas CW dalam mengurangi polutan. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui waktu retensi yang efisien dalam mengurangi *E. coli*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase penurunan jumlah *E. coli* dalam sistem CW menggunakan *Heliconia psittacorum*. Sampel air limbah domestik sintetik yang akan dialirkan pada sistem CW dan dianalisa di laboratorium untuk dilakukan uji *coliform* (uji *Most Probable Number* atau MPN), uji *coliform* fekal (uji Eijkman), dan uji *Escherichia coli* (Indol, *Methyl Red*, Voges-Proskauer, dan *Citrate* atau uji IMViC) sehingga didapatkan data untuk menghitung penurunan *E. coli*.

Hasil dari penelitian ini didapatkan rata-rata persentase efisiensi penurunan jumlah *E. coli* menggunakan CW selama 20 jam, 40 jam, dan 100 jam berturut-turut sebesar 67,57%; 74,65%; 97,90%. Sedangkan CW yang tidak menggunakan tanaman memiliki efisiensi 56,60%. Sehingga ditemukan bahwa CW dengan efisiensi paling tinggi dalam penelitian adalah CW dengan waktu retensi selama 100 jam.

Kata kunci: *constructed wetlands*, *Escherichia coli*, *Heliconia psittacorum*, HRT

SUMMARY

EFFECT OF RETENTION TIME ON THE REMOVAL OF *Escherichia coli* BACTERIA IN CONSTRUCTED WETLANDS SYSTEM USING *Heliconia psittacorum* L.

Scientific Paper in Form of Skripsi, July 2021

Sekar Widiasih; Supervised by Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D.

Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

Fresh water that can be used for various living activities is only available 0.5% of the total water supply worldwide. The demand for clean water is exacerbated by population growth which causes an increase in domestic wastewater production. Wastewater disposal through poor management can cause various health issues, one of which is *Escherichia coli* bacteria which can cause infectious diseases such as diarrhea and hepatitis. Constructed Wetlands (CW) are artificial wetlands that utilize processes in natural wetlands to reduce pollutants in water. Natural die-off or natural death of microbes in the CW is influenced by the length of time the wastewater is in the CW system, which is known as retention time. Retention time that is too short can cause microbes to wash out, while retention time that is too long causes low CW productivity in reducing pollutants. So it is necessary to do research to determine the efficient retention time in reducing *E. coli*.

This study aims to determine the percentage decrease in the number of *E. coli* in the CW system using *Heliconia psittacorum*. Samples of synthetic domestic wastewater to be flowed into the CW system analyzed in the laboratory for coliform test (Most Probable Number or MPN test), faecal coliform test (Eijkman test), and *Escherichia coli* test (Indole, Methyl Red, Voges-Proskauer, and Citrate test or IMViC test) to obtain data to calculate the decrease of *E. coli*.

The results of this study showed that the average percentage of efficiency in reducing the number of *E. coli* using CW for 20 hours, 40 hours, and 100 hours, respectively, was 67.57%; 74.65%; 97.90%. Meanwhile, CW that does not use plants has an efficiency of 56.60%. So it was found that the CW with the highest efficiency in the study was the CW with a retention time of 100 hours.

Keywords: *constructed wetlands*, *Escherichia coli*, *Heliconia psittacorum*, HRT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Penurunan Bakteri *Escherichia coli* pada Sistem *Constructed Wetlands* Menggunakan *Heliconia psittacorum L.*” dapat selesai. Skripsi ini adalah syarat memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Sriwijaya. Skripsi ini dapat selesai karena bantuan, bimbingan, semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, terima kasih penulis sampaikan kepada orang tua, kakak, dan adik yang telah memberi doa, motivasi, dan dukungan materil selama perkuliahan. Penulis ucapkan terima kasih kepada Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang memberikan bimbingan, dukungan, dan saran penuh ikhlas dan kesabaran. Penulis juga ucapkan terima kasih kepada:**

- Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, M.S.C.E. selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
- Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
- Dr. Arum Setiawan, M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Sriwijaya
- Dr. Sarno, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Sriwijaya
- Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik
- Dr.rer.nat. Indra Yustian, M.Si., Dr. Moh. Rasyid Ridho, Ph.D., Dr. Salni, M.Si., dan Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembahas
- Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Biologi
- Seluruh staf administrasi dan karyawan Jurusan Biologi
- Seluruh rekan angkatan 2016 Jurusan Biologi
- Seluruh rekan alumni Jurusan Biologi yang telah membantu penulis
- Seluruh pihak yang tak dapat penulis sebutkan yang telah membantu penulis.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan semoga skripsi ini bermanfaat untuk berbagai pihak.

Indralaya, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lahan Basah (<i>Wetlands</i>)	5
2.2. Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetlands</i>)	5
2.2.1 Definisi Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetlands</i>)	5
2.2.2 Komponen <i>Constructed Wetlands</i>	6
2.2.3 Prinsip Dasar <i>Constructed Wetlands</i>	7
2.2.4 Jenis-Jenis <i>Constructed Wetlands</i>	8
2.2.5 Manfaat <i>Constructed Wetlands</i>	10
2.3. Waktu Retensi.....	13
2.3.1 Definisi Waktu Retensi dalam <i>Constructed Wetlands</i>	13
2.3.2 Penentuan Waktu Retensi dalam <i>Constructed Wetlands</i>	13
2.4. Air Limbah Domestik	14
2.4.1 Definisi Air Limbah Domestik	14
2.4.2 Karakteristik Air Limbah Domestik	14
2.4.3 Pengolahan Air Limbah Domestik.....	15
2.5. <i>Escherichia coli</i>	16

2.5.1 <i>Coliform</i>	16
2.5.2 Dampak Pencemaran <i>Escherichia coli</i>	16
2.5.3 Penyisihan <i>Escherichia coli</i> Menggunakan <i>Constructed Wetlands</i>	17
2.6. <i>Heliconia psittacorum</i> L.	17
2.6.1 Klasifikasi dan Deskripsi	17
2.6.2 Pemanfaatan <i>Heliconia psittacorum</i>	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Metode Penelitian	19
3.4 Cara Kerja	20
3.3.1 Persiapan Tumbuhan Uji.....	20
3.3.2 Peremajaan Bakteri <i>Escherichia coli</i>	20
3.3.3 Pembuatan Air Limbah Domestik Sintetik.....	20
3.3.4 Pembuatan Sistem <i>Constructed Wetlands</i>	21
3.3.5 Cara Kerja Sistem <i>Constructed Wetlands</i>	22
3.3.6 Uji Enumerasi <i>Escherichia coli</i> (Metode MPN).....	22
3.3.7 Uji IMViC	23
3.3.8 Menghitung Persentase Efisiensi	24
3.3.9 Variabel Pengamatan	24
3.3.10 Penyajian Data	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Uji <i>Escherichia coli</i>	25
4.1.1 Uji Pendugaan <i>Coliform</i>	25
4.1.2 Uji Penegasan <i>Coliform</i>	25
4.1.3 Uji Pendugaan <i>Escherichia coli</i>	26
4.1.4 Uji Penegasan <i>Escherichia coli</i>	26
4.1.5 Uji IMViC	28
4.2 Persentase Efisiensi Penurunan <i>Escherichia coli</i>	30
4.3 Parameter Fisika dan Kimia.....	32
4.4 Pengaruh Komponen CW dalam Penurunan <i>Escherichia coli</i>	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP PENULIS	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Baku mutu air limbah domestik tersendiri	15
Tabel 2	Hasil uji IMViC <i>Escherichia coli</i>	24
Tabel 3	Jumlah <i>Escherichia coli</i> hasil uji MPN air limbah domestik sintetik.....	27
Tabel 4	Hasil uji IMViC.....	28
Tabel 5	Hasil persentase efisiensi penurunan <i>Escherichia coli</i>	30
Tabel 6	Parameter fisika dan kimia.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Interaksi pada <i>Constructed Wetlands</i>	6
Gambar 2	<i>Surface Flow Constructed Wetlands</i>	7
Gambar 3	<i>Subsurface Flow Constructed Wetlands</i>	8
Gambar 4	<i>Horizontal Flow Constructed Wetlands</i>	9
Gambar 5	<i>Vertical Flow Constructed Wetlands</i>	9
Gambar 6	Skema representatif penyisihan patogen pada CW	11
Gambar 7	<i>Heliconia psittacorum</i> L.	17
Gambar 8	Rangkaian sistem <i>Constructed Wetland</i>	21
Gambar 9	Hasil Uji Pendugaan <i>Coliform</i> (A) Positif (B) Negatif	25
Gambar 10	Hasil Uji Penegasan <i>Coliform</i> (A) Positif (B) Negatif.....	26
Gambar 11	Hasil Uji Pendugaan <i>Escherichia coli</i> (A) Positif (B) Negatif.....	36
Gambar 12	Hasil Uji Penegasan <i>Escherichia coli</i> (Positif)	28
Gambar 13	Hasil Uji Indol (Positif), Uji <i>Methyl Red</i> (Positif), Uji Voges-Proskauer (Negatif), dan Uji Sitrat (Negatif)	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Komposisi Media Uji Mikrobiologis.....	49
Lampiran 2	Tabel MPN Seri Lima Tabung	51
Lampiran 3	Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 16 Tahun 2005 Tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai	52
Lampiran 4	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Limbah Domestik.....	54
Lampiran 5	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah.....	56
Lampiran 6	Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang	58
Lampiran 7	Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air	60
Lampiran 8	Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	62
Lampiran 9	Nilai Efisiensi Penurunan Jumlah <i>Escherichia coli</i> pada <i>Constructed Wetlands</i>	64
Lampiran 10	Hasil Uji <i>Coliform</i> dan <i>Escherichia coli</i>	65
Lampiran 11	Hasil Inokulasi di Medium EMBA.....	70
Lampiran 12	Hasil Uji IMViC	70
Lampiran 13	Sistem <i>Constructed Wetlands</i>	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air tawar yang digunakan untuk berbagai aktivitas makhluk hidup hanya tersedia 3% dari total pasokan air di seluruh dunia. Terdapat 40 juta mil³ air tawar yang berada di permukaan dan di dalam tanah, namun hanya 0,5% (sekitar 0,2 juta mil³) yang secara langsung dapat digunakan untuk kepentingan manusia (Nadayil *et al.*, 2015).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang menyatakan kebutuhan air rata-rata 60 L/orang/hari. Kebutuhan air bersih meningkat seiring bertambahnya penduduk. Menurut Badan Pusat Statistik dalam Program Penduduk Indonesia Tahun 2015-2045, populasi penduduk Indonesia terus meningkat hingga 319 juta jiwa. Laju pertumbuhan penduduk di Kota Palembang pada tahun 2018 bertambah 1,42% (Badan Pusat Statistik Kota Palembang, 2019).

Sumber daya air menghadapi masalah kualitas dan kuantitas air yang tidak memenuhi kebutuhan. Kegiatan industri dan domestik menghasilkan limbah yang seringkali tidak diolah dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah dapat mengalir melalui rongga tanah dan mencapai sumber air dalam tanah (Ghawi, 2018). Air yang tercemar dapat menyebabkan berbagai penyakit; hepatitis A, poliomyelitis, kolera, typhus abdominalis, disentri, ascariasis, trachoma, scabies, dan diare (Trisna, 2018; Fakhr *et al.*, 2016).

Berbagai penelitian di sungai-sungai di Palembang didapatkan *E. coli* resistensi antibiotik, hasil analisis *coliform* sebesar $8,0 \times 10^4$ MPN/100 mL sampai dengan $2,4 \times 10^5$ MPN/100 mL, begitu pun nilai COD, BOD, NH₃-N, dan fosfat yang melampaui baku mutu air sungai pada Standar Baku Mutu Air Sungai dalam Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 16 Tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai, yakni $1,0 \times 10^4$ MPN/100 mL (Tarigan, 2019; Kospa dan Rahmadi, 2019; Verawaty *et al.*, 2020).

Bakteri *coliform* fekal pada badan air berasal dari cemaran kotoran manusia dan hewan. Bakteri *coliform* fekal yang paling umum dijumpai adalah

Escherichia coli, yang telah diketahui menjadi penyebab diare. Tidak hanya diaregenik, beberapa strain *E. coli* bersifat enterotoksigenik, enteropatogenik, enterohemoragik, enteroagregatif, dan penghasil toksin Shiga (Fakhr *et al.*, 2016).

Penyakit-penyakit tersebut dapat dicegah jika air limbah diolah dengan baik sebelum dibuang. Peraturan Menteri No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Keputusan Menteri No. 112 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik mengatur standar *effluent* untuk limbah cair dan air limbah domestik. Parameter efluen air limbah domestik berdasarkan peraturan tersebut pH 6-9, BOD 100 mg/L, TSS 100 mg/L, minyak dan lemak 10 mg/L. Pengolahan air limbah salah satunya menggunakan sistem *constructed wetlands* (CW).

Constructed wetlands merupakan solusi berbasis alam yang memanfaatkan proses alami untuk menanggulangi permasalahan lingkungan (Thorslund *et al.*, 2017). Sistem lahan basah, alami maupun buatan, merupakan sistem hemat biaya untuk pengendalian pencemaran, pengelolaan air hujan, dan perlindungan zona pantai, dibandingkan dengan infrastruktur buatan. Lahan basah juga menyediakan berbagai fungsi ekologis (Nagabhatla dan Metcalfe, 2018).

Sistem CW dapat mengurangi patogen dalam pengolahan air limbah. Salah satu mekanisme yang dapat terjadi untuk penyisihan patogen adalah *natural die-off*. *Natural die-off* atau mati alami dari mikroba dalam CW adalah hasil dari banyak proses inaktivasi dan dipengaruhi oleh faktor seperti predasi, kurangnya nutrisi, dan paparan terhadap stresor fisik atau kimia (Wu *et al.*, 2016). Boutilier *et al.* (2009) menyatakan bahwa *natural die-off* menjadi kontributor paling signifikan terhadap penghapusan keseluruhan bakteri indikator dalam air limbah pengolahan susu dan air limbah *septic tank*.

Waktu retensi atau lama limbah berada dalam sistem CW berperan penting dalam proses *natural die-off*. Waktu retensi singkat efektif mengurangi muatan padatan dari limbah cair. Molle *et al.* (2006) menyatakan bahwa pengurangan COD lebih baik dalam waktu retensi lebih pendek. Namun, waktu retensi yang terlalu singkat dapat menyebabkan kelebihan beban hidraulik, yang menyebabkan mikroba mengalami *wash out*. Sedangkan waktu retensi yang terlalu tinggi menyebabkan rendahnya produktivitas penyisihan polutan (Drosg, 2013).

Waktu retensi yang semakin lama dapat meningkatkan efisiensi penyisihan beberapa polutan akibat meningkatnya waktu kontak air limbah dengan sistem CW. Penelitian Mburu *et al.* (2019) menunjukkan penyisihan TSS dan BOD yang lebih baik dalam waktu retensi yang lebih lama. Namun beban polutan di lingkungan dan kebutuhan air bersih yang semakin meningkat menyebabkan perlunya mencari waktu retensi yang efisien dalam penurunan bakteri *coliform*.

Heliconia dalam sistem CW terbukti mampu membantu mengurangi polutan. *Heliconia* mampu mengurangi amoniak 59%, COD 63%, dan BOD 67%, serta mengurangi cemaran logam Cd, Hg, Cr, dan Pb dengan efisiensi 84% (Madera-Parra *et al.*, 2014). Selain efektif mengurangi polutan, *Heliconia* dimanfaatkan sebagai tanaman hias lanskap. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk menemukan waktu retensi sistem CW yang efisien mengurangi *E. coli* pada air limbah menggunakan *Heliconia psittacorum*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah, yaitu berapa persentase penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* dalam air limbah domestik sintetik pada sistem *constructed wetlands* menggunakan *Heliconia psittacorum* dalam berbagai waktu retensi?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar persentase penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* dalam air limbah domestik pada sistem *constructed wetlands* menggunakan *Heliconia psittacorum* dalam berbagai waktu retensi.

1.4. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi tepat guna untuk mengurangi pencemaran bakteri *Escherichia coli* pada air limbah domestik, memperbaiki sanitasi lingkungan dan mengurangi laju penurunan kualitas air untuk lingkungan masyarakat yang sehat khususnya di Kota Palembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, H., M. Izzati, dan Sudarno. 2014. Kemampuan tumbuhan *Typha angustifolia* dalam sistem subsurface flow constructed wetland untuk pengolahan limbah cair industri kerupuk (studi kasus limbah cair sentra industri kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat). *BIOMA*. 16(1): 90-101.
- Aditi, F. Y., S. S. Rahman, dan M. M. Hossain. 2017. A study on the microbiological status of mineral drinking water. *The Open Microbiology Journal*. 11: 31-44.
- Adrianto, A., R. Aziza, dan I. A. S. Mutiara. 2020. Pemanfaatan molasses pada rancangan teknologi constructed wetland-microbial fuel cell (CW-MFC) dalam pereduksi bakteri patogen dan aplikasi biosensor limbah greywater sebagai sumber pengaplikasian *flushing water*. *Jurnal Ilmiah Penalaran dan Penelitian Mahasiswa*. 4(1): 30-53.
- Aji, A. S., dan N. N. N. Marleni. 2017. *Studi Karakteristik dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik di Kabupaten Magelang*. UNIMMA Press: Magelang.
- Alang, H. 2015. Deteksi *Coliform* Air PDAM di Beberapa Kecamatan Kota Makassar. *Prosiding Seminar Nasional Mikrobiologi Kesehatan dan Lingkungan*. 16-20.
- Alufasi, R., J. Gere, E. Chakauya, P. Lebea, W. Parawira, dan W. Chingwaru. 2017. Mechanisms of pathogen removal by macrophytes in constructed wetlands. *Environmental Technology Reviews*. 6(1): 135-144.
- Amoah, I. D., P. Reddy, R. Seidu, dan T. A. Stenström. 2018. Removal of helminth eggs by centralized and decentralized wastewater treatment plants in South Africa and Lesotho: health implications for direct and indirect exposure to the effluents. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 12883-12895.
- Ananthanarayan, R. dan C. K. J. Paniker. 2005. *Textbook of Microbiology*. Orient Longman Private Limited: Chennai.
- Ansa, E. D. O., H. J. Lubberding, J. A. Ampofo, dan H. J. Gijzen. 2011. The role of algae in the removal of *Escherichia coli* in a tropical eutrophic lake. *Ecological Engineering*. 37: 317-324.
- APHA. 1992. *Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group*. American Public Health Association: Washington DC.

- APHA. 1995. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association: Washington DC.
- Atlas, R.M. 2004. *Handbook of Microbiological Media 3rd Edition*. United States of America: CRC Press.
- Auvinen, H.; Gebhardt, W.; Linnemann, V.; Laing, G.D.; Rousseau, D.P.L. 2017. Laboratory and full-scale studies on the removal of pharmaceuticals in an aerated constructed wetland: Effects of aeration and hydraulic retention time on the removal efficiency and assessment of the aquatic risk. *Water Sci. Technol.* 76: 1457-1465.
- Ávila, C., A. Pedescoll, V. Matamoros, J.M. Bayona, J. García. 2010. Capacity of a horizontal subsurface flow constructed wetland system for the removal of emerging pollutants: an injection experiment. *Chemosphere*. 81: 1137-1142.
- Badan Pusat Statistik Kota Palembang. 2019. *Indikator Kesejahteraan Rakyat Kota Palembang 2019*. Badan Pusat Statistik: Palembang.
- Borkar, R. P., dan P. S. Mahatme. 2011. Wastewater Treatment with Vertical Flow Constructed Wetland. *International Journal of Environmental Sciences*. 2(2): 602-615.
- Boutilier, L., Jamieson, R., Gordon, R., Lake, C., Hart, W., 2009. Adsorption, sedimentation, and inactivation of E. coli within wastewater treatment wetlands. *Water Res.* 43(17): 4370-4380.
- Calheiros, C. S. C., V. Ferreira, R. Magalhães, P. Teixeira, dan P. M. L. Castro. 2017. Presence of microbial pathogens and genetic diversity of *Listeria monocytogenes* in a constructed wetland system. *Ecological Engineering*. 102: 344-351.
- Cano, V. D., V. Vich, D. P. L. Rosseau, P. N. L. Lens, dan M. A. Nolasco. 2019. Influence of recirculation over COD and N-NH₄ removals from landfill leachate by horizontal flow constructed treatment wetland. *International Journal of Phytoremediation*. 1-7.
- Chandra, B. 2009. *Ilmu Kedokteran Pencegahan & Komunitas*. EGC: Jakarta.
- Chandrasena, G. I., M. Shirdashtzadeh, Y. L. Li, A. Deletic, J. M. Hathaway, D. T. McCarthy. 2017. Retention and survival of E. coli in stormwater biofilters: Role of vegetation, rhizosphere microorganisms and antimicrobial filter media. *Ecological Engineering*. 102: 166-177.

- Chen, Z. J., Y. H. Tan, Y. Zhang, B. R. Song, H. C. Li, dan Z. H. Chen. 2016. Effects of root organic exudates on rhizosphere microbes and nutrient removal in the constructed wetlands. *Ecological Engineering*. 92: 243-250.
- Choi, Y. J., Kim, L. H., Zoh, K. D. 2016. Removal characteristics and mechanism of antibiotics using constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 91: 85-92.
- Curtis, T.P., Mara, D.D., Silva, S.A., 1992. Influence of pH, oxygen and humic substances on ability of sunlight to damage faecal coliforms in waste stabilization pond water. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 1335-1343.
- Dan A, Yang Y, Dai YN, Chen CX, Wang SY, Tao R. Removal and factors influencing removal of sulfonamides and trimethoprim from domestic sewage in constructed wetlands. *Bioresour. Technol.* 2013;146:363-370.
- Davis, L. 1995. *A Handbook of Constructed Wetlands Volume 1*. U.S. Government Printing Office: Pennsylvania, Amerika Serikat.
- De Amorim, F., J. R. M. E Silva, R. Fia, L. F. C. De Oliveira, C. M. M. Campos. 2019. Coliform removal in a constructed wetland system used in post-swine effluent treatment. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 14(5): 1-13.
- De Hoff, P., Brill L, Hirsch A. 2009. Plant lectins: the ties that bind in root symbiosis and plant defense. *Mol Genet Genomics*. 282: 1-15.
- De Kock, M. 2015. *Anaerobic Bioconversion of Liquid and Solid Wastes from the Winemaking Process*. Stellenbosch University, Stellenbosch.
- de la Pena C, Lei Z, Watson BS, Sumner LW, Vivanco JM . 2008. Root-microbe communication through protein secretion. *J Biol Chem*. 283: 25247-25255.
- De Sanctis, M., G. Del Moro, S. Chimienti, P. Ritelli, C. Levantesi, dan C. Di Iaconi. 2017. Removal of pollutants and pathogens by a simplified treatment scheme for municipal wastewater reuse in agriculture. *Science of the Total Environment*. 580: 17-25.
- Decezaro, S. T., D. B. Wolff, R. K. Araújo, H. B. Faccenda, T. Perondi, dan P. H. Sezerino. 2018. Vertical flow constructed wetland planted with *Heliconia psittacorum* used as decentralized post-treatment of anaerobic effluent in Southern Brazil. *Journal of Environmental Science and Health*. Part A: 1-8.
- Díaz, F. J., O'geen, A. T., Dahlgren, R. A. 2010. Efficacy of constructed wetlands for removal of bacterial contamination from agricultural return flows. *Agricultural Water Management*. 97(11): 1813-1821.

- Dordio AV, dan Carvalho AJ. 2013. Organic xenobiotics removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of the support matrix. *J. Hazard. Mater.* 252:272-292.
- Drosg, B. 2013. *Process Monitoring in Biogas Plants*. IEA Bioenergy. Diakses pada 5 Juni 2021. https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_bioenergy_task37_brochure_biogas_process_monitoring.pdf.
- Ellis, J. B., R. B. E. Shutes, dan D. M. Revitt. 2003. *Guidance Manual for Constructed Wetlands*. Environment Agency: Bristol, Inggris.
- EPA. 2010. *Method 1680: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by MultipleTube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium*. U.S. Environmental Protection Agency: Washington, Amerika Serikat.
- Fakhr, A. E., M. K. Gohar, A. H. Atta. 2016. Impact of Some Ecological Factors on Fecal Contamination of Drinking Water by Diarrheogenic Antibiotic-Resistant *Escherichia coli* in Zagazig City, Egypt. *International Journal of Microbiology*. 1-9.
- Fildzah, A., R. Suryani, A. Dian, G. Fitriana, A. C. Nisa, dan G. Samudro. 2016. Pengolahan Limbah Domestik Kawasan Pesisir Dengan *Subsurface Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman *Jatropha curcas L.* *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 8(2): 80-88.
- Freedman, A., Gross, A., Shelef, O., Rachmilevitch, S., Arnon, S., 2014. Salt uptake and evapotranspiration under arid conditions in horizontal subsurface flow constructed wetland planted with halophytes. *Ecol. Eng.* 70: 282-286.
- Fu, G., L. Huangshen, Z. Guo, Q. Zhou, dan Z. Wu. 2016. Effect of plant-based carbon sources on denitrifying microorganisms in a vertical flow constructed wetland. *Bioresource Technology*. 1-8.
- Ghawi, A. H. 2018. Study on the development of household wastewater treatment unit. *Journal of Ecological Engineering*. 19(2): 63-71.
- Granato, P. A., V. Morton, dan J. A. Morello. 2019. *Laboratory Manual and Workbook in Microbiology: Applications to Patient Care*. McGraw-Hill Education: New York, Amerika Serikat.
- Gorgoglione, A. and V. Torretta. 2018. Sustainable Management and Successful Application of Constructed Wetlands: A Critical Review. *Sustainability*. 10(3910): 1-19.

- Halim, F., S. M. Warouw, N. H. Rampengan, dan P. Salendu. 2017. Hubungan Jumlah Koloni *Escherichia coli* dengan Derajat Dehidrasi pada Diare Akut. *Sari Pediatri*. 19(2): 81-85.
- Hammer, D. A. 1989. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers: Tennessee, Amerika Serikat.
- Hamzah, W. K. dan M. Y. Khan. 2017. Chemical Analysis of Different Water Samples and Isolation and Characterization of Bacteria. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 7(3): 29-41.
- Headley, T., J. Nivala, K. Kassa, L. Olsson, S. Wallace, H. Brix, M. van Afferden, dan R. Miller. 2013. Escherichia coli removal and internal dynamics in subsurface flow ecotechnologies: Effects of design and plants. *Ecological Engineering*. 2675: 1-11.
- Hendrawan, D. I., S. Widanarko, S. S. Moersidik, dan R. W. Triweko. 2013. The Performance Of Subsurface Constructed Wetland For Domestic Wastewater Treatment. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2(6): 74-82.
- Hijosa-Valsero, M.; Matamoros, V.; Sidrach-Cardona, R.; Martin-Villacorta, J.; Becares, E.; Bayona, J.M. 2010. Comprehensive assessment of the design configuration of constructed wetlands for the removal of pharmaceuticals and personal care products from urban wastewaters. *Water Res*. 44: 3669-3678.
- Isnaeni, D. dan Rahmawati. 2016. Isolasi dan Karakterisasi Mikrosimbion dari Spons *Callyspongia vaginalis* dan Uji Daya Hambat Terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella thypi*. *Jurnal Farmasi*. 13(2): 8-19.
- Kadlec, R. H. 1994. Detention and mixing in free water wetlands. *Ecological Engineering*. 3: 345-380.
- Kadlec, R. H., dan S. D. Wallace. 2009. *Treatment Wetlands Second Edition*. CRC Press: Boca Raton, Amerika Serikat.
- Kantachote, D., Kanthasorn D., dan Cherdchan S. 2009. Treatment efficiency in wastewater treatment plant of Hat Yai Municipality by quantitative removal of microbial indicators. *Journal Science Technology*. 31(5): 567-576.
- Katsenovich, Y. P., A. Hummel-Batista, A. J. Ravinet, dan J. F. Miller. 2009. Performance evaluation of constructed wetlands in a tropical region. *Ecological Engineering*. 35: 1529-1537.

- Kodoatie, R. J., dan R. Sjarief. 2010. *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- Komite Nasional Pengelolaan Ekosistem Lahan Basah. 2004. *Strategi Nasional dan Rencana Aksi Pengelolaan Lahan Basah Indonesia*. Kementerian Lingkungan Hidup: Jakarta.
- Konnerup, D., T. Koottatep, dan H. Brix. 2009. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. *Ecological Engineering*. 35: 248-257.
- Kospa, H. S. D., dan Rahmadi. 2019. Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Sekanak Kota Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2019*. 1-9.
- Leininger, D. J., J. R. Roberson, dan F. Elvinger. 2001. Use of eosin methylene blue agar to differentiate *Escherichia coli* from other gram-negative mastitis pathogens. *J Vet Diagn Invest*. 13:273-275.
- Li, F., M. Shi, X. Zheng, N. Zhang, H. Zheng, dan C. Gao. 2014. A novel method of rural sewage disinfection via root extracts of hydrophytes. *Ecological Engineering*. 64: 344-349.
- López, D., A. M. Leiva, W. Arismendi, dan G. Vidal. 2019. Influence of design and operational parameters on pathogens reduction in constructed wetland under the climate change scenario. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 1-25.
- Madera-Parra, C. A., E. J. Peña-Salamanca, M. R. Peña, D. P. L. Rosseau, dan P. N. L. Lens. 2014. Phytoremediation of Landfill Leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in Constructed Wetlands. *International Journal of Phytoremediation*. 17: 16-24.
- Mara, D. dan M. Horan. 2003. *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. Elsevier: London, Inggris.
- Matos, M. V., M. von Sperling, A. T. Matos, P. R. A. Aranha, M. A. Santos, F. D. B. Pessoa, dan P. D. D. Viola. 2019. Clogging in constructed wetlands: Indirect estimation of medium porosity by analysis of ground-penetrating radar images. *Science of the Total Environment*. 676: 333-342.
- Mburu. C., J. Kipkemboi, dan R. Kimwaga. 2019. Impact of substrate type, depth and retention time on organic matter removal in vertical subsurface flow constructed wetland mesocosms for treating slaughterhouse wastewater. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1(1): 1-11.
- McKinney, R. E. 2005. *Environmental Pollution Control Microbiology: A Fifty-Year Perspective*. Marcel Dekker Inc.: New York, Amerika Serikat.

- McWilliams, M. P. 2016. *Indole Test Protocol*. American Society for Microbiology: Amerika Serikat.
- Méndez-Mendoza, A. S., R. Bello-Mendoza, D. Herrera-López, G. Mejía-González, dan A. Calixto-Romo. 2015. Performance of constructed wetlands with ornamental plants in the treatment of domestic wastewater under the tropical climate of South Mexico. *Water Practice & Technology*. 10(1): 110-114.
- Metcalf and Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse 4th Edition Int. Edition*. McGraw-Hill: New York, Amerika Serikat.
- Miyasaka, S. C., dan M. C. Hawes. 2001. Possible role of root border cells in detection and avoidance of aluminium toxicity. *Plant Physiol*. 125: 1978-1987.
- Mitsch, W. J. dan J. G. Gosselink. 2007. *Wetlands Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc.: New Jersey, Amerika Serikat.
- Molle, P., Lienard, A., Grasmick, A., Iwema, A., 2006. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Res*. 40, 606–612.
- Mukhlis, J. B. Widiadi dan Susi A. W. 2003. Laju Serapan Tumbuhan Air Reed (*Phragmites australis*) dan Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem *Constructed Wetland* untuk Menurunkan COD Air Limbah. *Jurnal Purifikasi*. 4(2): 67-72.
- Nadayil, J., Devu M., Keerthana D., Meenu R., dan Riya R.P.P. 2015. A Study on Effect of Aeration on Domestic Wastewater. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*. 3 (2): 10-15.
- Nagabhatla, N. dan C. D. Metcalfe. 2018. *Multifunctional Wetlands: Pollution Abatement and Other Ecological Services from Natural and Constructed Wetlands*. Springer International Publishing: Cham, Swiss.
- Najafpour, G. D. 2015. Biological Treatment. *Biochemical Engineering and Biotechnology*: 557-595.
- Navarro, E., R. Pastor, V. Matamoros, dan J. M. Bayona. 2018. Evaluation of Treatment Wetlands of Different Configuration for the Sugarcane-Mill Effluent under Tropical Conditions. *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons Ltd. Sussex.
- Onyango, P., O. Odhiambo, dan A. R. Oduor. 2009. *Technical Guide to EcoSan Promotion*. Ministry of Water & Irrigation: Nairobi, Kenya.

- Panelin, Y. 2016. Studi Potensi Penyisihan Organik pada Efluen IPAL Domestik dengan Penggunaan *Constructed Wetland* (Studi Kasus: IPAL Bojongsoang, Bandung). *Journal of Env. Engineering & Waste Management*. 1(1): 25-34.
- Pedescoll, A., L. Rodríguez, A. A. Sarañana, dan M. Hijosa-Valsero. 2016. Microfaunal community in horizontal constructed wetlands with different design configurations. *Ecological Engineering*. 91: 16-23.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 16 Tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai. Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Domestik. Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M Tahun 2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Republik Indonesia.
- Perdana, M. C., H. B. Sutanto, dan G. Prihatmo. 2018. Vertical Subsurface Flow (VSSF) Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 148: 1-10.
- Prihatini, N. S., dan M. S. Iman. 2015. Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Sistem Lahan Basah Buatan: Penyisihan Mangan (Mn). *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*. 1(1): 16-21.
- Putri, A. M., dan P. Kurnia. 2018. Identifikasi Keberadaan Bakteri *Coliform* dan Total Mikroba dalam Es Dung-Dung di Sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Media Gizi Indonesia*. 13(1): 41-48.
- Qomariyah, S., Sobriyah, Koosdaryani, dan A. Y. Muttaqien. 2017. Lahan Basah Buatan Sebagai Pengolah Limbah Cair dan Penyedia Air Non-konsumsi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*. 1(1): 25-32.
- Rajan, R. J., J. S. Sudarsan, dan S. Nithiyantham. 2019. Efficiency of constructed wetlands in treating *E. coli* bacteria present in livestock wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 1-10.
- Ramos, A., M. J. Whelan, I. Guymer, R. Villa, dan B. Jefferson. 2019. On the potential of on-line free-surface constructed wetlands for attenuating

- pesticide losses from agricultural land to surface waters. *Environ. Chem.* 16: 563-576.
- Reed, S. C. 1993. *Guidance for Design and Construction of a Subsurface Flow Constructed Wetland*. US Environmental Protection Agency, Region 6: Dallas, Amerika Serikat.
- Renaud, F. G., K. Sudmeier-Rieux, dan M. Estrella. 2013. *The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction*. United Nations University Press: New York, Amerika Serikat.
- Sandoval, L.; Zamora-Castro, S.; Vidal-Álvarez, M.; Marín-Muñiz, J. 2019. Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Appl. Sci.* 9: 685.
- Sharma, H.B., dan P. R. Sinha. 2016. Performance analysis of vertical flow constructed wetland to treat domestic wastewater using two different filter media and *Canna* as plant. *Indian Journal of Science and Technology*. 9(44): 1-7.
- Sheela, V. L. 2008. *Flowers for Trade*. New India Publishing Agency: New Delhi.
- Shi, X., Fan, J., Zhang, J., Shen, Y., 2017. Enhanced phosphorus removal in intermittently aerated constructed wetlands filled with various construction wastes. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 24 (28), 22524–22534.
- Shingare, R. P., P. R. Thawale, K. Raghunathan, A. Mishra, dan S. Kumar. 2019. Constructed wetland for wastewater reuse: role and efficiency in removing enteric pathogens. *Journal of Environmental Management*. 246: 444-461.
- Silverman, A. I., B. M. Peterson, A. B. Boehm, K. McNeill, dan K. L. Nelson. 2013. Sunlight Inactivation of Human Viruses and Bacteriophages in Coastal Waters Containing Natural Photosensitizers. *Environ. Sci. Technol.* 47: 1870-1878.
- Six, J., C. Feller, K. Denef, and S.M Ogle. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*. 22: 755–775.
- Standar Nasional Indonesia. 2006. *Standar Nasional Indonesia (SNI 01-23321-2006); Cara Uji Mikrobiologi - Bagian 1: Penentuan Coliform dan Escherichia coli pada Produk Perikanan*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI 2897-2008); Metode pengujian cemaran mikroba dalam daging, telur dan susu, serta hasil olahannya*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.

- Stanković, D. 2017. Constructed Wetlands for Wastewater Wreatment. *Građevinar*. 69(8): 639-652.
- Stefanakis, A., C. S. Akratos, dan V. A. Tsihrintzis. 2014. *Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. Elsevier: Oxford, Inggris.
- Stefanakis, A. 2018. *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons Ltd: West Sussex, Inggris.
- Stottmeister, U., A. Weißner, P. Kusch, U. Kappelmeyer, M. Kästner, O. Bederski, R. A. Müller, dan H. Moormann. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*. 22: 93-117.
- Strehmel, N., C. Böttcher, S. Schmidt, dan D. Scheel. 2014. Profiling of secondary metabolites in root exudates of *Arabidopsis thaliana*. *Phytochemistry*. 108: 35-46.
- Sunarti, R.N. 2016. Uji kualitas air minum isi ulang di sekitar kampus UIN Raden Fatah Palembang. *Jurnal Bioilmi*. 2(1): 40-50.
- Tarigan, L. R., Muharni, Marieska thaty. 2019. Uji coliform dan resistensi *Escherichia coli* terhadap beberapa antibiotik pada sampel air Sungai Sekanak di Kota Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2019*. 104-114.
- Thorslund, J., J. Jarsjö, dan G. Destouni. 2017. Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management. *Geophysical Research Abstracts*. 19: 1-9.
- Tjitrosoepomo, G. 2010. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Trisna, Y. 2018. Kualitas Air dan Keluhan Kesehatan Masyarakat di Sekitar Pabrik Gula Watoetoelis. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 10(2): 220-232.
- Trisnaini, I., T. N. Kumalasari, dan F. Utama. 2018. Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 17(1):1-8.
- Truu, M.; Juhanson, J.; Truu, J. 2009. Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. *Sci. Total Environ*. 407: 3958–3971.
- Tsihrintzis, V. A. 2017. The use of Vertical Flow Constructed Wetlands in Wastewater Treatment. *Water Resour Manage*. 31: 3245–3270.

- United Nations Development Programme. 2015. *A New Sustainable Development Agenda: The SDGs*. Diakses pada 5 Desember 2019. <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sdgoverview.html>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2015. *Draft Paris Outcome*. Diakses 5 Desember 2019. https://unfccc.int/files/bodies/awg/application/pdf/draft_paris_outcome_rev_5dec15.pdf
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. 2015. *The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. UNISDR: Geneva.
- United States Department of Agriculture. 2020. *Heliconia psittacorum L.* Diakses 10 Februari 2020. <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=HEPS2>
- Vanek, T., R. Podlipna, Z. Fialova, S. Petrova, P. Soudek. 2010. *Uptake of xenobiotics from polluted waters by plants*. Springer: Netherlands.
- Verawaty, M., N. Apriani, L. R. Tarigan, E. T. Aprian, W. C. Laurenta, dan Muharni. 2020. Antibiotics resistant *Escherichia coli* isolated from aquatic ecosystems in Palembang, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(1): 86-97.
- Vicré, M, Santaella C, Blanchet S, Gateau A, Driouich A. 2005. Root border-like cells of *Arabidopsis*. Microscopical characterization and role in the interaction with rhizobacteria. *Plant Physiol*. 138:998-1008.
- Vivant, A.-L., C. Boutin, S. Prost-Boucle, S. Papias, A. Hartmann, G. Depret, C. Ziebal, S. Le Roux, dan A.-M. Roucher. 2016. Free water surface constructed wetlands limit the dissemination of extended-spectrum beta-lactamase producing *Escherichia coli* in the natural environment. *Water Research*. 104: 178-188.
- Vymazal, J. 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*. 2: 530-549.
- Vymazal, J. dan L. Kröpfelová. 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Czech University of Life and Environmental Sciences: Praha, Ceko.
- Wang, Z. J. Dong, I. Liu, G. Zhu, dan C. Liu. 2013. Screening of phosphate-removing substrates for use in constructed wetlands treating swine wastewater. *Ecol. Eng.* 54: 57-65.
- Warren, W. 1997. *Tropical Flowers*. Periplus Edition: Singapura.

- Wasita, D. H., R. Hadisoebroto, dan M. F. Fachrul. 2019. Efficiency of constructed wetland using vetiver plant (*Vetiveria* sp) to reduced BOD and COD Concentration in greywater. *4th Annual Applied Science and Engineering Conference*. 1402: 1-5.
- Wenk, J., M. T. Nguyen, dan K. L. Nelson. 2019. Natural photosensitizers in constructed unit process wetlands: photochemical characterization and inactivation of pathogen indicator organisms. *Environ. Sci. Technol.* 53: 7724-7735.
- Wijaya, D. S., T. Hidayat, D. Sumiarsa, T. B. B. Kurnaeni, dan D. Kurniadi. 2016. A review on sub-surface flow constructed wetlands in tropical and sub-tropical countries. *Open Science Journal*. 1(2): 1-11.
- Wu, S., P. N. Carvalho, J. A. Müller, V. R. Manoj, dan R. Dong. 2016. Sanitation in Constructed Wetlands: A Review on The Removal of Human Pathogens and Fecal Indicators. *Science of the Total Environment*. 541: 8-22.
- Yan, Y. & Xu, J. 2013. Improving winter performance of constructed wetlands for wastewater treatment in Northern China: a review. *Wetlands* 34, 243–253.
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K., Gersberg, R. M., Liu, Y., Jern Ng, W., & Tan, S. K. (2014). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries - a review of recent developments (2000-2013). *Journal of Environmental Management*. 141: 116-131.
- Zhou, X., C. Liang, I. Jia, L. Feng, R. Wang, dan H. Wu. 2018. An innovative biochar-amended substrate vertical flow constructed wetland for low C/N wastewater treatment: impact on influent strengths. *Bioresour. Technol.* 247: 844-850.
- Zhu, Hui, Qing-wei Zhou, Bai-xing Yan, Yin-xiu Liang, Xiang-fei Yu, Yoram Gerchman and Xian-wei Cheng. 2017. Influence of vegetation type and temperature on the performance of constructed wetlands for nutrient removal. *Water Science and Technology*. 1-9.
- Zhuang, L. L., T. Yang, J. Zhang, dan X. Li. 2019. The configuration, purification effect and mechanism of intensified constructed wetland for wastewater treatment from the aspect of nitrogen removal: A review. *Bioresource Technology*. 293: 122086.