

SKRIPSI

PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN *Escherichia coli* PADA SISTEM LAHAN BASAH BUATAN MENGGUNAKAN *Typha angustifolia*

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



**PRAGUSNINDA ALSHAZNA
08041181621012**

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

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN
Escherichia coli PADA SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
MENGGUNAKAN *Typha angustifolia***

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

OLEH

**PRAGUSNINDA ALSHAZNA
08041181621012**

Indralaya, Januari 2021

Dosen Pembimbing


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



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah ini berupa Skripsi dengan judul Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Efisiensi Penurunan *Escherichia coli* Pada Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan *Typha angustifolia* telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya pada Januari 2021.

Inderalaya, Januari 2021

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

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

(.....)


Anggota :

1. Dr. Elisa Nurnawati, M.Si.
NIP. 197504272000122001

(.....)


2. Drs. Juswardi, M.Si.
NIP. 196309241990021001

(.....)


3. Drs. Mustafa Kamal, M.Si.
NIP. 196207091992031005

(.....)


Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.
NIP. 197210041997021001

Ketua Jurusan

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Pragusninda Alshazna

NIM : 08041181621012

Judul : Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Efisiensi Penurunan *Escherichia coli*
Pada Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan *Typha angustifolia*

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi 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 siapapun.

Indralaya, Januari 2021



Pragusninda Alshazna
08041181621012

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Pragusninda Alshazna

NIM : 08041181621012

Judul : Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Efisiensi Penurunan *Escherichia coli*
Pada Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan *Typha angustifolia*

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

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

Indralaya, Januari 2021



Pragusninda Alshazna
08041181621012

RINGKASAN

PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN
Escherichia coli PADA SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
MENGGUNAKAN *Typha angustifolia*

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, januari 2021

Pragusninda Alshazna (08041181621012)

Dibimbing oleh Marieska Verawaty, M. Si., Ph.D.

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

xv + 68 halaman, 4 tabel, 12 gambar dan 12 lampiran

Air limbah domestik menjadi polutan terbesar yang masuk ke perairan. Sumber air limbah sangat dipengaruhi oleh pola pemakaian air bersih. Salah satu indikator pencemaran mikroba pada air limbah domestik adalah keberadaan bakteri *Escherichia coli*. Sebagai upaya menurunkan pencemaran air limbah domestik, diuji coba dengan teknologi lahan basah buatan. Salah satu mekanisme yang terjadi selama penghilangan patogen adalah *natural die-off* yang sangat dipengaruhi oleh waktu retensi. Waktu retensi adalah durasi waktu oleh senyawa terlarut untuk tetap berada dalam bioreaktor selama jangka waktu tertentu. Waktu retensi yang optimal diperlukan untuk mengimbangi beban polutan yang ada di lingkungan dengan penggunaan air di masyarakat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efisiensi penurunan *Escherichia coli* serta faktor yang berperan dalam menurunkan *Escherichia coli* pada sistem lahan basah buatan menggunakan *Typha angustifolia* dengan berbagai waktu retensi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu melihat penurunan jumlah *Escherichia coli* pada sistem *vertical subsurface flow constructed wetland* menggunakan *Typha angustifolia* dengan berbagai waktu retensi. Parameter kualitas air diukur secara in situ menggunakan instrumen Thermo Scientific yang terdiri dari suhu air ($^{\circ}\text{C}$) dan pH, masing-masing diulang sebanyak 2 kali. Selanjutnya analisis jumlah *Escherichia coli* dihitung menggunakan metode MPN, masing-masing diulang sebanyak 2 kali. Selanjutnya data dianalisis dengan pemusatan data rata-rata dan standar deviasi.

Hasil penelitian mencatat bahwa waktu retensi 100 jam efisien dalam menurunkan jumlah *Escherichia coli* dengan nilai sebesar $93.25\% \pm 2,04$ dibandingkan dengan waktu retensi 20 jam, 40 jam dan 100 jam tanpa menggunakan *Typha angustifolia* dengan masing-masing nilai sebesar $81.62\% \pm 1,03$, $90.88\% \pm 1,24$ dan $84.54\% \pm 7,71$. Kesimpulan dari penelitian ini adalah efisiensi tertinggi penurunan jumlah *Escherichia coli* terdapat pada waktu retensi 100 jam dengan nilai persentase sebesar $93.25\% \pm 2,04$. Sedangkan waktu retensi 20 jam memiliki nilai efisiensi terkecil sebesar $81.62\% \pm 1,03$.

Kata kunci: Air Limbah Domestik, Lahan Basah Buatan, *Typha angustifolia*, *Escherichia coli*, Waktu Retensi.

Kepustakaan : 107 (1991-2020).

SUMMARY

THE EFFECT RETENTION TIME ON THE EFFICIENCY REMOVAL OF
Escherichia coli IN CONSTRUCTED WETLAND'S SYSTEM BY
Typha angustifolia

Scientific paper in the form of Thesis, January 2021

Pragusninda Alshazna (08041181621012)

Supervised by Marieska Verawaty, M. Si., Ph.D.

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

xv + 68 pages, four tables, 12 pictures and 12 appendices

Domestic wastewater is the largest pollutant that enters the waters. The source of wastewater is strongly influenced by the pattern of using clean water. One of the indicators of microbial pollution in domestic wastewater is the presence of *Escherichia coli*. As an effort to reduce domestic waste water pollution, a technology was tested using *constructed wetland*. One of the mechanisms that occurs during pathogen removal is natural die-off which is greatly influenced by the retention time. The retention time is the time duration by which a dissolved compound remains in the bioreactor for a certain period of time. The optimal retention time is needed to balance the pollutant load in the environment with water use in the community. The purpose of this study was to determine the efficiency of reduction *Escherichia coli* and the factors that play a role in reducing *Escherichia coli* in a system *constructed wetland* using *Typha angustifolia* with various retention times.

The method used in this study is an experimental method, which is to see the decrease in the number of *Escherichia coli* in the system *vertical subsurface flow constructed wetlands* using *Typha angustifolia* with varying retention times. Water quality parameters were measured *in situ* using a Thermo Scientific instrument consisting of water temperature (° C) and pH, each repeated two times. Furthermore, the analysis of the number of *Escherichia coli* was calculated using the MPN method, each repeated two times. Furthermore, the data were analyzed by centering the average data and standard deviation.

The results noted that the 100 hour retention time was efficient in reducing the number of *Escherichia coli* with a value of $93.25\% \pm 2.04$ compared to the retention time of 20 hours, 40 hours and 100 hours without using *Typha angustifolia* with each value of $81.62\% \pm 1.03$, $90.88\% \pm 1.24$ and $84.54\% \pm 7.71$. The conclusion of this study is that the highest efficiency in reducing the number of *Escherichia coli* is at a retention time of 100 hours with a percentage value of $93.25\% \pm 2.04$. While the retention time of 20 hours has the smallest efficiency value of $81.62\% \pm 1.03$.

Keywords: Domestic Wastewater, Constructed Wetland, *Typha angustifolia*, *Escherichia coli*, Retention Time.

Literature: 107 (1991-2020).

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Dan sesungguhnya telah Kami muliakan anak-anak Adam, Kami angkat mereka di daratan dan di lautan, Kami beri mereka rezeki dari yang baik-baik dan Kami lebihkan dengan kelebihan yang sempurna atas kebanyakan makhluk yang telah Kami ciptakan.”

(Q.S. Al-Isra: 70)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui.”

(Q.S. Al-Baqarah: 216)

“Barangsiapa yang meringankan (menghilangkan) kesulitan seorang muslim kesulitan-kesulitan duniawi, maka Allah akan meringankan (menghilangkan) baginya kesulitan di akhirat kelak.

Barangsiapa yang memberikan kemudahan bagi orang yang mengalami kesulitan di dunia, maka Allah akan memudahkan baginya kemudahan (urusan) di dunia dan akhirat.”

(HR: Tirmidzi : 1853)

“Jadilah Dirimu Sendiri”

**Karya ini saya persembahkan
kepada Penguat Hati
Allah SWT beserta Habiballah Muhammad Saw
Bapak, ibu dan adik
Keluarga besar
Almamaterku**

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya, serta ridhonya yang telah di berikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul "Pengaruh Waktu Retensi Terhadap Efisiensi Penurunan *Escherichia coli* Pada Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan *Typha angustifolia*" disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains bidang studi Biologi di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta ayah dan ibu yang selalu mendoakan, mendidik, mendukung, menyemangati baik secara moril dan materi dan terima kasih kepada Ibu Marieska Verawaty, M.Si., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah memberi arahan, bimbingan, meluangkan waktu, pikiran, tenaga dan kesabaran dengan ikhlas, serta saran-saran selama penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari semua pihak. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M. Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Indralaya.
3. Dr. Arum Setiawan, M.Si selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Indralaya.
4. Dr. Sarno, M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Indralaya.
5. Drs. Mustafa Kamal, M.Si selaku Pembimbing Akademik dan Dosen Penguji, yang telah memberikan bimbingan dan nasehatnya selama proses perkuliahan.

6. Dra. Sri Pertiwi Estuningsih, M.Si., Dr. Elisa Nurnawati, M.Si. dan Drs. Juswardi, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan tugas akhir.
7. Seluruh staff Bapak/Ibu Dosen serta staff Karyawan Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Tim penelitian tugas akhir yang selalu memberikan semangat dan saling menguatkan selama proses penelitian.
9. Almamater, terkhusus untuk angkatan 2016 Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, terima kasih atas segala dukungan dan kebersamaan selama perkuliahan.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat di sebutkan satu per satu yang terlibat dalam penyusunan skripsi ini sehingga dapat selesai dengan baik.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunia-Nya dan membala segala amal dan kebaikan pihak-pihak yang telah membantu penyusunan skripsi. Harapan penulis, semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak, baik bagi pembaca umumnya dan khususnya bagi penulis sendiri.

Indralaya, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Hipotesis	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Lahan Basah (<i>Wetland</i>) Secara Umum	5
2.2. Air Limbah Domestik	5
2.2.1. Pengertian Air Limbah Domestik	5
2.2.2. Kandungan Air Limbah Domestik	6
2.2.3. Karakteristik Air Limbah Domestik	7
2.3. Teknologi Alternatif Pengelolaan Air Limbah Domestik	7
2.4. Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetland</i>).....	8
2.4.1. Pengertian Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetland</i>)	8
2.4.2. Prinsip Dasar Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetland</i>).....	9
2.4.3. Komponen-Komponen Sistem <i>Constructed Wetland</i>	9
2.5. Tipe-Tipe Lahan Basah Buatan (<i>Constructed Wetland</i>).....	12
2.5.1. <i>Free Water Surface (FWS)</i> atau <i>Surface Flow (SF)</i>	12
2.5.2. <i>Sub Surface Flow (SSF)</i>	13
2.6. Mekanisme <i>Constructed Wetland</i> Dalam Eliminasi Pathogen (<i>Pathogen Remover</i>)	17
2.6.1. <i>Hydraulic Retention Time</i> (Waktu Retensi Hidrolik).....	20
2.7. Peranan <i>Constructed Wetland</i> Dalam <i>Domestic Wastewater Treatment</i>	21
2.8. Kelebihan dan Kelemahan Sistem <i>Constructed Wetland</i>	21
2.9. Bakteri <i>Coliform</i>	22
2.9.1. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	24
2.10. <i>Typha angustifolia</i>	25

BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1. Waktu dan Tempat	27
3.2. Alat dan Bahan	27
3.3. Metode Penelitian	27
3.4. Cara Kerja	28
3.4.1. Persiapan Tumbuhan Uji	28
3.4.2. Peremajaan Bakteri	28
3.4.3. Pembuatan Sampel Air	28
3.4.4. Pembuatan Sistem <i>Constructed Wetland</i>	28
3.4.5. Cara Kerja Sistem <i>Constructed Wetlands</i>	29
3.4.6. Perhitungan <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) atau Waktu Retensi	30
3.4.7. Pengujian Sampel <i>Influent</i> dan <i>Effluent</i> (Uji MPN)	30
3.4.8. Menghitung Persentase Efisiensi	33
3.4.9. Variabel Pengamatan	33
3.4.10. Analisis Data	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1. Persentase Efisiensi Penurunan Bakteri <i>Escherichia coli</i> Pada Lahan Basah Buatan Dengan Waktu Retensi Yang Berbeda	34
4.2. Faktor yang Berperan dalam Penurunan Jumlah <i>Escherichia coli</i> pada Lahan Basah Buatan	38
4.2.1. Faktor Fisika (Suhu) dan Kimia (pH) pada Lahan Basah Buatan	38
4.2.2. Tumbuhan dan Media pada Lahan Basah Buatan	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN	53
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	69

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Komposisi Limbah Cair Rumah Tangga	6
Tabel 2.2. Ringkasan mekanisme <i>pathogen treatment</i> di <i>Constructed Wetland</i> ...	18
Tabel 4.1. Persentase Efisiensi Penurunan Bakteri <i>Escherichia coli</i> pada <i>Constructed Wetland</i> Dengan Waktu Retensi Yang Berbeda.....	34
Tabel 4.2. Tabel Parameter Fisika dan Kimia Sampel <i>Influent</i> dan <i>Effluent</i>	38

DAFTAR GAMBAR

Halaman	
Gambar 2.1. Tipe <i>Surface Flow</i>	13
Gambar 2.2. Tipe <i>SubSurface Flow</i>	14
Gambar 2.3. <i>Horizontal Subsurface Flow</i>	15
Gambar 2.4. Tipe <i>Vertical Subsurface Flow</i>	16
Gambar 2.5. Tipe <i>Hybrid Subsurface Flow</i>	17
Gambar 2.6. Sistem <i>Floating Wetland</i>	17
Gambar 2.7. Ukuran jenis filter dan patogen kontaminan yang dapat dihambat...	19
Gambar 2.8. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	24
Gambar 2.9. <i>Typha angustifolia</i>	25
Gambar 3.1. Rangkaian sistem <i>constructed wetland</i>	29
Gambar 3.2. Uji Penduga.....	31
Gambar 3.3. Uji Penguat.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil Analisis Statisitik	53
Lampiran 2. Komposisi Medium	54
Lampiran 3. Tabel Daftar MPN <i>Coliform</i> Menggunakan 5 Tabung	57
Lampiran 4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang	58
Lampiran 5. Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 16 Tahun 2005 Tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai.....	59
Lampiran 6. Perhitungan <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) atau Waktu Retensi .	61
Lampiran 7. Perhitungan Persentase Penurunan <i>Escherichia coli</i> pada <i>Constructed Wetland</i>	62
Lampiran 8. Uji MPN Pada Sampel Air Limbah.....	64
Lampiran 9. Uji <i>Escherichia coli</i> pada Medium EMBA	65
Lampiran 10. Uji ImVic.....	66
Lampiran 11. Pengukuran pH dan Suhu	67
Lampiran 12. Sistem <i>Constructed Wetland</i>	68

**PENGARUH WAKTU RETENSI TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN
Escherichia coli PADA SISTEM LAHAN BASAH BUATAN
MENGGUNAKAN *Typha angustifolia***

Pragusninda Alshazna¹, Marieska Verawaty¹

Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
Jalan Raya Palembang-Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan
Email: nindaalshazna98@gmail.com

ABSTRAK: Air limbah domestik menjadi polutan terbesar yang masuk ke perairan. Sumber air limbah sangat dipengaruhi oleh pola pemakaian air bersih. Salah satu indikator pencemaran mikroba pada air limbah domestik adalah keberadaan bakteri *Escherichia coli*. Sebagai upaya menurunkan pencemaran air limbah domestik, diuji coba dengan teknologi lahan basah buatan. Salah satu mekanisme yang terjadi selama penghilangan patogen adalah *natural die-off* yang sangat dipengaruhi oleh waktu retensi. Waktu retensi adalah durasi waktu oleh senyawa terlarut untuk tetap berada dalam bioreaktor selama jangka waktu tertentu. Waktu retensi yang optimal diperlukan untuk mengimbangi beban polutan yang ada di lingkungan dengan penggunaan air di masyarakat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efisiensi penurunan *Escherichia coli* serta faktor yang berperan dalam menurunkan *Escherichia coli* pada sistem lahan basah buatan menggunakan *Typha angustifolia* dengan berbagai waktu retensi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu melihat penurunan jumlah *Escherichia coli* pada sistem *vertical subsurface flow constructed wetland* menggunakan *Typha angustifolia* dengan berbagai waktu retensi. Parameter kualitas air diukur secara in situ menggunakan instrumen Thermo Scientific yang terdiri dari suhu air (°C) dan pH, masing-masing diulang sebanyak 2 kali. Selanjutnya analisis jumlah *Escherichia coli* dihitung menggunakan metode MPN, masing-masing diulang sebanyak 2 kali. Selanjutnya data dianalisis dengan pemusatan data rata-rata dan standar deviasi. penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi penurunan jumlah *Escherichia coli* terdapat pada waktu retensi 100 jam dengan nilai persentase sebesar $93.25\% \pm 2,04$, sedangkan waktu retensi 20 jam memiliki nilai efisiensi terkecil sebesar $81.62\% \pm 1,03$. Suhu dan pH berperan dalam penurunan *Escherichia coli* pada sistem lahan basah buatan dengan nilai suhu sebesar 30.3°C dan pH sebesar 5.72 pada waktu retensi 100 jam menggunakan *Typha angustifolia*.

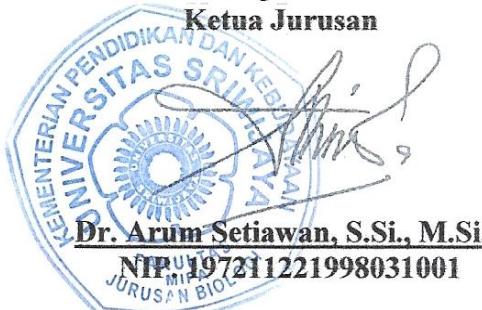
Kata kunci: Air Limbah Domestik, Lahan Basah Buatan, *Typha angustifolia*, *Escherichia coli*, Waktu Retensi.

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan



**THE EFFECT RETENTION TIME ON THE EFFICIENCY REMOVAL
OF *Escherichia coli* IN *CONSTRUCTED WETLAND'S SYSTEM* BY
*Typha angustifolia***

Pragusninda Alshazna¹, Marieska Verawaty¹

Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
Jalan Raya Palembang-Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan

Email: nindaalshazna98@gmail.com

ABSTRACT: Domestic wastewater is the largest pollutant that enters the water. The source of wastewater is greatly influenced by the pattern of using clean water. One of the indicators of microbial pollution in domestic wastewater is the presence of the *Escherichia coli*. As an effort to reduce domestic wastewater pollution, a trial was tested using technology of constructed wetland. One of the mechanisms that occurs during pathogen removal is natural die-off which is greatly influenced by the retention time. The retention time is the time duration by which the dissolved compound remains in the bioreactor for a certain period of time. The optimal retention time is needed to balance the pollutant load in the environment with water use in the community. The purpose of this study was to determine the efficiency of reduction *Escherichia coli* and the factors that play a role in reducing *Escherichia coli* in a system *constructed wetland* using *Typha angustifolia* with various retention times. The method used in this study is an experimental method, which is to see the decrease in the number of *Escherichia coli* in the vertical subsurface flow constructed wetland using *Typha angustifolia* with varying retention times. Water quality parameters were measured in situ using a Thermo Scientific instrument consisting of water temperature (°C) and pH, each repeated two times. Furthermore, the analysis of the number of *Escherichia coli* was calculated using the MPN method, each repeated two times. Furthermore, the data were analyzed by centering the average data and standard deviation. This study shows that the highest efficiency in reducing the number of *Escherichia coli* is at a retention time of 100 hours with a percentage value of $93.25\% \pm 2.04$, while the retention time of 20 hours has the smallest efficiency value of $81.62\% \pm 1.03$ and temperature and pH play a role in reducing *Escherichia coli* in artificial wetland systems with a temperature value of 30.3°C and pH amounting to 5.72 at a retention time of 100 hours using *Typha angustifolia*.

Keywords: Domestic Wastewater, Constructed Wetland, *Typha angustifolia*, *Escherichia coli*, Retention Time.

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Sumber air merupakan energi yang berbentuk cairan yang bermanfaat ataupun potensial untuk manusia. Manfaat air meliputi pemakaian di bidang pertanian, industri, rumah tangga, tamasya, serta kegiatan area. Penyediaan air bersih dibutuhkan buat penuhi kebutuhan penduduk supaya memperoleh kehidupan yang sehat serta bersih terhitung kebutuhan pokok untuk manusia, antara lain dibutuhkan buat keperluan rumah tangga, misalnya buat minum, masak, mandi, cuci serta pekerjaan yang lain (Supardi *et al.*, 2014).

Berdasarkan pernyataan dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 14/PRT/ M/ 2010 tentang Baku Mutu Pelayanan Minimun Bidang Pekerjaan Umum serta Penyusunan Ruang mengatakan kalau kebutuhan air rata- rata secara normal ialah 60 l/ orang/ hari buat seluruh keperluannya. Kebutuhan bakal air bersih dari tahun ke tahun diperkirakan terus bertambah.

Masalah yang berkaitan dengan energi air ialah jumlah air yang telah belum sanggup penuhi kebutuhan yang terus bertambah serta mutu air yang biasanya digunakan untuk keperluan pribadi yang terus menjadi menyusut dari tahun ke tahun. Aktivitas industri, domestik, serta aktivitas lain dapat memberikan efek negatif terhadap sumber energi air, hal ini tercantum penyusutan pada mutu air. Keadaan tersebut bisa memunculkan kendala, kehancuran, serta bahaya untuk mahluk hidup yang tergantung pada sumber energi air (Effendi, 2003).

Departemen Lingkungan Hidup Indonesia pada tahun 2014 menghasilkan hasil penelitian kalau 60-70% sungai di Indonesia sudah tercemar limbah domestik ataupun rumah tangga. Pada biasanya, ciri dari air limbah dalam negeri antara lain ialah TSS 25- 183 miligram/ l, COD 100- 700 miligram/ l, BOD 47- 466 miligram/ l, Total koliform $56-8,03 \times 10^7$ CFU/ 100 ml (Nadayil *et al.*, 2015). Pengolahan ulang air limbah dalam negeri dimaksudkan agar air limbah dalam negeri bisa dimanfaatkan sebagai air bersih serta penuhi baku kualitas air bersih.

Pencemaran mikrobiologi berupa kehadiran mikrobia yang menyebabkan hilangnya peruntukan suatu lingkungan. Salah satu indikator pencemaran

mikrobia adalah keberadaan bakteri *Escherichia coli*. Pemeriksaan bakteriologi air, difokuskan pada pemeriksaan terhadap adanya bakteri koliform patogen yang berasal dari faeses yaitu *Escherichia coli*. Bakteri *Escherichia coli* termasuk kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya kontaminasi faeses (Britton, 2005).

Berdasarkan penelitian dari Tarigan *et al.*, (2019), bahwa dari analisa terhadap bakteri koliform yang terdapat di perairan Sungai Sekanak dan Baung di Palembang mengilustrasikan nilai pada jumlah koliform sebesar $8,0 \times 10^4$ sampai dengan $2,4 \times 10^5$ MPN/100 ml, nilai ini jauh melampaui standar baku mutu air sungai yang sudah ditetapkan pada Standar Baku Mutu Air Sungai PERGUB Sumatera Selatan Nomor 16 tahun 2005 yaitu 10.000 MPN/100 ml. Akibat hal tersebut perlu dilakukan penyaringan air limbah sebelum air limbah domestik dialirkan ke sungai.

Proses pengolahan air limbah secara biologis mempunyai kelebihan dan kekurangannya, sehingga diperlukan upaya dengan teknologi yang sederhana, murah, mudah, tepat guna, ekonomis serta operasional dan pemeliharnya yang tidak memerlukan tenaga khusus (Hidayah dan Aditya, 2010). Penyaringan pada air limbah domestik dilakukan menggunakan lahan basah buatan (*constructed wetland*) yang memiliki kemampuan untuk menghilangkan polutan kimiawi dan bakteri patogen. Lahan basah buatan (*constructed wetland*) berupa sistem yang dirancang dan dibangun agar dapat menggunakan proses alami yang menginkorporasikan tumbuhan di area tanah, rawa, dan ditemukan kumpulan mikroba yang saling terkait untuk menyaring air limbah. Lahan basah buatan juga dirancang sehingga didapatkan keuntungan maksimum dari proses yang terjadi di rawa alami namun dalam lingkungan yang lebih terkontrol (Vymazal, 2001).

Tumbuhan air yang digunakan berupa tumbuhan yang memiliki kemampuan dalam mengoptimalkan usaha untuk menurunkan beban pencemar salah satunya bakteri *Escherichia coli*. Menurut Wimbaningrum *et al.* (2020), salah satu tumbuhan yang sudah dikenal berpotensi selaku fitoremediator yang baik ialah *Typha angustifolia*. Tumbuhan ini memiliki energi tahan yang lumayan kokoh, tidak gampang mati dan memiliki akar serabut yang sangat rimbun sehingga mempunyai keahlian besar dalam meresap komponen hara. Tumbuhan ini banyak

ditemukan di lahan basah di Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian dari Putri (2019), bahwa lahan basah buatan menggunakan *Typha angustifolia* mampu menurunkan jumlah *Escherichia coli* sebesar 90.24%.

Typha angustifolia yang dipakai pada penelitian ini berdasarkan beberapa alasan yaitu tumbuhan ini di beberapa negara didapati berkemampuan sebagai aset berpengaruh dalam metode penjernihan air yang murah dan efektif. Morfologi tumbuhan *Typha angustifolia* juga diketahui sangat cocok sebagai pengolahan menggunakan sistem *constructed wetland*. *Typha angustifolia* mempunyai sistem perakaran rimbun dan kuat sehingga dapat membantu menstabilisasi sungai dengan melakukan penyerapan pada zat organik, selain itu membatasi erosi tanah (Evasari, 2012).

Salah satu mekanisme yang terjadi selama eliminasi patogen adalah *natural die-off* (kematian secara alami). *Natural die-off* bakteri *Escherichia coli* dalam CW merupakan hasil dari banyak proses inaktivasi dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti predasi, kurangnya nutrisi, dan paparan terhadap stresor fisik atau kimia. Namun besarnya nilai *natural die-off* sulit untuk diukur (Wu *et al.*, 2016). Menurut Stefanakis dan Akratos (2016), *Natural die-off* dianggap sebagai mekanisme eliminasi patogen yang penting dalam sistem *constructed wetland*, terutama pada tipe *free water surface*, juga dilaporkan bahwa tingkat *Natural die-off* pada bakteri *coliform* lebih tinggi di air daripada di sedimen.

Proses *natural die-off* sangat dipengaruhi oleh waktu retensi. Waktu retensi adalah durasi waktu pada senyawa terlarut dalam air limbah untuk tetap dalam bioreaktor selama periode waktu tertentu. Ini berhubungan langsung dengan aliran air limbah menuju bioreaktor (Rehman *et al.*, 2020). Menurut Sehar *et al.* (2015), waktu retensi secara signifikan mempengaruhi penghilangan patogen, karena waktu retensi yang berkepanjangan memberikan waktu kontak yang lebih lama antara patogen dan biofilm. Waktu retensi yang berkepanjangan meminimalkan aliran air limbah, memungkinkan air limbah mengalir di sekitar partikel substrat.

Berdasarkan penelitian dari Molle *et al.* (2006) dalam Mburu *et al.* (2019), bahwa waktu retensi yang singkat tidak cukup untuk eliminasi nutrien terlarut, karena penyisihan nutrien bergantung pada siklus biogeokimia yang beroperasi pada kecepatan yang jauh lebih lambat. Semakin lama waktu retensi, semakin

meningkatkan efisiensi eliminasi beberapa polutan. Waktu retensi yang lebih lama memungkinkan peningkatan kontak antara komunitas mikroba dan air limbah.

1.2. Rumusan Masalah

Penyaringan air menggunakan sistem lahan basah buatan dapat menghilangkan bakteri patogen. *Typha angustifolia* digunakan dalam penelitian ini karena memiliki akar serabut yang lebat sehingga dapat menyerap unsur hara yang banyak. Salah satu mekanisme yang terjadi selama eliminasi patogen adalah *natural die-off* yang dipengaruhi oleh waktu retensi. Waktu retensi yang optimal diperlukan untuk mengimbangi beban polutan yang ada di lingkungan dengan penggunaan air di masyarakat. Sehubungan dengan hal tersebut perlu diketahui efisiensi penurunan *Escherichia coli* serta faktor yang berperan dalam lahan basah buatan memanfaatkan tumbuhan *Typha angustifolia* melalui berbagai waktu retensi.

1.3. Hipotesis

Waktu retensi berpengaruh terhadap efisiensi penurunan *Escherichia coli* pada sistem lahan basah buatan menggunakan *Typha angustifolia*.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan *Escherichia coli* serta faktor yang berperan dalam menurunkan *Escherichia coli* pada sistem *constructed wetland* menggunakan *Typha angustifolia* dengan berbagai waktu retensi.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai salah satu sumber informasi ilmiah mengenai pengaruh waktu retensi dalam mengurangi *Escherichia coli* pada sampel air dan menyampaikan arahan tentang efisiensi yang didapat dari metode pengolahan sistem *constructed wetland* sebagai acuan atau referensi untuk peneliti selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abfertiawan, M.S. 2017. Tumbuhan dalam Sistem *Constructed Wetlands: Typha spp.* dan *Phragmites spp.* Online. <http://gesi.co.id>. Ganeca Environmental Services. Diakses pada Februari 2020.
- Abdulgani, H., Munifatul I., 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.
- Abidi, S., Hamali K., Naceur J., Olfa B., dan Abdennaceur H. 2009. Comparative Pilot Study Of The Performances Of Two Constructed Wetland Wastewater Treatment Hybrid Systems. *Desalination*. 246(1): 370-377.
- Ainsworth, R. 2004. *Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality In Piped Distribution Systems*. London : World Health Organization (WHO) by IWA Publishing.
- Al Kholif, M., Pungut, Sugito, Joko S., dan Windu S.D. 2020. Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada Constructed Wetland untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(2): 107-115.
- Almuktar, S.A.A.A.N., Suhail N.A. and Miklas S. 2018. Wetlands for Wastewater Treatment and Subsequent Recycling Of Treated Effluent: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(24): 23595-23623.
- Alufasia, R., Jephris G., Ereck C., Phiyani L., Wilson P., and Walter Chingwaru. 2017. Mechanisms of Pathogen Removal by Macrophytes in Constructed Wetlands. *Environmental Technology Reviews*. 6(1): 135-144.
- Asmoro, P., dan Muhammad Al Kholif. 2016. Pemanfaatan Parit Drainase Sebagai Wetland Untuk Mendegradasi Cemaran Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik WAKTU*. 14(1): 8-14.
- Astuti, A. D., Lindu, M., Yanidar, R., dan Kleden, M. M. 2016. Kinerja Subsurface *Constructed Wetland Multylayer Filtration* Tipe Aliran Vertikal Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetivera zozanoides*) Dalam Penyisihan BOD Dan COD Dalam Air Limbah Kantin. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah*. 1(2): 91-108.
- Boutiliera, L., R. Jamiesonb, R. Gordond, C. Laked, and W. Hart. 2009. Adsorption, Sedimentation, And Inactivation Of *E. coli* Within Wastewater Treatment Wetlands. *Water Research*. 43(17): 4370-4380.
- Britton, G. 2005. *Wastewater Microbiology 3rd Ed*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.

- Cronk, J. K. 1996. Constructed Wetlands To Treat Wastewater From Dairy And Swine Operations: A Review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 58(2): 97-114.
- Dallas, S., B.Scheffe dan G.Ho. 2005. Reedbeds For Greywater Treatment Case Study In Santa Elena Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering*. 23(1):55-61.
- Desena, M. 1999. Constructed Wetlands Provide Cost-Effective Treatment For Florida Town. *Water, Environment and Technology*. 11(1): 38-39.
- Diaz, F.J., Anthony T. O'Geen, and Randy A.D. 2010. Efficacy of Constructed Wetlands for Removal of Bacterial Contamination From Agricultural Return Flows. *Agricultural Water Management*. 97(11): 1813-1821.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisisus.
- Endarko, Triswantoro P., Nike I.N., Nuning A., Adi W., Agus R., dan Melania S.M. 2013. Rancang Bangun Sistem Penjernihan Dan Dekontaminasi Air Sungai Berbasis Biosand Filter Dan Lampu Ultraviolet. *Berkala Fisika*. 16(3): 75 – 84.
- Erawati, E., dan Ardiansyah F. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbik Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*. 7(2): 58-66.
- Evasari, J. 2012. Pemanfaatan Lahan Basah Buatan Dengan Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* Untuk Mengelola Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia). *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya.
- Gauss, Martin. 2008. *Constructed Wetlands: A Promising Wastewater Treatment System for Small Localities*. Peru: Gráfica Biblos.
- Genisa, M.U., dan Lia A. 2018. Sebaran Spasial Bakteri Koliform di Sungai Musi Bagian Hilir. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*. 35(3): 131-138.
- Gerba, C.P., Thurston, J.A., Falabi, J.A., Watt, P.M., dan Karpiscak, M.M. 1999. Optimization of Artificial Wetland Design for Removal of Indicator Microorganisms And Pathogenic Protozoa. *Water Science and Technology*. 40(1): 363-368.
- Ghimire, A., Ajay Kumar KC dan Bijay T. 2012. Design Approach for Sub Surface Flow Constructed Wetlands. *Hydro Nepal: Journal of Water Energy and Environment*. 10(2012): 42-47.
- Girard F, I. Batisson, J. Harel and J.M. Fairbrother. 2003. *Use of Egg Yolk Derived Immunoglobulins as an Alternative to Antibiotic Treatment for Control of Attaching and Effacing Escherichia coli Infection*. Washington

- D.C. Virginie, USA: 103rd General Meeting of American Society for Microbiology.
- Haberl, R., and Langergraber, H., 2002. *Constructed Wetlands: A Chance To Solve Wastewater Problems In Developing Countries*. Water Science Technology. 40(1):11-17.
- Harahap, F.R. 2016. Pengelolaan Lahan Basah Terkait Semakin Maraknya Kebakaran Dengan Pendekatan Adaptasi Yang Didasarkan Pada Kovensi Ramsar. *Jurnal Society*. 6(2): 39-47.
- Hidayah, E.N., dan Wahyu A. 2010. Potensi Dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem *Constructed Wetland*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2(2): 11-18.
- Irhamni, Setiaty P., Edison P., dan Wirsal H. 2018. Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha latifolia*, Enceng Gondok, Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat. *Serambi Engineering*. 3(2): 344-351.
- Jasper, J.T., Mi T.N., Zackary L.J., Niveen S.I., David L.S., Jonathan O.S., Richard G.L., Alex J. H. and Kara L.N. 2013. Unit Process Wetlands for Removal of Trace Organic Contaminants and Pathogens from Municipal Wastewater Effluents. *Environmental Engineering Science*. 30(8): 421-436.
- Jawetz, E., J.L. Melnick, E.A. Adelberg, G.F. Brooks, J.S. Butel, dan L.N. Ornston. 2007. *Mikrobiologi Kedokteran Edisi ke- 20*. Jakarta: ECG.
- Jimmy, P. 2015. *Efektivitas Sistem Lahan Basah Buatan Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Iris pseudoacorus*. Tanjung Pinang: Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Kadleck, R.H and Knight, R.L. 1996. *Treatment Wetlands*. New York: Lewis Publisher.
- Kadleck, R.H and Wallace, S.D. 2009. *Treatment Wetlands 2nd Edition*. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Kalankesh, L.R., Susana R-C., Yousef D.S., and Hossein Ali Asgarnia. 2019. Removal Efficiency of Nitrate, Phosphate, Fecal and Total Coliforms by Horizontal Subsurface Flow-Constructed Wetland from Domestic Wastewater. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 6(2), 105–111.
- 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.

- Kansiime, F., and J.J.A. van Bruggen. 2001. Distribution And Retention of Faecal Coliforms In The Nakivubo Wetland In Kampala, Uganda. *Water Science and Technology*. 44 (11-12): 199-206.
- Kaswinarni, F. 2007. Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu (Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal, dan Gagak Sipat Boyolali). *Tesis*. Semarang: Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Khiatuddin, M., 2003. *Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kipasika, H.J., J. Buza, W. A. Smith and K.N. Njau. 2016. Removal Capacity Of Faecal Pathogens From Wastewater By Four Wetland Vegetation: *Typha latifolia*, *Cyperus papyrus*, *Cyperus alternifolius* and *Phragmites australis*. *African Journal of Microbiology Research*. 10(19): 654-661.
- Kurniadie, D. 2011. *Teknologi Pengolahan Air limbah Cair secara Biologis*. Bandung: Widya Padjajaran.
- Langergraber, G. 2013. Are Constructed Treatment Wetlands Sustainable Sanitation Solutions ?. *Water Science & Technology*. 67(10): 2133-2140.
- Langlais, B., David A.R., and Deborah R.B. 1991. *Ozone in Water Treatment, Applications and Engineering*. USA: Lewis Publishers, Inc.
- Leady, B., 1997. *Constructed Subsurface Flow Wetlands For Wastewater Treatment*. Indiana: Purdue University.
- LeChevallier, M.W., and Au, K.-K. 2004. *Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency In Achieving Safe Drinking-Water*. London: World Health Organization (WHO) by IWA Publishing.
- Li, F. 2009. *Treatment of Household Grey Water for non-potable Reuses*. Hamburg: Hamburg University of Technology.
- Metcalf dan Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Mburu. C., J. Kipkemboi, and 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.
- Mubin, F., Alex B., dan Fuad H. 2016. Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik..*4(3): 211-223.
- 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., Mohan, D., Dileep, K., Rose, M., and Parambi, R. R. P. 2015. A Study on Effect of Aeration on Domestic Wastewater. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*. 3(2): 10–15.
- Nayono, S.E. 2010. Metode Pengolahan Air Limbah Alternatif Untuk Negara Berkembang. *Inersia*. 6(1): 52-64.
- NCBI. 2020. Toxonomy *Escherichia coli*. Online. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=562>. National Center of Biotechnology Information. Diakses pada September 2020
- Neralla, S., Weaver, R.W., Lesikar, B.J., dan Persyn, R.A. 2000. Improvement Of Domestic Wastewater Quality By Subsurface Flow Constructed Wetlands. *Bioresource Technology*. 75(1): 19-25.
- Ouseph, P.P., Prasanthan,V., Abhilash, P.P. and Udayakuma, P. 2007. Occurrence and Distribution of Some Enteric Bacteria Along The Southern Coast of Kerala. *Indian Journal of Marine Sciences*. 38(1): 97-103.
- Pojar, J., and Andy M. 1994. *Plants of the Pacific Northwest coast: Washington, Oregon, British Columbia and Alaska*. Redmond, WA: Lone Pine Publishing.
- Poniman, A., Nurwadjedi dan Suwahyuono. 2006. Penyediaan Informasi Spasial Lahan Basah Untuk Mendukung Pembangunan Nasional. *Forum Geografi*. 20(2): 120-134.
- Puji dan Nur Rahmi. 2009. Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Lumpur Aktif Proses Anaerob. *Tugas Akhir*. Semarang: Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik.
- Putri, E.S.K. 2019. Persentase Penurunan *Escherichia coli* Pada Sistem *Constructed Wetland* Menggunakan Jenis Tanaman Yang Berbeda. *Skripsi*. Fakultas MIPA. Universitas Sriwijaya.
- Puspita, L., E. Ratnawati, I N. N. Suryadiputra, dan A. A. Meutia. 2005. *Lahan Basah Buatan di Indonesia*. Bogor: Wetlands International-Indonesia Programme.
- Qomariyah, S., AH Ramelan, Sobriyah, and P Setyono. 2017. Use of Macrophyte Plants, Sand & Gravel Materials in Constructed Wetlands for Greywater Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 176(1): 1-6
- Qomariyah, S., Sobriyah, Koosdaryani, dan Adi Y. M. 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. Microbial Population Dynamics In Constructed Wetlands: Review Of Recent Advancements For Wastewater Treatment. *Environmental Engineering Research*. 24(2): 181-190.
- Rahman, A., dan Budi H. 2004. Penyaringan Air Tanah Dengan Zeolit Alami Untuk Menurunkan Kadar Besi Dan Mangan. *Makara, Kesehatan*. 8(1): 1-6.
- Rehman, A., Nasir A., Iffat N., Irum P., dan Safia A. 2020. Effect of Hydraulic Retention Time (HRT) on the Performance of pilot Scale Trickling Filter System Treating Low Strength Domestic Wastewater. *Journal Environment Study*. 29(1): 249-259.
- Saad, M.B., Myriam B.S., Isabel S.S., Olga S., Jordi M., Latifa B. and Ahmed G. 2019. Enhancement Of Rhizocompetence In Pathogenic Bacteria Removal Of A Constructed Wetland System. *Water Science & Technology*. 79(2): 251-259.
- Sari, A.O. 2015. Efektifitas Pengolahan Air Dengan Menggunakan Reaktor Roughing Filter Aliran Horizontal Dalam Menurunkan Kekaruan Dan Kesadahan Air Sungai Brantas. *Skripsi*. Malang: Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.
- Sari, E., Jumiati, dan Martala S. 2016. Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Air Lokal Terhadap Air Lindi (*Leachate*). *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi*. 3(1): 77-89.
- Sastrawijaya, A.T. 2000. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sehar, S., Rabia A., Iffat N., Naeem A., and Safia Ahmed. 2013. Reduction of Contaminants (Physical, Chemical, and Microbial) in Domestic Wastewater through Hybrid Constructed Wetland. *ISRN Microbiology*. 2013: 1-9.
- Sehar, S., Sumera, Sana N., Irum P., Naeem A., and Safia A. 2015. A Comparative Study of Macrophytes Influences On Wastewater Treatment Through Subsurface Flow Hybrid Constructed Wetland. *Ecological Engineering*. 81(1): 62-29.
- Septiawan, M., Sri Mantini R. S. dan Fransiska W.M. 2014. Penurunan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Cattail* Dengan Sistem Constructed Wetland. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 3(1): 22-27.
- Sharma, H.B., dan Pooja R.S. 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.

- Stanković, D. 2017. Constructed Wetlands For Wastewater Treatment. *Gradevinar.* 69(8): 639-652.
- Stefanakis, A.I., and Christos S.A. 2016. *Removal of Pathogenic Bacteria in Constructed Wetlands: Mechanisms And Efficiency.* Switzerland: Springer International Publishing.
- Stevik, T.K., Aa K., Ausland, G., dan Hanssen, J.F. 2004. Retention and Removal of Pathogenic Bacteria In Wastewater Percolating through Porous Media: A Review. *Water Research.* 38(6): 1355-1367.
- Stewart, F.M. Mulholland, Cunningham, Kania & Osterlund. 2008. Floating Islands As An Alternative To Constructed Wetlands For Treatment Of Excess Nutrients From Agricultural And Municipal Wastes – Results Of Laboratory Scale Tests. *Land Contamination & Reclamation.* 16(1): 25-33.
- Stott, R., Jenkins, T., Bahgat, M., dan Shalaby, I. 1999. Capacity of Constructed Wetlands to Remove Parasite Eggs from Wastewaters in Egypt. *Water Science and Technology.* 40(1): 117-123.
- Sugiharto. 2008. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah.* Jakarta: UI Press.
- Sumarno. 2000. *Degradasi Lingkungan Hand Out Kuliah.* Semarang: Magister Ilmu Lingkungan, UNDIP.
- Sungkowo, T.H., Shinta E., dan Ivnaini A. 2015. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Typha latifolia* Dan Eceng Gondok Dengan Metode Fitoremediasi. *JOM FTEKNIK.* 2(2): 1-8.
- Supardi, Gede S., dan Djoko S. 2014. Analisa Hidrolis Sistem Distribusi Air Bersih Di Desa Nogosari Pacitan. *Jurnal Pengabdian LPPM.* 1(1): 11-18.
- Supranto, J. 2000. *Teknik Sampling untuk Survei dan Eksperimen.* PT Rineka Cipta: Jakarta.
- Suprihatin, H. 2014. Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem *Wetland* dengan Tanaman Hias Bintang Air (*Cyperus alternifolius*). *Dinamika Lingkungan Indonesia.* 1(2): 80-87.
- Suryani, S., Rodesia M.R., dan A. Martina. 2014. Seleksi dan Uji Antibakteri Aktinomisetes Asal Tanah Gambut Rimbo Panjang Kampar Riau Terhadap *Escherichia coli* dan *Salmonella typhi*. *JOM FMIPA.* 1(2): 1-11.
- Suswati, A.C.P.S., dan Gunawan W. 2013. Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (*Constructed Wetlands*). *Indonesian Green Technology Journal.* 2(2): 70-77.
- Sutiknowati, L.I. 2016. Bioindikator Pencemar, Bakteri *Escherichia coli*. *Oseana.* 41(4): 63 – 71.

- Tazkiaturrizki, T., Ratnaningsih, R., dan Aphirta,S. 2018. Design Evalution of Biological Unit as a Basic Consideration to Determine the Design Criteria of Domestic Wastewater Treatment Plant at 1st Zone, Jakarta. *Journal Material Science and Engeernering*.4(34): 1-7.
- Tarigan, L.R.W.B, Muharni, dan Marieska V. 2019. Uji Coliform dan Resistensi *Escherichia coli* pada Air Sungai Sekanak dan Baung Kota Palembang Terhadap Beberapa Antibiotik. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2019*: 104-114. Palembang, 21 Maret 2019: Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.
- Tee, H.C., Lim, P.E., Seng, C.E. dan Nawi, M.A. M. 2012. Newly Developed Baffled Subsurface-Flow Constructed Wetland For The Enhancement Of Nitrogen Removal. *Bioresource Technology*. 104 (2012): 235-242.
- Tristyanto, N. 2015. *Uji Bakteriologi MPN Coliform dan Escherichia coli pada Air Baku Kolam Renang di Kota Malang*. Malang: Semesta Anugerah.
- Toet, S., Richard S.P.V.L., Ruud K., Michiel S., and Jos T.A. V. 2005. The Effect of Hydraulic Retention Time on the Removal of Pollutants from Sewage Treatment Plant Effluent In A Surface-Flow Wetland System. *Wetlands*. 25(2): 375–391.
- U.S. EPA. 1999. *Constructed Wetlands Treatment Of Municipal Wastewaters (EPA/625/R-99/010)*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development.
- UN-HABITAT. 2008. *Constructed Wetlands Manual*. Kathmandu: UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal.
- USDA, NRCS 2020. The PLANTS database. *Online*. <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=TYAN>. National Plant Data Center, Baton Rouge, Louisiana. Diakses pada Februari 2020.
- U.S. EPA. 2000. *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA 625/R-99/010*. USA: U.S. Environmental Protection Agency.
- Vallejos, G.G, C. Ponce-Caballero and P. Champagne. 2015. Pathogen Removal From Domestic And Swine Wastewater By Experimental Constructed Wetlands. *Water Science & Technology*. 71(8): 1263-1270.
- Vymazal, J. 2001. *Types Of Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Their Potential For Nutrient Removal*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers.
- Vymazal, J. 2005. Horizontal Sub-Surface Flow And Hybrid Constructed Wetlands Systems For Wastewater Treatment. *Ecological Engineering*. 25(5): 478-490.
- Vymazal, J. 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*. 2(3): 530-549.

- Vymazal, J. 2011. Plants Used In Constructed Wetlands With Horizontal Subsurface Flow: A Review. *Hydrobiologia*. 674(1): 133-156.
- Vymazal, J. 2013. The Use of Hybrid Constructed Wetlands for Wastewater Treatment with Special Attention to Nitrogen Removal: A Review of a Recent Development. *Water Research*. 47(14): 4795-4811.
- Wand, H., Vacca G., Kuschk p., and Kruger M. 2007. Removal of Bacteria by Filtration in planted and non planted columns. *Water research*. 41(1): 159-167.
- Wang, L.K., Tay, J.H., Lee Tay, S.T., and Hung, Y.T. 2010. *Enviromental Bioengineering Volume 11*. New York: Humana Press.
- Widarusanto. C. 2017. Penggunaan Metode *Wetland* Untuk Meningkatkan Kinerja Ipal Salah Satu Rumah Sakit Di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Widiyanti, N. L. P. M., dan Ristiati, N. P. 2004. Analisis Kualitatif Bakteri *Coliform* pada Depo Air Minum Isi Ulang di Kota Singaraja Bali. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. 3 (1) : 64 –73.
- Widyati, E. 2013. Memahami Interaksi Tanaman – Mikroba. *Tekno Hutan Tanaman*. 6(1): 13-20.
- Wimbaningrum, R., Indriana A., dan Hari S. 2020. Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia* L.) di Lahan Basah Buatan Dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat Pada Air Limbah Industri Laundry. *Berkala Sainstek*. 8(1): 25-28.
- Wu, S., P. N. Carvalho, J. A. Müller, V. R. Manoj, and 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.