

TA/TL/2022/1428

TUGAS AKHIR
POTENSI TANAMAN PANGAN DAN BAKTERI
ENDOFIT *INDIGENOUS* UNTUK REMEDIASI
GREYWATER* DENGAN SISTEM *FLOATING
TREATMENT WETLAND

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ZAHRA HANANTIA PUTERI
17513129

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022

TUGAS AKHIR
POTENSI TANAMAN PANGAN DAN BAKTERI
ENDOFIT *INDIGENOUS* UNTUK REMEDIASI
GREYWATER* DENGAN SISTEM *FLOATING
TREATMENT WETLAND

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ZAHRA HANANTIA PUTERI
17513129

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr.,
Ph.D.
NIK. 185130401
Tanggal: 13 Januari 2022

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
NIK. 165131306
Tanggal: 13 Januari 2022

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswono, S.T., M.Sc., ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 14 Februari 2022

HALAMAN PENGESAHAN*

**POTENSI TANAMAN PANGAN DAN BAKTERI
ENDOFIT INDIGENOUS UNTUK REMEDIASI
GREYWATER DENGAN SISTEM FLOATING
TREATMENT WETLAND**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 13 Januari 2022

Disusun Oleh:

**ZAHRA HANANTIA PUTERI
17513129**

Tim Penguji :

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

()

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

()

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,



Zahra Hanantia Puteri

NIM: 17513129

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2021 ini ialah Potensi Tanaman Pangan dan Bakteri Endofit *Indigenous* Untuk Remediasi *Greywater* Dengan Sistem *Floating Treatment Wetland*.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku pembimbing 1 dan 2 yang telah membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan tugas akhir, serta Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D yang telah banyak memberi masukan dan saran. Di samping itu, penulis ucapkan banyak terima kasih kepada orang tua dan keluarga atas doa dan nasihat yang selalu diberikan, serta Tim Laboran Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII, staff akademik yang sudah membantu dalam proses administrasi, dan teman-teman Leale yang senantiasa membantu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari dalam laporan ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dalam kelengkapan penulisan laporan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 15 Desember 2021

Zahra Hanantia Puteri



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ZAHRA HANANTIA PUTERI. Potensi Tanaman Pangan dan Bakteri Endofit *Indigenous* Untuk Remediasi *Greywater* dengan Sistem *Floating Treatment Wetland*. Dibimbing oleh Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Greywater yang masuk ke dalam perairan mengandung senyawa organik dan anorganik dengan konsentrasi yang tinggi yang dapat menurunkan kualitas air dan terganggunya proses purifikasi alami perairan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengolah *greywater* yaitu menggunakan metode *Floating Treatment Wetland* dengan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan sawi (*Brassica juncea L.*). Tingkat efisiensi FTW dapat ditingkatkan dengan penggunaan konsorsium 3 jenis bakteri endofit *indigenous*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kemampuan tanaman kangkung dan sawi dan pengaruh bakteri endofit *indigenous* dalam memproduksi biomassa dan penurunan senyawa organik dan anorganik air limbah. Parameter yang dianalisa adalah kualitas air, populasi bakteri dalam air limbah, dan kelangsungan hidup tanaman (*survival rate*) selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil efisiensi penyisihan parameter COD, fosfat, surfaktan, EC, dan pH pada kedua jenis tanaman dengan penambahan bakteri endofit *indigenous* tidak jauh berbeda dengan kolam kontrol tanaman tanpa bakteri. Pengaruh bakteri endofit *indigenous* pada kedua jenis tanaman tidak memberikan keuntungan dalam meningkatkan biomassa. Disarankan penelitian lebih lanjut dalam pemilihan tanaman dan bakteri endofit *indigenous* untuk remediasi *greywater* skala besar.

Kata kunci: Bakteri endofit *indigenous*, *Brassica juncea L.*, *Ipomoea aquatica*, *Floating Treatment Wetland*, *Greywater*.

ABSTRACT

ZAHRA HANANTIA PUTERI. *Potential of Food Crops and Indigenous Endophytic Bacteria for Remediation Greywater Using Floating Treatment Wetland System. Supervised by Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.*

*Greywater in water bodies contains high concentration of organic and inorganic compounds that can degrade water quality and interfere with natural purification process of the waters. One of the effort can be made to treat greywater is using Floating Treatment Wetland method with water spinach (*Ipomoea aquatica*) and mustard green (*Brassica juncea L.*). The efficiency of FTW can be increased by using a consortium of 3 types of indigenous endophytic bacteria. The aim of this study is to analyze the ability of water spinach and green mustard and the influence of inoculation of indigenous endophytic bacteria in producing biomass and reducing organic and inorganic compounds in greywater. Parameters analyzed are water quality, bacterial population, and plant survival (survival rate) for 4 weeks. Based on the results of this study that the efficiency removal of COD, phosphate, surfactant, EC, and pH parameters in both types of plants with the addition of indigenous endophytic bacteria were not much different from the control plants without bacteria. The effect of indigenous endophytic bacteria on the two types of plants did not provide benefits in increasing biomass. Further research is suggested for the selection of right plant and indigenous endophytic bacteria for the efficient remediation of greywater at large scale.*

Keywords: *Brassica juncea L., Ipomoea aquatica, Greywater, Floating Treatment Wetland, Indigenous endophytic bacteria.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Greywater</i>	5
2.2 Tanaman Sawi (<i>Brassica juncea L.</i>) dan Kangkung (<i>Ipomoea aquatica</i>)	7
2.3 Penerapan <i>Floating Treatment Wetlands</i> dengan Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	8
2.4 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	13
3.2 Tahap Penelitian	13
3.2 Prosedur Penelitian.....	15
3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan	15
3.2.2 Persiapan <i>Wetland</i>	16
3.2.3 Penyemaian dan Aklimatisasi Tanaman	20
3.2.4 Persiapan Isolat Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	16
3.2.5 Inokulasi Bakteri Endofit <i>Indigenous</i> ke <i>Wetland</i>	21
3.2.6 Proses Pengambilan Sampel Air Limbah.....	20
3.2.7 Pemanenan Tanaman.....	23
3.3 Analisis Data	24
3.3.1 Analisis Air Limbah	24
3.3.2 Analisis <i>Optical Density</i> (OD)	26
3.3.3 Analisis pada Tanaman	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Kondisi Lingkungan	28
4.2 Identifikasi Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	30
4.3 Hasil Pengujian Awal Air Limbah dan Populasi Bakteri (<i>Initial</i>).....	34
4.4 Pengaruh Inokulasi Konsorsium Bakteri Endofit <i>Indigenous</i> terhadap Pertumbuhan Tanaman.....	35
4.4.1 Tinggi Tanaman, Jumlah dan Lebar Daun.....	35
4.4.2 Panjang Akar Tanaman.....	39
4.4.3 <i>Survival Rate</i>	40
4.4.4 Biomassa Tanaman	42
4.4.5 Kadar Fosfat pada Jaringan Atas dan Bawah Tanaman.....	44
4.5 Pengaruh Inokulasi Konsorsium Bakteri Endofit <i>Indigenous</i> terhadap Tanaman Agrikultur dan <i>Greywater</i>	45
4.5.1 Populasi Rerata Bakteri Endofit <i>Indigenous</i> Per Minggu	46
4.5.2 Reduksi Parameter <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	48
4.5.3 Reduksi Parameter Fosfat (PO ₄)	50
4.5.4 Reduksi Parameter Surfaktan	53
4.5.5 Pengujian EC (<i>Electrical Conductivity</i>).....	55
4.5.6 Pengujian Derajat Keasaman (pH).....	57
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Simpulan	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	71
RIWAYAT HIDUP.....	88



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3. 1 SNI yang Digunakan.....	23
Tabel 4. 1 Data Suhu Lingkungan Penelitian	28
Tabel 4. 2 Data Kelembaban Lingkungan Penelitian	29
Tabel 4. 3 Kode Isolat Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	31
Tabel 4. 4 Morfologi Makroskopis Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	32
Tabel 4. 5 Morfologi Mikroskopis Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	33
Tabel 4. 6 Nilai Absorbansi Isolat Bakteri Endofit <i>Indigenous</i>	34
Tabel 4. 7 Hasil Data <i>Initial</i> Air Limbah.....	34
Tabel 4. 8 Hasil Data <i>Initial</i> Populasi Bakteri Air Limbah	34
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Fosfat pada Jaringan Tanaman	44
Tabel 4. 10 Jumlah Rerata Populasi Bakteri Endofit <i>Indigenous</i> Per Minggu	46
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Air Parameter COD	48
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Air Parameter Fosfat	51
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Air Parameter Surfaktan.....	53
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian EC Air Limbah Tiap Minggu	55
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Kadar pH Tiap Minggu	57



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian	14
Gambar 3. 2 Lokasi Sampling Tanah	16
Gambar 3. 3 Desain Kolam Terpal Tampak Atas.....	18
Gambar 3. 4 Desain Kolam Terpal Tampak Depan.....	18
Gambar 3. 5 Desain Kolam Terpal Tampak Samping.....	19
Gambar 3. 6 Desain Kolam Terpal Potongan A-A.....	19
Gambar 3. 7 Desain Kolam Terpal Potongan B-B	19
Gambar 3. 8 Desain Bak Kontrol Air	20
Gambar 3. 9 Bagan Perlakuan Tiap Kolam <i>Wetland</i>	21
Gambar 4. 1 Grafik Suhu Lingkungan.....	28
Gambar 4. 2 Grafik Kelembaban Lingkungan.....	30
Gambar 4. 3 Grafik Rerata Tinggi Tanaman Kangkung	35
Gambar 4. 4 Grafik Rerata Jumlah Daun Tanaman Kangkung	36
Gambar 4. 5 Grafik Rerata Tinggi Tanaman Sawi	37
Gambar 4. 6 Grafik Rerata Jumlah Daun Tanaman Sawi.....	38
Gambar 4. 7 Grafik Rerata Panjang Akar Tanaman Kangkung	39
Gambar 4. 8 Grafik Rerata Panjang Akar Tanaman Sawi	39
Gambar 4. 9 Grafik Survival Rate Tanaman Kangkung.....	41
Gambar 4. 10 Grafik Survival Rate Tanaman Sawi	41
Gambar 4. 11 Grafik Biomassa Tanaman Kangkung.....	42
Gambar 4. 12 Grafik Biomassa Tanaman Sawi.....	43
Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi Fosfat pada Tanaman Kangkung	44
Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi Fosfat pada Tanaman Sawi.....	45
Gambar 4. 15 Grafik Populasi Bakteri Endofit Indigenous Per Minggu.....	46
Gambar 4. 16 Grafik Persentase <i>Removal</i> COD Tiap Kolam.....	48
Gambar 4. 17 Grafik Konsentrasi Air Parameter COD	49
Gambar 4. 18 Grafik Persentase <i>Removal</i> Fosfat	51
Gambar 4. 19 Grafik Konsentrasi Air Parameter Fosfat	52
Gambar 4. 20 Grafik Persentase <i>Removal</i> Surfaktan.....	54
Gambar 4. 21 Grafik Konsentrasi Air Parameter Surfaktan.....	54

Gambar 4. 22 Grafik Kadar EC Air Limbah Tanaman Kangkung.....	55
Gambar 4. 23 Grafik Kadar EC Air Limbah Tanaman Sawi.....	56
Gambar 4. 24 Grafik Kadar pH Air Limbah Tanaman Kangkung	57
Gambar 4. 25 Grafik Kadar pH Air Limbah Tanaman Sawi.....	58



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Isolasi Bakteri Endofit <i>Indigenus</i>	71
Lampiran 2 Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri	72
Lampiran 3 Pengujian OD Isolat Bakteri Endofit <i>Indigenus</i>	74
Lampiran 4 Perhitungan Populasi Bakteri Per Minggu	74
Lampiran 5 Pengujian COD	75
Lampiran 6 Pengujian Fosfat	75
Lampiran 7 Pengujian Surfaktan	76
Lampiran 8 Dokumentasi Lapangan dan Pengujian Sampel	77
Lampiran 9 Foto Pengamatan Bakteri	84



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk Indonesia yang semakin pesat berdampak pada tingginya air limbah domestik yang dihasilkan. Kandungan air limbah domestik yaitu 99,9% air yang mengandung minyak/lemak dan kandungan organik lainnya. Selain itu air limbah mengandung fosfat dan surfaktan yang tinggi. Kandungan air limbah domestik bergantung pada jenis dan air yang bercampur dengan limbah (Agbogu *et al*, 2005). Air limbah *greywater* yang berasal dari kegiatan cuci baju, dapur, dan kamar mandi menjadi penyumbang terbesar pencemaran air sungai. Hal ini dikarenakan sebagian masyarakat Indonesia membuang air limbah melalui saluran tanpa pengolahan atau drainase ke saluran perairan (Wirawan, 2014). Masalah pencemaran yang terjadi saat ini di perkotaan yaitu terjadinya penurunan kualitas air sungai dan terganggunya proses purifikasi secara alami. Dampak yang dirasakan yaitu ekosistem perairan terganggu, wabah penyakit, pencemaran badan sungai, dan penurunan daya dukung air permukaan (Supriyatno, 2000). Pemerintah mengeluarkan peraturan mengenai kadar maksimum air limbah di lingkungan untuk badan air berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Pengolahan *greywater* dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologi tergantung pada karakteristik air limbah yang dihasilkan guna menentukan teknologi yang tepat dalam mengolah air limbah (Said dan Firly, 2005). Pengolahan secara biologi dengan bantuan mikroorganisme sering digunakan dalam mengolah air limbah dan mudah dikombinasikan pada kondisi tertentu (Said, 2007). Selain itu, sistem *Floating Treatment Wetland* (FTW) merupakan salah satu sistem *constructed wetland* yang menggunakan *emergent plant*, dimana tanaman yang akarnya mengapung di dalam air dan daunnya muncul di permukaan air.

Akar tanaman di dalam air menyediakan area bagi bakteri untuk tumbuh, penyerapan nutrisi, dan degradasi polutan air limbah melalui zona akar, bunga,

daun, batang, dan kotiledon dengan membentuk lapisan biofilm (Hoffman *et al* 2011). Bakteri endofit *indigenus* adalah sekelompok konsorsium bakteri yang mendiami di dalam dan permukaan tanah yang memiliki potensi besar dalam biodegradasi, *bioleaching*, *biocomposting*, fiksasi nitrogen, meningkatkan kesuburan tanah dan memproduksi hormon pertumbuhan tanaman. Ditemukan bahwa bakteri rhizosfer dapat mensintesis pertumbuhan tanaman, sebagai antibiotik, dan mampu membantu penyerapan fosfor (Kumar *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Fidiastuti *et al.*, (2017), bakteri endofit *indigenus* berpotensi dalam mendegradasi limbah cair pabrik kulit. Konsorsium bakteri *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas pseudomallei*, dan *Actinobacillus sp.* mampu menurunkan kadar TSS 400 mg/L menjadi 293 mg/L, BOD 331 mg/L menjadi 117 mg/L, COD 544 mg/L menjadi 165 mg/L, DO 3,6 mg/L menjadi 19 mg/L, dan lemak 280 mg/L menjadi 0,02 mg/L dalam kurun waktu tujuh hari. Penelitian yang dilakukan oleh Oliveira *et al.*, (2021) mengatakan bahwa penggunaan sistem FTW pada air limbah domestik mampu menghilangkan kontaminan pada BOD $\geq 90\%$, $\text{NH}_4^- \text{N} = 100\%$, $\text{NH}_3^- \text{N} \geq 90\%$, dan $\text{PO}_3^4 \geq 90\%$ dengan menggunakan 2 tanaman yang berbeda jenis.

Berbagai studi terkait aplikasi tanaman dalam sistem *wetland* telah dilakukan oleh para peneliti, salah satunya dengan menggunakan tanaman sayur yaitu sawi (*Brassica juncea L.*) dan kangkung air (*Ipomoea aquatica*) yang memiliki kemampuan dalam mereduksi kontaminan. Mekanisme penyerapan polutan dilakukan di rizofiltrasi dan fitoekstraksi dengan mengabsorpsi polutan ke sekitar akar yang kemudian berpindah menuju bagian tumbuhan lain (Irhamni *et al*, 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Susanawati *et al.*, (2016), penggunaan *greywater* masih memenuhi standar baku mutu memberikan respon positif terhadap pertumbuhan tanaman sawi yang dilakukan secara hidroponik. Oleh karena itu, berbagai penelitian tersebut dapat dijadikan referensi terkait peran bakteri endofit *indigenus* dalam mendegradasi senyawa organik dan anorganik *greywater* menggunakan tanaman agrikultur. FTW ini juga memiliki kelebihan dalam remediasi air limbah skala perkotaan untuk kualitas air sungai atau waduk yang

dapat meningkatkan kualitas air dan memberikan perlindungan bagi makhluk hidup sekitarnya.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan tanaman sawi (*Brassica juncea L.*), kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan pengaruh bakteri endofit *indigenous* dalam memproduksi biomassa untuk menurunkan konsentrasi COD, fosfat, dan surfaktan pada *greywater*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi kemampuan tanaman sawi (*Brassica juncea L.*) dan kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan pengaruh bakteri endofit *indigenous* dalam memproduksi biomassa dan penurunan COD, fosfat, dan surfaktan pada *greywater*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai sumber informasi pengetahuan baik bagi tingkat perguruan tinggi dan masyarakat mengenai potensi tanaman agrikultur dan bakteri endofit *indigenous* dalam mereduksi senyawa organik dan anorganik pada *greywater*.
2. Sebagai opsi penerapan teknologi alternatif dalam pengolahan dan penanganan *greywater* di lingkungan masyarakat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Isolasi bakteri endofit *indigenous* dari tanah saluran pembuangan rumah tangga yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Pengujian parameter COD, surfaktan, suhu, pH, EC (*Electrical Conductivity*), dan kelembaban.
3. Kelangsungan hidup tanaman (*survival rate*).
4. Pengujian fosfat pada jaringan tanaman.
5. Pengamatan dan pelaksanaan penelitian dilakukan skala rumah kaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah (*greywater*)

Air limbah (*greywater*) didefinisikan sebagai air sisa yang telah digunakan dalam kegiatan rumah tangga yang berasal dari kegiatan dapur, kamar mandi (mandi, pancuran), dan cuci baju yang memiliki volume air limbah lebih besar dibanding limbah tinja. Hal ini didasarkan pada konsumsi air bersih di Indonesia sebanyak 144 liter per orang per hari dengan pemakaian terbanyak sebesar 65 liter per orang per hari untuk kebutuhan mandi (Suoth *et al*, 2018). Komposisi air limbah (*greywater*) yang dihasilkan bervariasi bergantung pada penggunaan air. Pada umumnya, air limbah (*greywater*) mengandung senyawa organik yang tinggi, nitrat dan nitrit, fosfor, surfaktan, hingga senyawa organik xenobiotik (XOC) (Fatta-Kassinou *et al.*, 2011). Dari hasil penelitian Eriksson *et al.*, (2003) dan Aonghusa dan Gray (2002), menemukan obat-obatan, aerosol, produk kesehatan dan kecantikan dalam konsentrasi yang cukup besar yang dapat mempengaruhi kompleksitas komposisi air limbah (*greywater*).

Karakteristik fisik air limbah (*greywater*) meliputi suhu, EC (*Electrical Conductivity*), kekeruhan, padatan terlarut, dan sebagainya. Air limbah (*greywater*) memiliki suhu di rentang 18 – 35°C. Pada suhu yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya pertumbuhan mikroba yang dapat mengakibatkan pengendapan seperti senyawa CaCO₃ dan garam anorganik lainnya menjadi kurang larut. Kandungan padatan terlarut berkisar di rentang 190 – 537 mg/L (Edwan *et al*, 2014; Oteng-Peprah *et al*, 2018). Kadar EC air limbah (*greywater*) berkisar antara 14 – 3000 µS/cm (Ciabatti *et al*, 2009). Kekeruhan air limbah (*greywater*) berkisar antara 19 – 444 NTU dan semakin keruh jika berasal dari aktivitas *laundry* karena adanya bahan tersuspensi (Oteng-Peprah, *et al*, 2018).

Karakteristik kimia air limbah (*greywater*) meliputi BOD, COD, pH, surfaktan, nitrat, fosfat, dan natrium. Kadar pH pada air limbah (*greywater*) berada di rentang 5 – 9 yang mana bergantung pada alkalinitas air. Sebagian besar air

limbah (*greywater*) berasal dari cucian yang memiliki kandungan surfaktan tinggi karena adanya bahan alkali dalam deterjen. Kandungan surfaktan dan fosfat air limbah berasal dari produk deterjen dan desinfektan pakaian dalam mengontrol kesadahan air (Jakobi *et al*, 1987). Kandungan nitrogen berkisar antara 4 – 74 mg/L yang berasal dari kegiatan dapur dan fosfat berkisar 4 – 14 mg/L (Boyjoo *et al*, 2013). Rata-rata rasio BOD₅/COD dalam air limbah (*greywater*) berkisar antara 0,31 – 0,71. Kandungan COD yang tinggi menandakan adanya senyawa xenobiotik (XOC) yang tinggi dimana senyawa organik sintetis ini berasal dari produk yang memiliki bahan kimia seperti pemutih, pelembut, detergen dan produk kecantikan. XOC yang tinggi dapat membahayakan lingkungan dan mudah terakumulasi pada tumbuhan dan hewan (Fatta-Kassinou *et al*, 2011).

Berdasarkan karakteristik air limbah domestik, peningkatan jumlah air limbah (*greywater*) tidak sejalan dengan pelayanan IPAL yang disediakan oleh pemerintah. Sebagian besar air limbah (*greywater*) berakhir ke perairan maupun tanah. Permasalahan yang terjadi saat ini yaitu kurangnya kebutuhan air bersih, hal ini berkaitan dengan kuantitas air yang sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan masyarakat sehingga diperlukan penanganan dan pengolahan secara terpadu. Selain itu, permasalahan yang sering terjadi di sekitar masyarakat yaitu penurunan kualitas air permukaan dan tanah. Sehingga diperlukan pengolahan air limbah yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, upaya pengelolaan pengolahan air limbah untuk menjamin kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya yang meliputi tahap perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan evaluasi. Dalam Peraturan Menteri PUPR No. 4 tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik menyebutkan bahwa diperlukan pengolahan air limbah domestik secara terpadu, efektif, efisien, berwawasan lingkungan, dan berkelanjutan.

2.2 Tanaman Sawi (*Brassica juncea L.*) dan Kangkung (*Ipomoea aquatica*)

Tanaman sawi (*Brassica juncea L.*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*) merupakan kelompok sayuran yang mudah dibudidayakan baik di tanah maupun air dan memiliki banyak manfaat untuk pengobatan. Sawi dapat dibudidayakan di udara panas dan dingin yang memiliki tanah yang gembur dan kaya unsur hara. pH tanah yang ideal bagi pertumbuhan sawi berkisar 6-7 dengan suhu 19-25°C dengan penyinaran yang cukup dan tingkat EC ideal sawi secara hidroponik (*Electrical Conductivity*) direntang 1,74 – 2,29 mS/cm untuk menghasilkan panen yang berkualitas (Istarofah *et al*, 2017; Ifanto, *et al*, 2019). Umur panen sawi sekitar 30 hari dengan bentuk tanaman besar, batang semi buka dan tumbuh memanjang ke atas, memiliki banyak tunas, berwarna hijau, berdaun lebar, dan memiliki biji sebesar kacang polong berwarna coklat kehitaman. Berikut taksonomi sawi.

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Spermatophyta*
Kelas : *Angiospermae*
Sub kelas : *Dicotyledonae*
Ordo : *Papavorales*
Famili : *Brassicaceae*
Genus : *Brassica*
Spesies : *Brassica juncea L.* (Nursafrina, 2021)

Kangkung air memiliki batang berbuku-buku bulat dan panjang yang kaya air, daunnya berbentuk jantung yang runcing dan memiliki warna hijau tua pada permukaan daun atas. Kangkung mampu hidup di daerah tropis dan tidak selektif terhadap unsur hara tertentu sehingga kangkung dapat hidup di kondisi air yang mengandung logam berat sekali pun (Hapsari *et al*, 2018). Kangkung air dapat berbunga, berbuah, dan berbiji berwarna coklat kehitaman. Kangkung memiliki akar tunggang dengan akar yang menyebar dengan panjang 100-150 cm. Berikut taksonomi kangkung air.

Kingdom : *Plantae* (tumbuhan)
Sub kingdom : *Tracheobionta* (tumbuhan berpembuluh)
Divisio : *Spermatophyta/Mahngoliophyta* (tumbuhan berbunga)

Sub divisio : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledoneae*
Sub kelas : *Asteridae*
Ordo : *Solanales*
Famili : *Convolvulaceae*
Genus : *Ipomea*
Spesies : *Ipomea aquatica* (Rukamana, 2006)

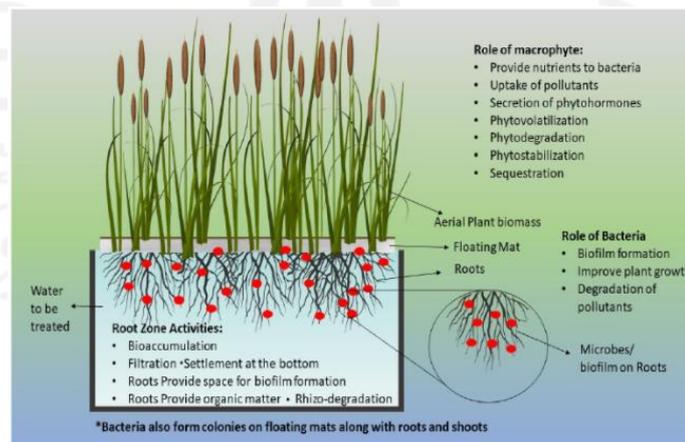
Dalam praktek budidaya sawi dan kangkung di air dapat menggunakan media kerikil, sabut kelapa, arang sekam, gambut, pasir, dan potongan kayu. Proses penanaman meliputi penyemaian bibit, pembuatan media tanam, penanaman, pemeliharaan, dan pemanenan. Pemberian nutrisi juga diperlukan untuk pertumbuhan dan pemberian unsur hara pada tanaman untuk mencegah datangnya hama. Pemberian nutrisi perlu diperhatikan dan diatur konsentrasinya (Istarofah, 2017). Selain itu, baik sawi dan kangkung memiliki peran dalam mereduksi senyawa organik dan anorganik di air limbah. Tanaman sawi memiliki kemampuan proses fitoremediasi dalam mereduksi senyawa organik (Zeremski, *et al*, 2021). Sedangkan tanaman kangkung air mampu mereduksi kandungan TSS sebesar 85,6%, NH₃-N sebesar 97,3%, dan COD sebesar 44,8% pada air limbah domestik (Halim, 2010; Aziz *et al*, 2020).

2.3 Penerapan *Floating Treatment Wetlands* dengan Bakteri Endofit *Indigenous*

Bakteri endofit *indigenous* mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk tanaman inang (Vessey, 2003) dan meningkatkan tanaman memiliki cukup air. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan aerasi ke akar tanaman sehingga terjadi pertukaran gas berlangsung secara efektif dan mencegah erosi tanah. Potensi biodegradasi oleh bakteri endofit *indigenous* dapat dipengaruhi oleh banyak faktor fisik dan kimia seperti suhu, pH, bahan organik, ketersediaan oksigen, ketersediaan nutrisi dan sebagainya (Kumar *et al.*, 2015). Dalam penelitian Pardamean *et al.*, (2021) menyebutkan bahwa bakteri endofit *indigenous* mampu mengurangi konsentrasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana seperti

CO₂, CH₄, H₂, H₂S serta air dan energi untuk proses pertumbuhan dan produksi bakteri.

Floating Treatment Wetlands (FTW) adalah teknologi lahan basah yang menggunakan tanaman dengan media tanam berupa apung buatan, sehingga akar tanaman terendam air yang terkontaminasi dan bagian jaringan atas tanaman (batang dan daun) tetap berada di atas air untuk menyuplai udara. Akar tanaman menyediakan tempat bagi mikroorganisme untuk membentuk lapisan biofilm, membantu proses penyerapan polutan melalui proses filtrasi (Nawaz *et al*, 2020). Bakteri endofit *indigenous* masuk ke dalam jaringan tanaman melalui akar, batang, daun, batang, kotiledon, dan menyebar ke seluruh tanaman. Bakteri endofit *indigenous* hidup berkoloni dan membentuk lapisan biofilm melalui proses proliferasi (*repeating proliferation process*). Lapisan biofilm berada di sekitar akar tanaman yang berfungsi untuk proses biokimia dan proses fisik seperti penyaringan partikulat (Zhang *et al*, 2014). Dalam penelitian Li *et al.*, (2012) menyebutkan bakteri endofit *indigenous* di permukaan akar dan di dalam jaringan tanaman meningkatkan pengangkatan polutan dan pengurangan senyawa organik yang disebabkan adanya aktivitas enzimatik dari proses asimilasi nutrient atau penghilangan polutan dalam bentuk gas seperti CO₂ dan NO₂. Berikut gambar proses hubungan FTW dengan bakteri endofit *indigenous*.



(Sumber: Nawaz *et al*, 2020)

Gambar 2. 1 Skema Penghilangan Polutan dengan *Floating Wetlands* - Bakteri Endofit *Indigenous*

2.4 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu terkait potensi tanaman agrikultur dengan bakteri endofit *indigenous* dalam teknologi *floating wetland* sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian
<i>Bacterial Augmented Floating Treatment Wetlands for Efficient Treatment of Synthetic Textile Dye Wastewater</i>	Neeha Nawaz, Shafaqat Ali, Ghulam Shabir, Muhammad Rizwan, Muhammad Bilal Shakoor, Munazzam Jawad Shahid, Muhammad Afzal, Muhammad Arslan, Abeer Hashem, Elsayed Fathi Abd_Allah. Mohammed Nasser Alyemni, Parvaiz Ahmad (2020)	Kombinasi FTW tanaman <i>Phragmites australis</i> dengan 3 jenis bakteri augmentasi yaitu <i>Acinetobacter junii</i> NT-15, <i>Rhodococcus sp</i> NT-39 dan <i>Pseudomonas indoloxydans</i> NT-38 dapat meningkatkan remediasi 3 jenis air limbah tekstil dengan penambahan 3 pewarna berbeda. Parameter pH menurun menjadi 6,7 dari 8,5, kadar EC menjadi 1 dari 6,13 mS/cm, TDS menjadi 60 mg/L dari 600 mg/L, TSS menjadi 19 mg/L dari 92 mg/L, COD menjadi 30 mg/L dari 310 mg/L, dan BOD menjadi 121 mg/L dari 40 mg/L.
<i>Enhanced Remediation of Sewage Effluent by Endophyte-assisted Floating Treatment Wetlands</i>	Amna Ijaz, Ghulam Shabir, Qaiser M. Khan, Muhammad Afzal (2015)	Tanaman <i>Brachiaria mutica</i> yang diinokulasi dengan 3 jenis bakteri endofit yaitu <i>Acinetobacter sp</i> BRSI56, <i>Bacillus cereus</i> BRSI57, dan <i>Bacillus licheniformis</i> BRSI58 dalam mereduksi limbah cair di Kota Faisalabad, Pakistan. Konsorsium bakteri menunjukkan tingkat efisiensi penyisihan COD, BOD ₅ , N total, PO ₄ lebih tinggi dibandingkan

		mengandalkan tanaman sendiri. Selain itu, bakteri berkolonisasi di akar dan pucuk tanaman.
<i>Phytoremediation of TSS, NH₃-N and COD from Sewage Wastewater by Lemna minor L., Salvinia minima, Ipomea aquatica and Centella asiatica</i>	Nur Izzah Hamna Abdul Aziz, Marlia Mohd Hanafiah, Nasrun Hisyam Halim, Putri Amylin Sofea Fidri (2020)	Tanaman <i>Lemna minor</i> , <i>Salvinia minima</i> , <i>Ipomea aquatica</i> , dan <i>Centella asiatica</i> dipilih dalam penelitian karena toleran terhadap kondisi polusi dan mampu menghilangkan polutan organik dan logam berat. Ditemukan bahwa, <i>Lemna minor</i> , <i>Salvinia minima</i> , <i>Ipomea aquatica</i> dan <i>Centella asiatica</i> mampu menurunkan TSS sebesar 50,8%, 77,6%, 85,6% dan 67,6%, masing-masing; NH ₃ -N masing-masing sebesar 80,4%, 89,9, 97,3% dan 79,1%; dan COD sebesar 75%, 82%, 44,8% dan 36,46%, masing-masing. <i>Ipomea aquatica</i> mampu mereduksi NH ₃ -N lebih efisien dan <i>Salvinia minima</i> lebih efisien dalam menurunkan kadar TSS dan COD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB III

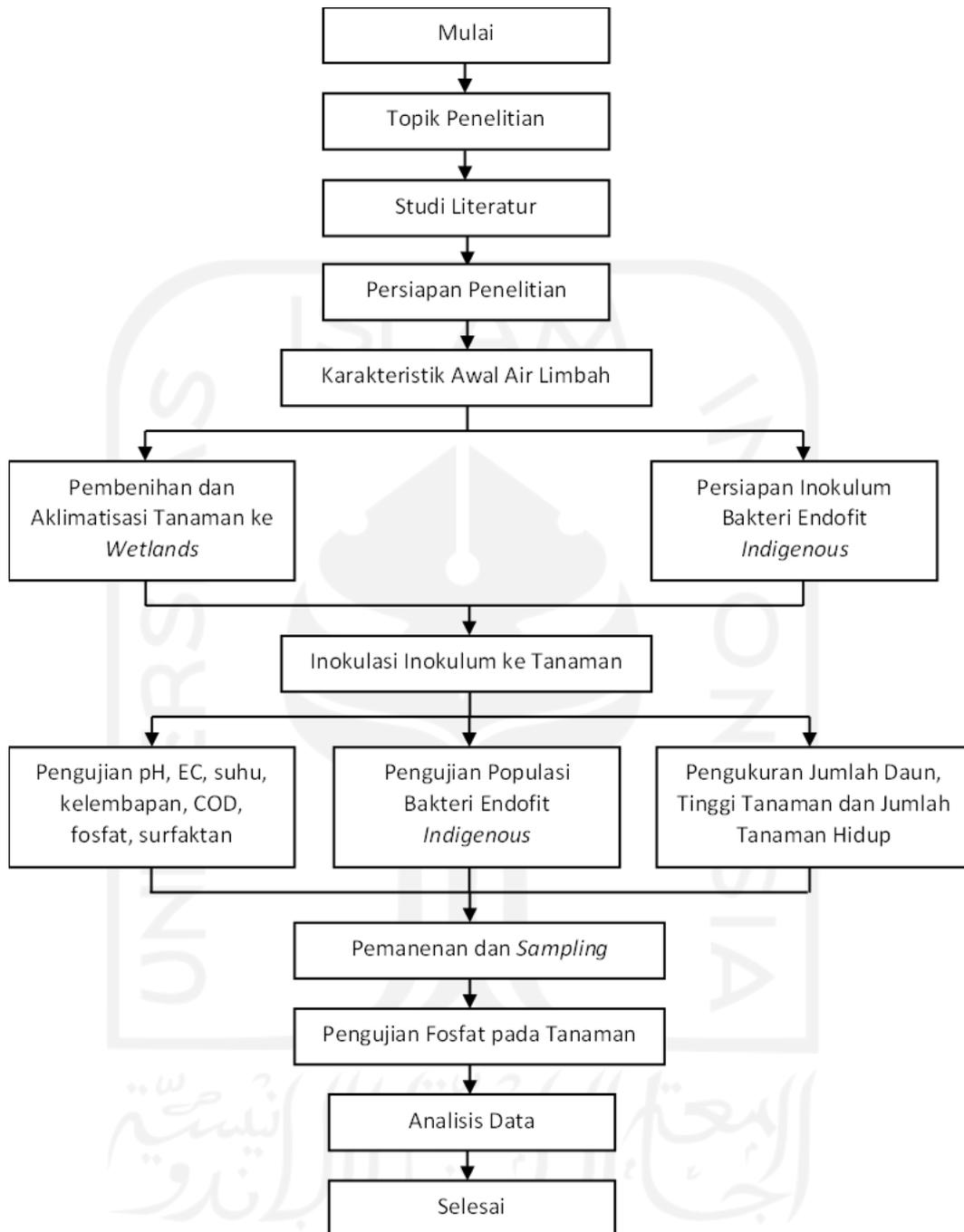
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca yang berlokasi di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman. Laboratorium Kualitas Lingkungan dilakukan untuk menguji kualitas air untuk parameter COD, fosfat, dan surfaktan. Sedangkan Laboratorium Bioteknologi dilakukan untuk kulturisasi dan identifikasi bakteri endofit *indigenous*. Penelitian dilakukan pada bulan Maret 2021.

3.2 Tahap Penelitian

Penelitian dimulai dari penyiapan alat dan bibit tanaman, pembuatan media tanam hingga analisis sampel uji. Adapun variabel penelitian yaitu konsentrasi air limbah yang akan diuji per parameter, media tumbuh bakteri menggunakan *Nutrient Agar* (NA) dan *Nutrient Broth* (NB), isolat bakteri endofit *indigenous*, dan pertumbuhan tanaman. Pengujian kualitas air dilakukan setiap 2 minggu sekali dan pengamatan koloni bakteri dilakukan setiap 1 minggu sekali. Jenis metode penelitian yang digunakan yaitu *active treatment*, adanya penambahan bahan kimia yaitu pupuk KNO_3 . Berikut skema tahap penelitian.



Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan selama penelitian skala rumah kaca yaitu kolam terpal berangka ukuran 1,5 m x 0,5 m x 0,5 m sebagai *wetland* sebanyak 4 buah, kontainer ukuran 35 liter sebanyak 2 buah sebagai wadah kontrol air limbah dan bakteri endofit *indigenous*, lembaran serabut kelapa/*coco fiber* 4 buah sebagai media apung, *rockwool* 72 buah sebagai media tanam, botol plastik bekas, baki sebagai wadah semai tanaman, amplop coklat sebagai tempat menyimpan sampel tanaman ketika panen, penggaris sebagai alat ukur, Eli-tech GSP-6 sebagai alat ukur temperatur dan kelembaban udara atmosfer, dan ORP meter sebagai alat ukur parameter pH dan EC. Alat yang digunakan yang berhubungan dengan mikroorganismes yaitu *orbital shaker*, *waterbath*, OD Spektrofotometer, *laminar air flow*, inkubator, cawan petri, mikropipet, dan *colony counter*. Sedangkan bahan yang digunakan diantaranya air limbah (*greywater*), sampel tanah yang berasal dari saluran pembuangan air milik warga untuk isolat bakteri endofit *indigenous*, bibit sawi dan kangkung (*Brassica juncea L.* dan *Ipomoea aquatica*), pupuk KNO₃ 500 ml untuk nutrisi tanaman, media *Nutrient Agar*, *Nutrient Broth*, dan aquades.

3.2.2 Persiapan Isolat Bakteri Endofit *Indigenus*



Gambar 3. 2 Lokasi Sampling Tanah

Isolat bakteri endofit *indigenus* didapatkan dari sampel tanah yang berasal dari saluran pembuangan air limbah yang ditimbang sebanyak 0,5 gram, 1 gram, dan 2 gram. Kemudian diencerkan ke dalam 10 ml air steril, homogenkan, dan dilakukan pengenceran hingga 10^{-3} . Ambil 1 ml sampel air tersebut dan inokulasikan ke dalam petri bersama media NA hangat dengan teknik tuang (*pour plate*) dan diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 35°C untuk menumbuhkan bakteri sebagai biakan induk. Untuk mendapatkan biakan murni dilakukan dengan mengisolasi bakteri dari biakan induk dengan cara teknik penggoresan (*streak plate technique*) IV kuadran. Untuk mendapatkan biakan murni biasanya dilakukan penggoresan berulang (*re-streaking*). Dalam hal ini menggunakan alat dan bahan yang sudah steril, teknik aseptik diperlukan agar tidak adanya mikroorganisme yang tidak diinginkan masuk ke dalam sampel (kontaminasi) (Sujaya, 2016).

Biakan murni kemudian dilakukan identifikasi morfologi dan pewarnaan sel bakteri menggunakan *metilen blue*, kristal violet, alkohol, dan karbol fuhsin atau safranin. Tujuan dari pewarnaan gram ini yaitu untuk memberikan warna pada bakteri agar sel-selnya terlihat jelas/kontras ketika

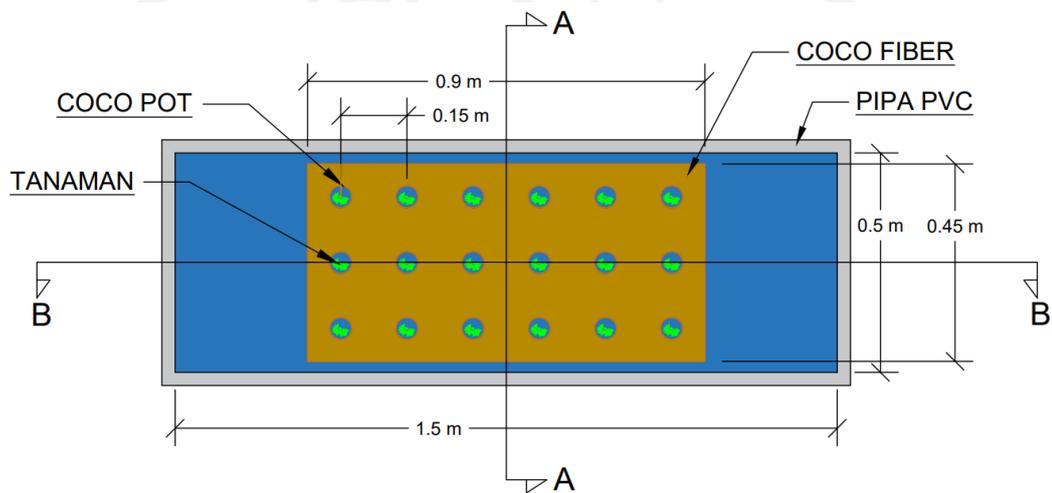
diteliti menggunakan mikroskop. Teknik perwarnaan gram dapat mengidentifikasi bakteri bersifat gram positif atau negatif. Bakteri gram positif yaitu bakteri yang setelah diwarnai dengan kristal violet dan ketika dibilas dengan alkohol tidak hilang, sehingga memunculkan warna violet. Bakteri gram negatif yaitu bakteri yang menyerap pewarna safranin atau karbol fuhsin sehingga terlihat warna merah. (Sujaya, 2016). Identifikasi morfologi bakteri secara makroskopis dengan mengamati karakteristik bakteri koloni pada lempeng agar meliputi bentuk koloni, ukuran koloni, pinggiran (*margin*), peninggian/elevasi, warna koloni, dan permukaan koloni. Sedangkan identifikasi morfologi secara mikroskopis dilakukan melalui pengamatan mikroskop dengan melihat apakah bentuk bakteri tersebut bulat/kokus, batang/basil, dan spiral/spirillum (Putri *et al.*, 2017). Kemudian dilakukan kulturisasi di media NB, sebagian digunakan untuk diukur kekeruhannya menggunakan spektrofotometer untuk mendapatkan nilai OD (*Optical Density*) dan sebagian digunakan untuk inokulasi ke *wetland*. Jumlah isolat yang digunakan sebanyak 3 isolat bakteri endofit *indigenous*.

3.2.3 Desain Wetland

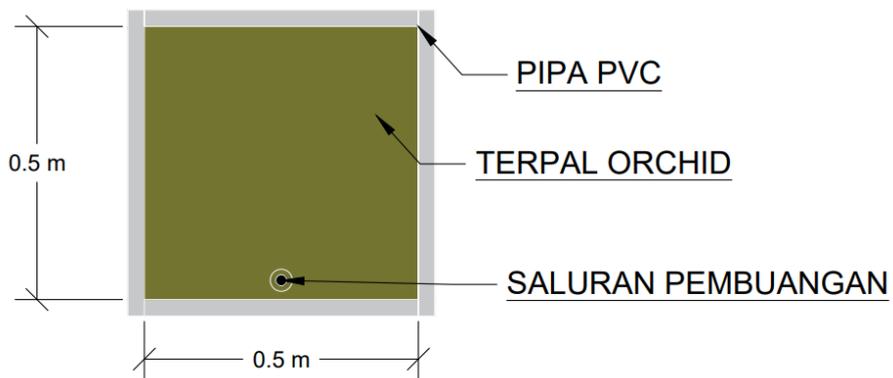
Kolam *wetland* yang digunakan berupa kolam terpal yang terbuat dari bahan orchid tebal dengan rangka pipa PVC di tiap sisi kolam terpal. Rangka pipa PVC digunakan untuk menopang bentuk kolam terpal agar kokoh. Kelebihan dari pipa PVC yaitu ketika pemasangan dan pembongkaran rangka pipa lebih mudah karena tidak menggunakan lem perekat.

Dimensi yang digunakan pada kolam terpal dengan rangka pipa yaitu panjang 1,5 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,5 m dengan ketinggian air limbah pada kolam yaitu 0,35 m. Sedangkan dimensi pada bak kontrol air limbah yaitu panjang 0,5 m, lebar 0,35 m, dan tinggi 0,2 m dengan ketinggian air limbah pada bak yaitu 0,2 m. Pemilihan warna gelap pada kolam terpal dan bak kontainer diperlukan guna mencegah terkena sinar matahari secara langsung. Media apung yang digunakan berupa lembaran tipis serabut kelapa atau *coco fiber* yang sudah dianyam dengan panjang 1,5 m, lebar 0,45 m, dan ketebalan

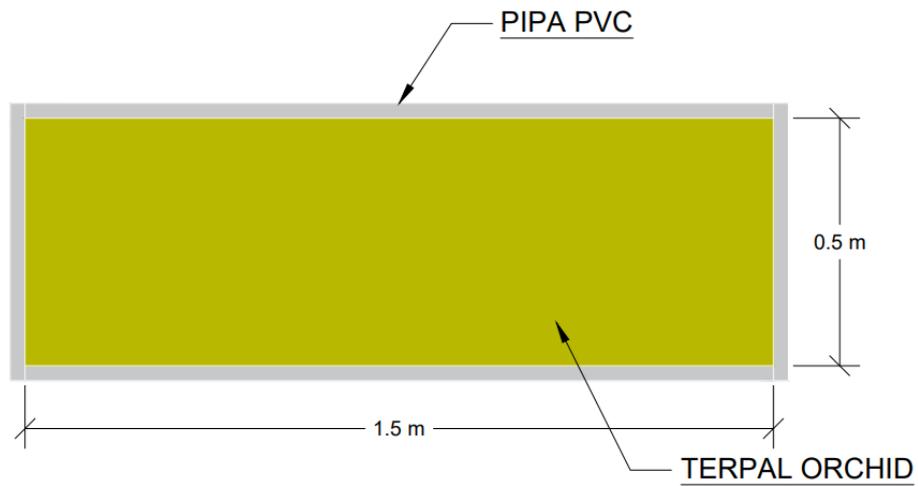
0,01 m. Penambahan *coco pot* diperlukan untuk tempat menyimpan tanaman ketika dipindahkan ke kolam *wetland*. Untuk 1 kolam terpal dibutuhkan 1 lembar serabut kelapa yang sudah diberi botol plastik sebagai pelampung agar tidak mudah jatuh ke dasar kolam terpal. 1 lembar serabut kelapa diberi lubang sebanyak 18 buah dengan jarak antar lubang 15 cm sebagai tempat media tumbuh tanaman. Berikut desain kolam terpal dan bak kontainer.



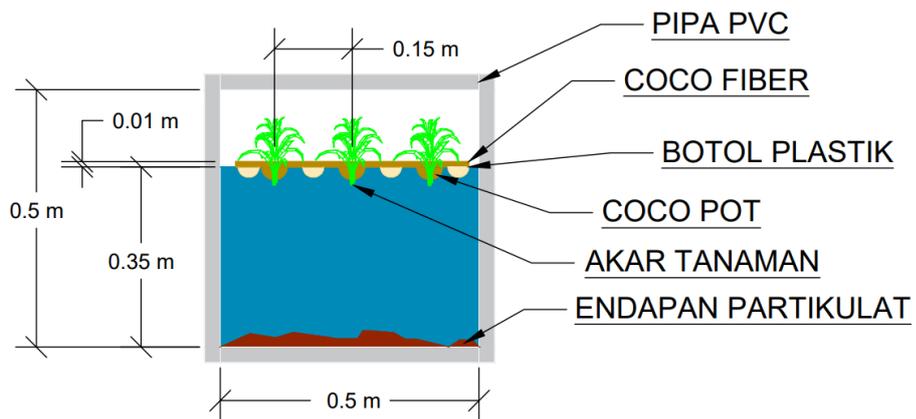
Gambar 3. 3 Desain Kolam Terpal Tampak Atas



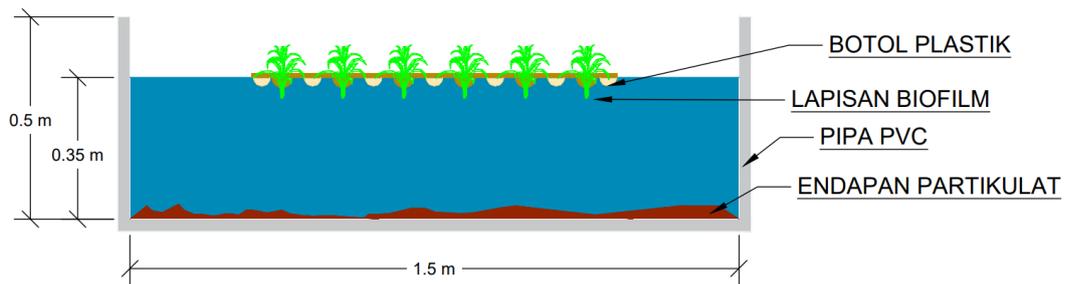
Gambar 3. 4 Desain Kolam Terpal Tampak Depan



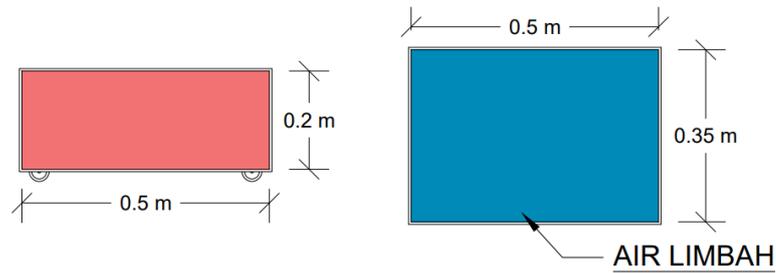
Gambar 3. 5 Desain Kolam Terpal Tampak Samping



Gambar 3. 6 Desain Kolam Terpal Potongan A-A



Gambar 3. 7 Desain Kolam Terpal Potongan B-B



TAMPAK DEPAN TAMPAK ATAS

Gambar 3. 8 Desain Bak Kontrol Air

3.2.4 Penyemaian dan Aklimatisasi Tanaman

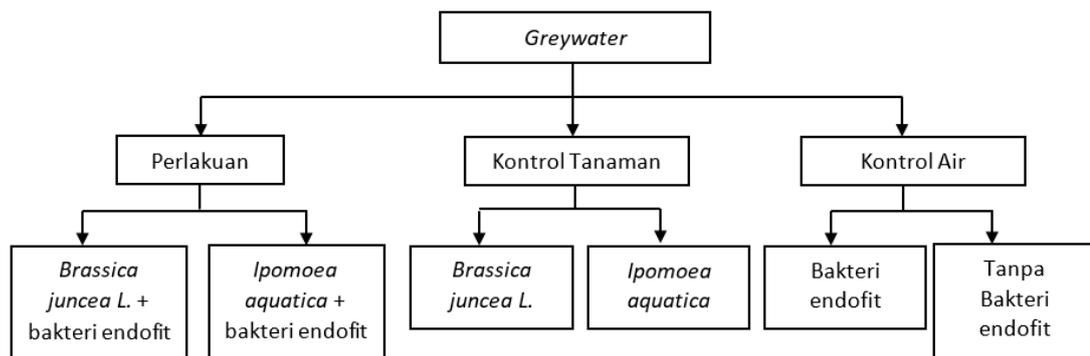
Penyemaian biji menggunakan *rockwool* berukuran dadu. Penyemaian berlangsung sekitar 7 hari hingga muncul kecambah, simpan di bawah sinar matahari yang cukup. Penyiraman nutrisi dilakukan 2 hari sekali dengan konsentrasi 250-800 mg/L secara bertahap hingga *rockwool* lembab. Nutrisi yang digunakan berupa pupuk AB mix organik yang mengandung unsur hara lengkap. Pindahkan semai ke kolam dilakukan ketika memiliki 3-4 helai daun dan memiliki batang yang kokoh. Aklimatisasi tanaman dilakukan sebagai penyesuaian (adaptasi) tanaman ketika dipindahkan ke lingkungan baru selama 3 hari.

3.2.5 Running Wetland

Limbah *greywater* yang digunakan berasal dari air limbah cuci baju, cuci dapur, dan kamar mandi. Pengumpulan air limbah dilakukan sejak tanggal 25 Februari 2021 yang kemudian ditampung dan dihomogenkan dalam kolam *wetland*. Adapun konsentrasi air limbah yang digunakan yaitu 100% (tanpa ada penambahan pengenceran/air). Dalam operasional kolam *wetland* berlangsung selama 4 minggu dan tanpa penambahan *greywater* ke dalam kolam selama penelitian berlangsung. Penelitian ini dimulai sejak tanggal 13 September – 11 Oktober 2021 setelah aklimatisasi selama 3 hari.

Dalam penelitian ini terdapat 6 perlakuan yang diberikan, yaitu 4 kolam pada terpal orchid diberi tanaman *Brassica juncea L.* dan *Ipomoea aquatica* dan 2 buah menggunakan bak kontrol kontainer plastik 35 liter

sebagai kontrol air. Bak kontrol digunakan sebagai pembanding air limbah untuk mengetahui adanya perubahan pada air kolam yang diteliti. Untuk 1 kolam kontainer dibutuhkan air limbah sebanyak 247,5 liter dengan ketinggian air 35 cm dari dasar kolam terpal sedangkan untuk 1 bak kontainer dibutuhkan air limbah sebanyak 35 liter dengan ketinggian air 20 cm dari dasar bak. Berikut tabel di bawah ini mengenai perlakuan tiap kolam dalam penelitian ini.



Gambar 3. 9 Bagan Perlakuan Tiap Kolam *Wetland*

Inokulasi bakteri endofit *indigenous* dilakukan 3 kali setelah aklimatisasi. Inokulasi 2 isolat bakteri endofit *indigenous* dilakukan pada tanggal 12 September 2021 dan 1 isolat bakteri pada tanggal 18 September 2021. Banyaknya volume isolat bakteri yang diinokulasikan ke *wetland* dijelaskan pada sub bab 3.2.6. Pengambilan sampel air limbah dilakukan untuk menguji populasi bakteri tiap minggu dan kualitas air tiap 2 minggu sekali. Teknik *sampling* dijelaskan pada sub bab 3.2.7.

3.2.6 Inokulasi Bakteri Endofit *Indigenous* ke *Wetland*

Hasil dari kulturisasi bakteri di media NB dilakukan inokulasi atau memindahkan isolat murni ke *wetland* dan bak kontrol. Proses inokulasi bakteri untuk 1 kolam *wetland* dan bak kontrol yaitu tiap 5 liter air limbah/2 ml/isolat sehingga total yang diinjeksikan yaitu 99 ml/isolat/kolam *wetland* dan tiap-tiap lubang serabut kelapa diinjeksikan sebanyak 1 ml/isolat/lubang. Total yang diinjeksikan ke bak kontrol sebanyak 14 ml/isolat/bak kontrol. Inokulasi bakteri dipusatkan pada air limbah dan akar tanaman dan dilakukan seminggu

sekali untuk pengecekan jumlah koloni bakteri. Konsorsium bakteri bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam penurunan senyawa organik air limbah (Handayani, 2015).

3.2.7 Proses Pengambilan Sampel Air Limbah

Pengambilan sampel air limbah dilakukan untuk pengujian karakteristik awal, tengah, dan akhir dan perhitungan populasi bakteri dengan metode *grab sampling*. *Grab sampling* adalah pengambilan sampel yang diambil langsung dari sumber yang diteliti sehingga menggambarkan karakteristik air sebenarnya (Ali *et al.*, 2013). Pengambilan sampel air limbah awal dilakukan pada tanggal 8 September 2021 sedangkan tengah dan akhir dilakukan tiap 2 minggu sekali. Teknik pengambilan sampel mengacu pada SNI sesuai dengan parameter yang akan diteliti. Pengambilan sampel untuk populasi bakteri dilakukan tiap 1 minggu sekali menggunakan botol kaca vial ukuran 100 ml. Hasil *sampling* kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Berikut SNI yang digunakan dalam pengambilan sampel air limbah.

Tabel 3. 1 SNI yang Digunakan

Parameter	Referensi	Proses <i>Sampling</i>	Unit
COD	SNI 6989.73:2019	Sampel dimasukkan ke dalam jerigen HDPE dan diberi larutan H ₂ SO ₄ pekat hingga pH<2 dan simpan dalam kulkas suhu 4°C.	mg/L
Fosfat	SNI 6989.31:2005	Sampel dimasukkan ke dalam jerigen HDPE dan simpan dalam kulkas suhu 4°C.	mg/L
Surfaktan	SNI 6989.51:2005	Sampel dimasukkan ke dalam jerigen HDPE dan simpan dalam kulkas suhu 4°C.	ug/L
pH	SNI 6989.11:2019	Menggunakan alat ORP meter yang berisikan pH meter, dengan cara mencelupkan elektroda ke dalam sampel air limbah.	-
Suhu dan kelembaban	-	Menggunakan alat Eli-Tech GPS 6. Simpan alat sensor pada ketinggian 1 meter di atas permukaan tanah. Pengukuran tiap 1 minggu.	°C dan %
EC	SNI 6989.1:2019	Menggunakan alat ORP meter, dengan mencelupkan elektroda sensor ke dalam sampel air limbah.	mS/cm

3.2.8 Pemanenan Tanaman

Masa panen dilakukan ketika tanaman berumur 42 hari. Pemanenan dilakukan dengan memisahkan tanaman dengan serabut kelapa dan *rockwool* lalu dicuci bersih dengan air mengalir. Pemisahan jaringan atas (batang dan daun) dan bawah (akar) dilakukan dengan memotong kira-kira 1 cm di atas akar dan ditimbang masing-masing sebagai berat basah. Sampel tanaman disimpan di amplop coklat, diberi kode sampel, dan dikeringkan agar tidak lembab. Sampel tanaman dibawa ke laboratorium untuk keringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 3 hari hingga kering (Sarif *et al.*, 2015). Kemudian ditimbang dengan timbangan analitik dengan tingkat ketelitian 0,0001 gram sebagai berat kering. Hasil data berat kering dan basah digunakan untuk data *biomass* dan tanaman digunakan untuk pengujian fosfat pada jaringan tanaman.

3.3 Analisis Data

3.3.1 Analisis Air Limbah

Proses pengujian sampel air limbah terdapat pada Lampiran. Berikut proses analisis air limbah.

1. COD

Pengujian parameter COD mengacu pada SNI 6989.73:2019 untuk mengetahui kebutuhan oksigen kimiawi pada air menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm untuk nilai COD kisaran 100-900 mg/L dan 40 nm untuk ≤ 90 mg/L. Sampel dilakukan pengawetan H_2SO_4 hingga $pH < 2$ dan disimpan di kulkas, sampel awet selama 7 hari. Pembacaan kadar COD menggunakan kuvet atau tabung kultur ukuran 16x100 nm.

2. Fosfat

Pengujian parameter fosfat mengacu pada SNI 6989.31:2005 menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 880 nm dengan nilai fosfat pada kisaran 0,01-1,0 mg P/L. Sampel bisa langsung diuji atau disimpan di kulkas awet selama 2 hari. Jika warna sampel berwarna biru tua artinya kadar fosfat terlalu tinggi sehingga diperlukan pengenceran.

3. Surfaktan

Pengujian parameter surfaktan mengacu pada SNI 6989.51:2005 menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 652 nm dengan nilai fosfat pada kisaran 0,025-2,0 mg/L. Sampel langsung diuji dan awet selama 2 hari di dalam kulkas. Prinsipnya yaitu sampel yang mengandung surfaktan akan mengikat *metilen blue* dan membentuk ion berwarna biru dalam pelarut organik.

4. pH dan EC

Pengukuran pH dan EC menggunakan alat ORP meter dengan memasukkan sensor elektroda ke dalam air limbah hingga angka yang tertera pada layar stabil. Prinsip kerja alat yaitu adanya interaksi elektro-

kimia pada gelembung kaca dengan ion hidrogen yang terjadi antara elektroda dengan larutan sampel yang akan memberikan tegangan dari kadar ion H^+ dalam larutan (Fajrin *et al.*, 2020). Larutan berpH asam jika larutan banyak mengandung elektron pada sampel dan sebaliknya (Sitorus, 2017). Sedangkan pada pengukuran EC, semakin banyak ion dalam larutan sampel berbanding lurus dengan daya hantar listrik. Pengukuran EC berkaitan dengan kadar garam/salinitas yang terkandung yang dinyatakan dalam mS/cm atau μ S/cm (Ulfah, 2018).

5. Suhu dan Kelembaban

Pengukuran suhu dan kelembaban lingkungan menggunakan alat Eli-Tech GPS 6 yang dilengkapi sensor, kemudian disalin di aplikasi *software*. Pengambilan data diatur tiap 15 menit selama 1 minggu sampai masa panen. Rentang pengukuran suhu $-40^{\circ}C - 85^{\circ}C$ dengan akurasi suhu $\pm 0,5^{\circ}C$ ($-20^{\circ}C - 40^{\circ}C$) dan kisaran kelembaban 10-90% dengan akurasi kelembaban $\pm 3\%$ RH ($25^{\circ}C$, 20-90% RH). Data akan dikonversi dalam bentuk grafik batang atau tabel.

6. Populasi bakteri

Perhitungan populasi bakteri dilakukan pada karakteristik awal air limbah dan populasi bakteri per minggu-masa panen. Analisis yang digunakan yaitu *total plate count*/TPC, jumlah koloni yang muncul pada cawan petri akan dihitung jumlahnya dengan mengalikan faktor pengenceran. Semakin tinggi faktor pengenceran maka kepadatan koloni semakin kecil (Seniati *et al.*, 2019). Cawan yang dihitung yaitu cawan yang mengandung sebanyak 30-300 koloni. Hasil data tersebut disajikan dalam rerata koloni per minggu pada grafik batang. Metode yang digunakan yaitu teknik tuang (*pour plate*) ke cawan petri yang disajikan dalam bentuk *flowchart* dalam Lampiran.

Larutan standar diperlukan sebagai titran untuk mengetahui konsentrasi dalam sampel yang telah diketahui konsentrasinya. Dari hasil tersebut dibuat kurva kalibrasi yang bertujuan untuk menjamin larutan standar akurat yang berkaitan dengan kecermatan data/kesalahan dan presisi berkaitan

dengan ketepatan data/bias (Kantasubrata, 2008). Rumus regresi linier diperlukan untuk mengetahui hubungan antara absorbansi dan konsentrasi larutan standar yang dinyatakan dalam persamaan regresi linier.

3.3.2 Analisis *Optical Density* (OD)

Isolat murni yang dikultur dalam media NB disimpan ke dalam *test tube* ukuran 50 ml dan dimasukkan ke dalam *sentrifuge* selama 10 menit pada RCF 5000 rpm, bertujuan untuk memisahkan antara media NB dan sedimen bakteri. Sedimen yang mengendap diberi larutan NaCl 0,9% sebanyak 30 ml, lalu diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm (Shehzadi *et al.*, 2015).

3.3.3 Analisis pada Tanaman

Analisis pertumbuhan tanaman dilakukan dengan pengukuran tinggi tanaman, lebar daun, dan jumlah daun yang dilakukan tiap minggu hingga masa panen, sedangkan panjang akar tanaman diukur ketika masa panen. Pengukuran menggunakan penggaris dan didokumentasikan. Tujuan dilakukannya pengamatan tiap minggu untuk mencegah tanaman terserang hama atau adanya tanda-tanda tanaman mati. Perhitungan biomassa diperlukan untuk mengetahui berat basah dan kering tanaman dengan cara menimbang menggunakan timbangan analitik. Data disajikan dalam rerata berat (gram) pada grafik batang.

Analisis kadar fosfat pada jaringan tanaman dilakukan dengan memisahkan antara jaringan atas (daun dan batang) dengan jaringan bawah (akar) dengan menambahkan larutan HNO₃ dan HCl dan didestruksi (Sulaeman *et al.*, 2005). Pengujian kadar fosfat pada tanaman sama dengan pengujian fosfat pada air, yaitu menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 693 nm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat penyerapan fosfat pada tanaman yang berhubungan dengan ketersediaan unsur hara pada air limbah dan pengaruh pada pertumbuhan tanaman. Data disajikan dalam bentuk grafik batang.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lingkungan

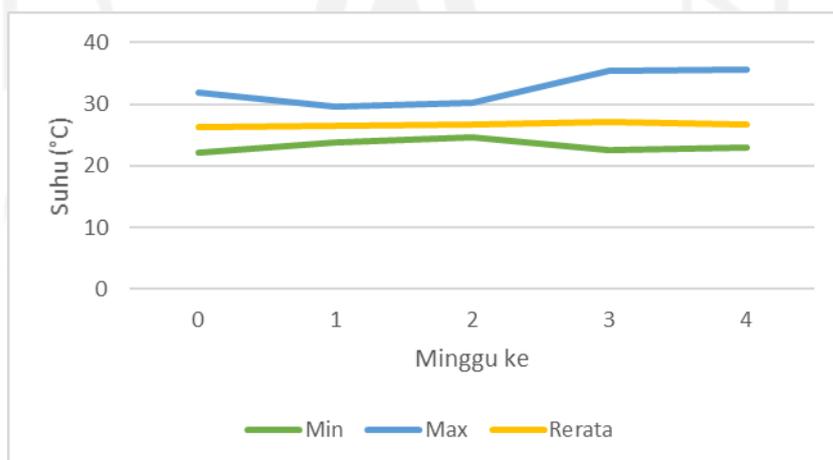
Penelitian ini dilakukan di Dusun Wonosalam, Sukoharjo, Kabupaten Sleman dalam skala rumah kaca. Penelitian ini dilakukan mulai bulan Maret sampai November 2021, mulai dari persiapan alat dan bahan hingga masa panen. Pengamatan dan pengujian dilakukan selama 4 minggu.

4.1.1 Suhu Lingkungan

Berikut data suhu lingkungan rumah kaca yang disajikan dalam bentuk grafik.

Tabel 4. 1 Data Suhu Lingkungan Penelitian

Minggu ke	Suhu (°C)		Rerata
	Min	Max	
0	22,2	31,8	26,3
1	23,8	29,6	26,6
2	24,7	30,2	26,7
3	22,6	35,5	27,2
4	22,9	35,7	26,8



Gambar 4. 1 Grafik Suhu Lingkungan

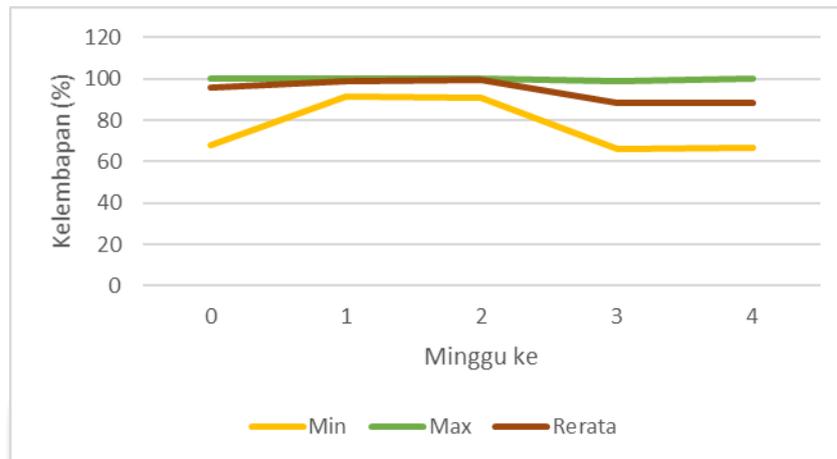
Berdasarkan hasil data di atas menunjukkan bahwa rata-rata suhu tertinggi adalah pada minggu ke 3 sebesar 27,2°C dan terendah pada minggu ke 0 (masa aklimatisasi) sebesar 26,3°C. Berdasarkan penelitian oleh Hidayatullah (2020), suhu lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan kangkung berkisar antara 20-30°C dan tanaman sawi antara 21,1-32°C. Hal ini menunjukkan bahwa nilai suhu lingkungan pada penelitian ini berfluktuatif. Dari hasil morfologi kedua tanaman tersebut, di minggu ke 3 tanaman mengalami nekrosis dan banyaknya tanaman yang menunjukkan tanda kematian yang diakibatkan pengaruh suhu yang tinggi. Hal ini sejalan dalam penelitian Nuruzzaman (2020), pengaruh suhu yang terlalu tinggi berdampak pada proses penguapan berlangsung cepat yang berakibat pada kehilangan air, tanaman layu, daun dan bunga mulai rontok, hingga kematian.

4.1.2 Kelembaban Lingkungan

Berikut data kelembaban lingkungan rumah kaca yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut.

Tabel 4. 2 Data Kelembaban Lingkungan Penelitian

Minggu ke	Humidity (%)		Rerata
	Min	Max	
0	68,1	100	95,6
1	91,3	100	98,9
2	90,7	100	99,1
3	66,2	98,9	88,5
4	66,5	99,9	88,6



Gambar 4. 2 Grafik Kelembaban Lingkungan

Berdasarkan hasil data di atas menunjukkan bahwa Nilai kelembaban rata-rata tertinggi adalah pada minggu ke 2 sebesar 99,1% dan terendah pada minggu ke 3 sebesar 88,5%. Tingginya nilai kelembaban lingkungan dikarenakan pada saat penelitian turun hujan sehingga nilai kelembaban cenderung tinggi. Jika dibandingkan antara suhu dengan kelembaban, tinggi rendahnya nilai kelembaban berbanding terbalik sehingga nilai kelembaban tiap minggu bertentangan dengan suhu lingkungan (Fadhilillah *et al*, 2019).

Berdasarkan penelitian oleh Hidayatullah (2020), kelembaban udara untuk tanaman kangkung yaitu 60% dan tanaman sawi berkisar 80-90%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kelembaban pada penelitian ini berfluktuatif sejalan dengan data suhu lingkungan. Hasil morfologi tanaman di minggu ke 3 menunjukkan nekrosis hingga kematian. Menurut Fadhilillah *et al* (2019), pengaruh nilai kelembaban lingkungan terhadap tanaman berdampak pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman, proses transpirasi dan fotosintesis, dan munculnya hama penyakit tanaman.

4.2 Identifikasi Bakteri Endofit *Indigenous*

Bakteri endofit *indigenous* didapatkan dari hasil isolasi tanah yang terkontaminasi limbah (*greywater*). Sampel tanah diambil di 4 titik lokasi yang berbeda yang ditumbuhi 2 jenis tanaman. Sumber bakteri didapatkan dengan mengisolasi tanah untuk mendapatkan bakteri murni (*single colony*). Sampel tanah

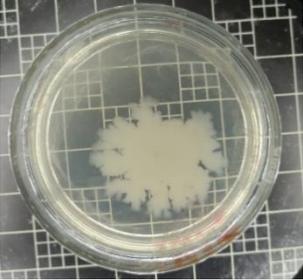
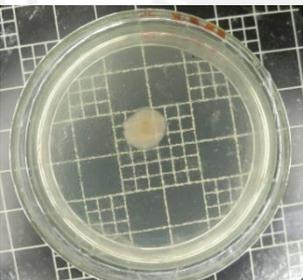
ditimbang sebanyak 0,5 gram, 1 gram, dan 2 gram, kemudian dilakukan pengenceran sampai 10^{-3} dan dikultur pada media NA. Bakteri yang telah tumbuh dipilih 3 jenis isolat yang berbeda dilihat dari warna bakteri dan persebaran bakteri pada agar miring. Bakteri E1 didapatkan dari sampel tanah 0,5 gram di pengenceran 10^{-3} , E2 dari 2 gram di pengenceran 10^{-1} , dan E3 dari 2 gram di pengenceran 10^{-2} . Berikut kode nama isolat bakteri endofit *indigenus*.

Tabel 4. 3 Kode Isolat Bakteri Endofit *Indigenus*

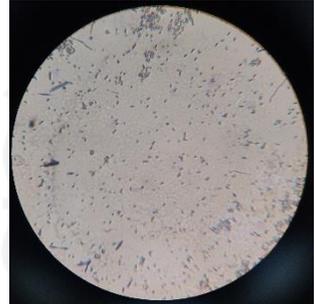
Lokasi <i>Sampling</i>	Jenis Tanaman	Kode Isolat Bakteri
Saluran pembuangan air limbah	Pacar Air (<i>Impatiens balsamina</i>) dan Tanaman Anting-anting (<i>Acalypha indica</i>)	E1
		E2
		E3

Bakteri *single colony* dilakukan identifikasi morfologi bakteri menggunakan cawan petri berisi media NA. Proses identifikasi morfologi bakteri dengan cara pengamatan makroskopis dengan melihat bentuk koloni, warna koloni, elevasi koloni, dan bentuk tepi koloni, sedangkan pengamatan mikroskopis menggunakan alat mikroskop untuk mengamati bentuk sel dan pewarnaan gram dengan perbesaran 400X (Madigan *et al.*, 2011). Dari ketiga isolat yang diteliti merupakan bakteri *coccus*. Berikut karakteristik bakteri endofit *indigenus* pada tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Morfologi Makroskopis Bakteri Endofit *Indigenus*

No.	Gambar	Kode Sampel	Morfologi
1		E1	<p><i>Forms: Irregular</i> <i>Margins: Undulate</i> <i>Elevation: Flat</i> <i>Motility: Non motil</i></p>
2		E2	<p><i>Forms: Irregular</i> <i>Margins: Lobate</i> <i>Elevation: Flat</i> <i>Motility: Non motil</i></p>
3		E3	<p><i>Forms: Circular</i> <i>Margins: Undulate</i> <i>Elevation: Flat</i> <i>Motility: Non motil</i></p>

Tabel 4. 5 Morfologi Mikroskopis Bakteri Endofit *Indigenous*

No.	Gambar	Kode Sampel	Morfologi
1		E1	<i>Shape: Coccus</i> <i>Gram: Negatif</i>
2		E2	<i>Shape: Streptococcus</i> <i>Gram: Negatif</i>
3		E3	<i>Shape: Staphylococcus</i> <i>Gram: Negatif</i>

Berdasarkan tabel di atas, dari ketiga isolat tersebut merupakan bakteri gram negatif atau bakteri patogen. Hal ini ditunjukkan pada saat pengamatan mikroskop bakteri berwarna merah, karena bakteri menyerap pewarna safranin atau karbol fuhsin sehingga yang terlihat pada kaca preparat berwarna merah. Selanjutnya, bakteri tersebut dikultur pada media NB untuk dilakukan pengujian OD spektrofotometer untuk mengetahui tingkat kekeruhan bakteri melalui nilai absorbansi. Nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi larutan OD, banyaknya bakteri yang tumbuh dalam media NB akan mempengaruhi sinar yang ditransmisikan menembus media (Seniati *et al.*, 2019). Pada penelitian ini hasil nilai OD tertinggi didapatkan pada isolat E1 sebesar 1,464. Hasil isolat dipakai untuk inokulasi ke *wetland*. Berikut nilai absorbansi bakteri endofit *indigenous*.

Tabel 4. 6 Nilai Absorbansi Isolat Bakteri Endofit *Indigenous*

Kode Sampel	Nilai Absorbansi OD
E1	1,464
E2	1,244
E3	1,257

4.3 Hasil Pengujian Awal Air Limbah dan Populasi Bakteri (*Initial*)

Hasil pengujian parameter awal air limbah disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 7 Hasil Data *Initial* Air Limbah

Parameter	Konsentrasi	Pengenceran	Satuan
COD	1.258,51	1x	mg/L
Fosfat	0,84	10x	mg/L
Surfaktan	17.296,03	1x	ug/L
pH	6,26		-
EC	1,22		mS/cm

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar konsentrasi awal air limbah dan jumlah populasi bakteri sebelum dilakukan perlakuan. Parameter yang diuji yaitu COD, pH, EC, fosfat, surfaktan, suhu dan kelembaban. Perhitungan jumlah populasi bakteri dilakukan hingga pengenceran 10^{-6} . Faktor pengenceran dilakukan apabila hasil absorbansi larutan terlalu tinggi dan tidak masuk rentang kurva kalibrasi standar larutan.

Tabel 4. 8 Hasil Data *Initial* Populasi Bakteri Air Limbah

Pengenceran	Jumlah Koloni	Jumlah Koloni (CFU/ml)
10^{-1}	>300	>300
10^{-2}	>300	>300
10^{-3}	>300	>300
10^{-4}	>300	>300
10^{-5}	114	114×10^5
10^{-6}	10	1×10^6
Rerata		114×10^5

Dalam menghitung jumlah koloni *initial* dilakukan pengenceran hingga 10^{-6} dengan menginokulasikan 1 ml sampel ke dalam cawan petri bersama media NA hangat. Pada perhitungan populasi bakteri menggunakan *Total Plate Count* (TPC) dengan kriteria jumlah koloni dalam 1 cawan petri 30-300 koloni. Berdasarkan

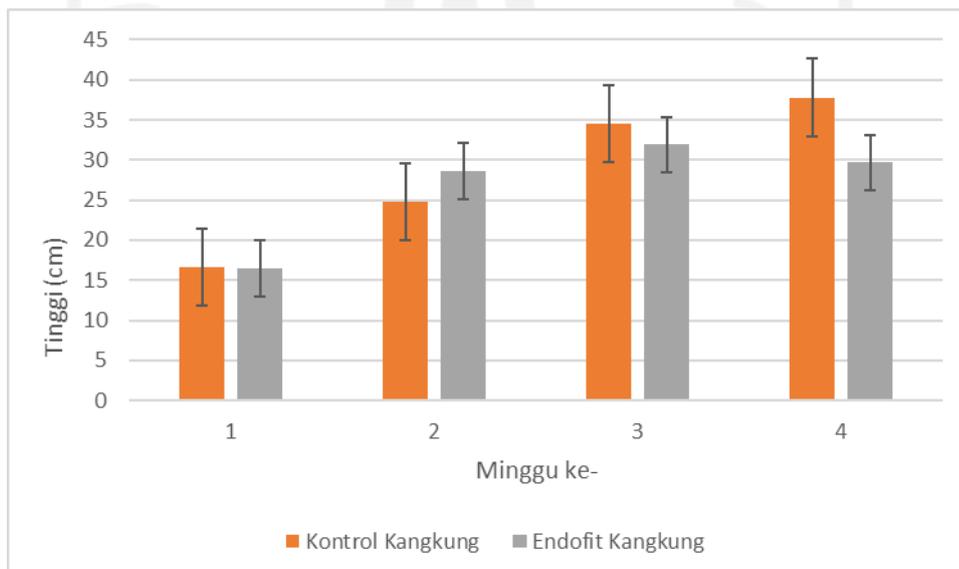
tabel diatas pengenceran 10^{-5} yang memenuhi kriteria tersebut dengan jumlah koloni 114×10^5 CFU/ml. Pengenceran hingga 10^{-5} digunakan sebagai acuan untuk perhitungan populasi bakteri per minggu.

4.4 Pengaruh Inokulasi Konsorsium Bakteri Endofit *Indigenous* terhadap Pertumbuhan Tanaman

Analisis ini disajikan dalam bentuk grafik batang untuk mengetahui pengaruh konsorsium bakteri endofit *indigenous* terhadap pertumbuhan dan siklus hidup tanaman agrikultur. Pengukuran dilakukan dengan mengukur tinggi tanaman, jumlah daun, dan lebar daun yang dilakukan tiap 1 minggu sekali. Pemberian 2 isolat bakteri endofit *indigenous* dimulai pada minggu ke 2 dan 1 isolat diberikan pada minggu ke 2. Kontrol positif tanaman diberikan sebagai pembanding pertumbuhan, yang berisikan tanaman dan air keran. Hasil data disajikan dalam bentuk grafik.

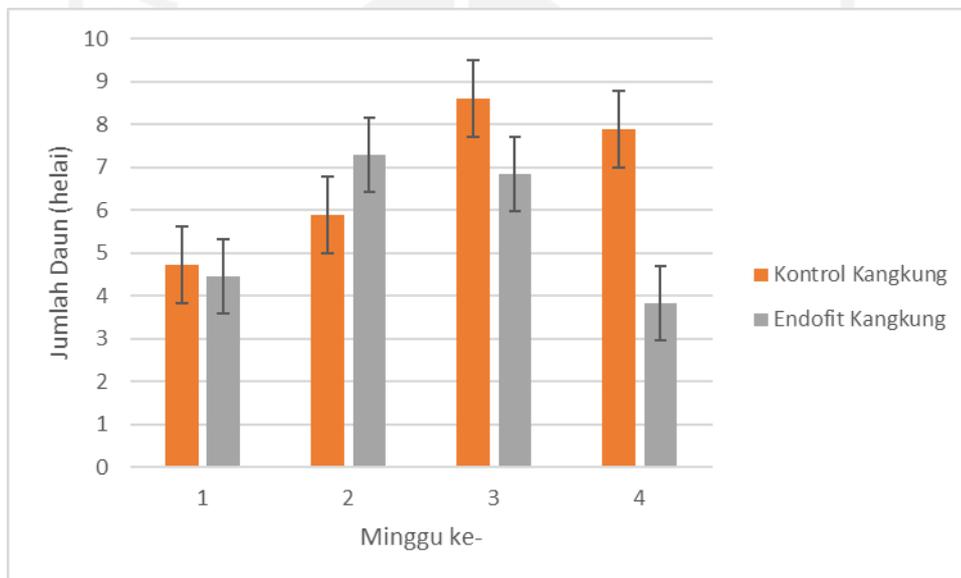
4.4.1 Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan mengukur dari pangkal batang sampai ujung daun terpanjang. Sedangkan perhitungan jumlah daun dilakukan mulai dari munculnya tunas baru sampai masa panen. Berikut hasil data yang disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Rerata Tinggi Tanaman Kangkung

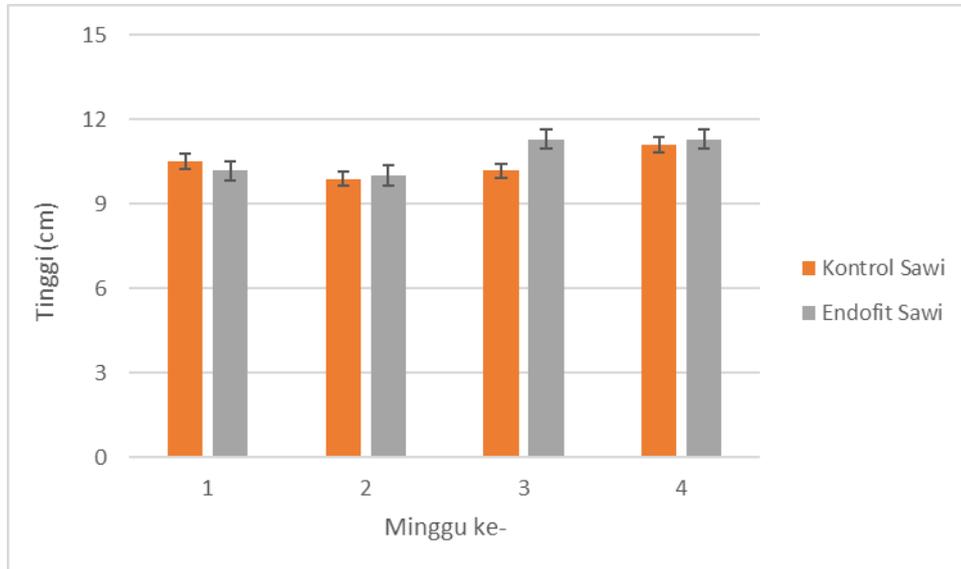
Berdasarkan gambar di atas menunjukkan bahwa tanaman kangkung mengalami pertumbuhan baik kontrol kangkung dan endofit kangkung. Pada kontrol kangkung rerata pertumbuhan pada minggu ke 1 sampai minggu ke 4 masing-masing sebesar 16,67 cm, 24,78 cm, 34,56 cm, dan 37,78 cm sedangkan pada endofit kangkung masing-masing sebesar 16,44 cm, 28,61 cm, 31,89 cm, dan 29,67 cm. Pada endofit kangkung di minggu ke 3 sampai 4 terjadi penurunan tinggi hal ini disebabkan banyaknya kangkung yang mulai mati dan layu dan ini berhubungan dengan kondisi daun. Pada penelitian Naibaho (2020) menjelaskan bahwa tinggi tanaman kangkung seharusnya 50 cm sehingga hasil data penelitian berbanding jauh.



Gambar 4. 4 Grafik Rerata Jumlah Daun Tanaman Kangkung

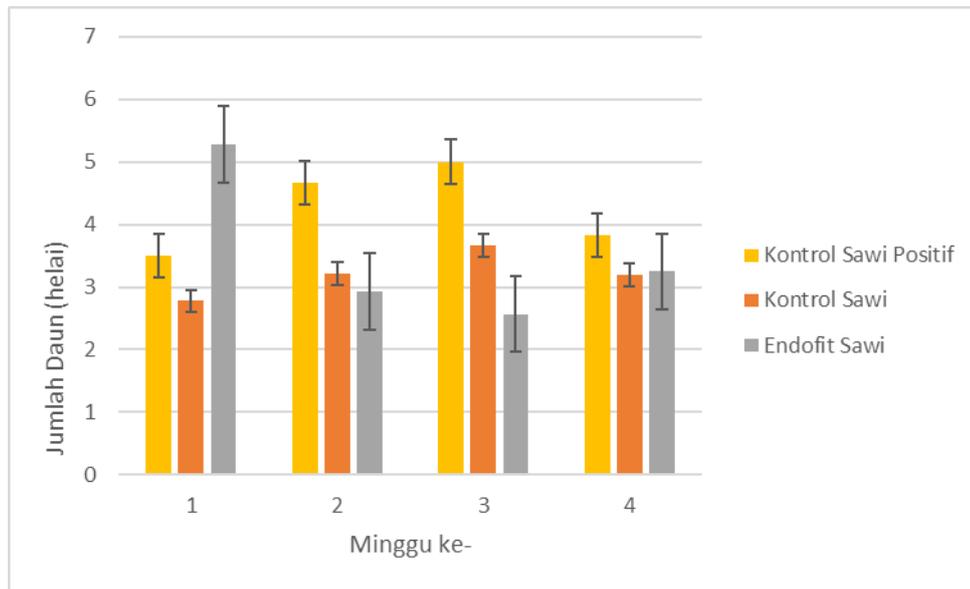
Jumlah daun berkaitan dengan pertumbuhan tinggi tanaman. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa rerata jumlah daun pada kontrol kangkung masing-masing per minggu sebanyak 4,72 helai, 5,89 helai, 8,61 helai, dan 7,89 helai sedangkan pada endofit kangkung sebanyak 4,44 helai, 7,28 helai, 6,85 helai, dan 3,82 helai. Pada penelitian Naibaho (2020) menjelaskan bahwa rerata jumlah daun kangkung seharusnya sekitar 10-11 helai sehingga hasil data penelitian berbanding jauh. Selain itu, memasuki minggu ke 3 sampai 4 tanaman endofit kangkung terjadi perubahan warna daun berwarna kuning, daun mulai mengering, mengecil, dan layu. Dibandingkan dengan kontrol

kangkung perubahan warna daun tidak terlalu berbeda dengan endofit kangkung, namun tanaman masih dapat hidup.



Gambar 4. 5 Grafik Rerata Tinggi Tanaman Sawi

Berdasarkan gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa pertumbuhan kontrol sawi dan endofit sawi tidak jauh berbeda. Pada kontrol sawi rerata pertumbuhan masing-masing per minggu sebesar 10,50 cm, 9,89 cm, 10,17 cm, 11,11 cm sedangkan pada endofit sawi masing-masing tiap minggu sebesar 10,17 cm, 10 cm, 11,30 cm, dan 11,30. Memasuki minggu ke 3 sampai 4 pada endofit sawi tidak mengalami pertumbuhan (kerdil) yang ditandai dengan batangnya mulai mengecil, layu dan berwarna coklat.



Gambar 4. 6 Grafik Rerata Jumlah Daun Tanaman Sawi

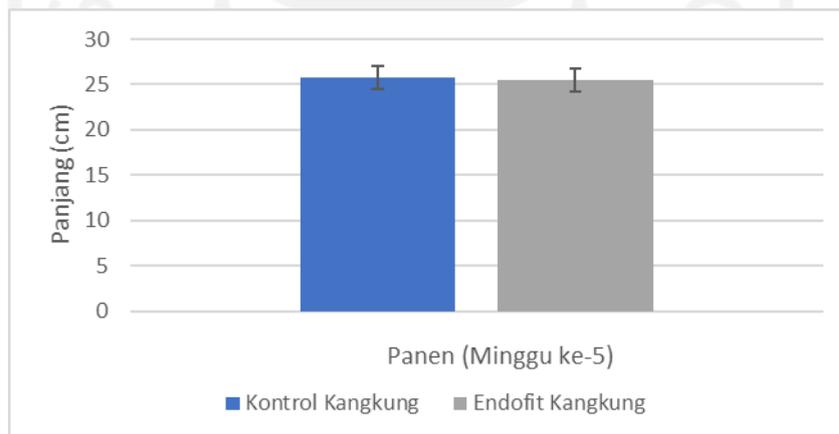
Berdasarkan gambar 4.6 rerata jumlah daun sawi berfluktuatif. Rerata jumlah daun kontrol sawi masing-masing minggu sebanyak 2,78 helai, 3,22 helai, 3,67 helai, dan 3,2 helai sedangkan pada endofit sawi sebanyak 5,28 helai, 2,93 helai, 2,57 helai, dan 3,25 helai. Pada minggu ke 2 sampai 4 endofit sawi mengalami penurunan jumlah daun secara drastis dibandingkan kontrol sawi. Hal ini berbanding lurus dengan data tinggi tanaman dan lebar daun endofit sawi.

Berdasarkan hasil data tinggi tanaman dan jumlah daun, pengaruh inokulum bakteri endofit *indigenus* terhadap kedua tanaman tersebut berdampak pada pertumbuhan tanaman. Jika dibandingkan antar perlakuan tanaman sawi dan kangkung, tanaman kangkung endofit lebih unggul dari segi tinggi tanaman dan rerata jumlah daun. Hal ini terlihat pada data di minggu ke 2 hingga 3 dimana bakteri endofit *indigenus* berperan merangsang pertumbuhan dalam kelarutan unsur hara fosfat dan mineral lainnya. Namun ketika memasuki minggu ke 3 dan 4 kedua tanaman tersebut mulai menunjukkan tanda layu seperti warna daun menjadi kuning, tanaman sawi kerdil, baik daun kangkung dan sawi perlahan-lahan mengering dan berjatuhan. Selain itu, di minggu ke 3 kedua tanaman perlakuan terkena hama yaitu kutu kebul yang menempel pada batang dan daun yang menyebabkan tanaman

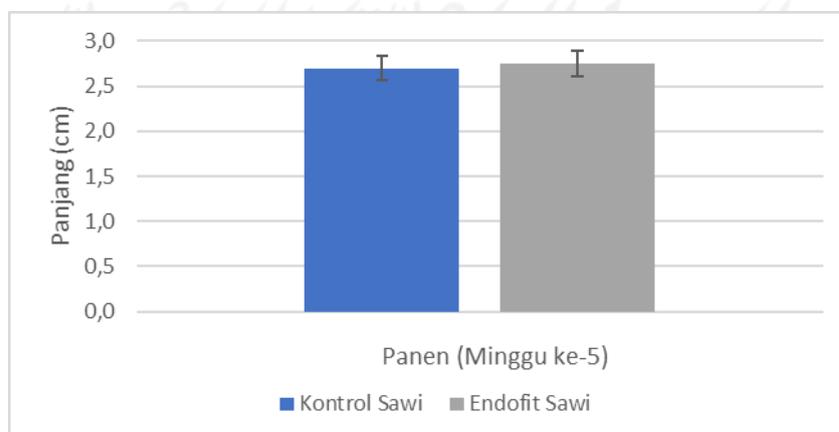
mengalami nekrosis. Nekrosis yaitu kondisi batang tanaman bagian tengah atau atas mengalami kerusakan hingga kematian (Aisah *et al.*, 2015). Kutu kebul mempengaruhi warna daun menjadi kuning atau kutilang karena menghisap cairan jaringan floem (Rana *et al.*, 2018). Pertumbuhan kedua tanaman dipengaruhi oleh kondisi fisika dan kimia air limbah yaitu pengaruh pH, EC, dan senyawa organik di dalamnya yang berdampak pada kelangsungan hidup tanaman, yang dijelaskan pada sub bab selanjutnya

4.4.2 Panjang Akar Tanaman

Panjang akar diukur dari akar terpanjang dan dilakukan pada masa panen. Akar terlebih dahulu dibersihkan dari *rockwool* dan serabut kelapa yang menempel. Berikut hasil panjang akar yang disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4. 7 Grafik Rerata Panjang Akar Tanaman Kangkung

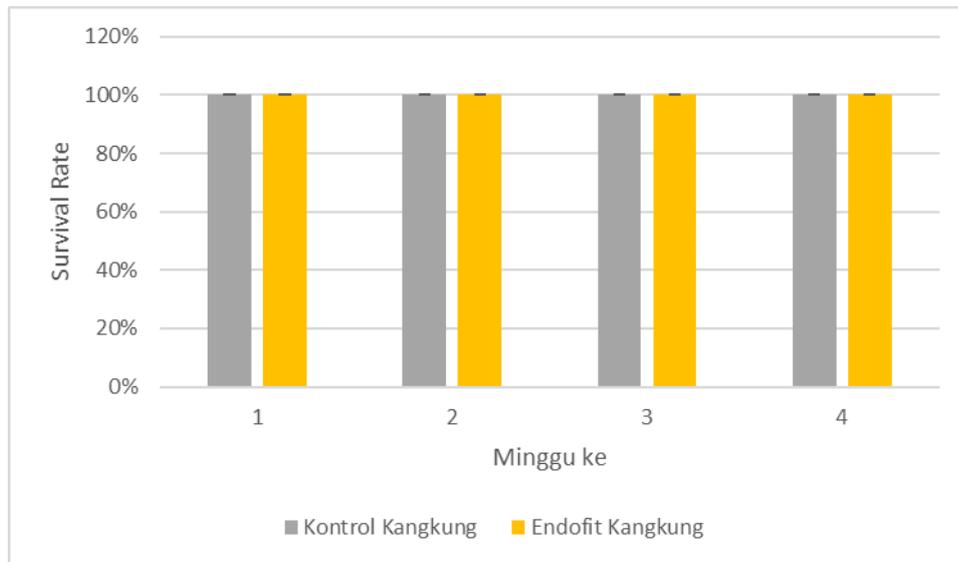


Gambar 4. 8 Grafik Rerata Panjang Akar Tanaman Sawi

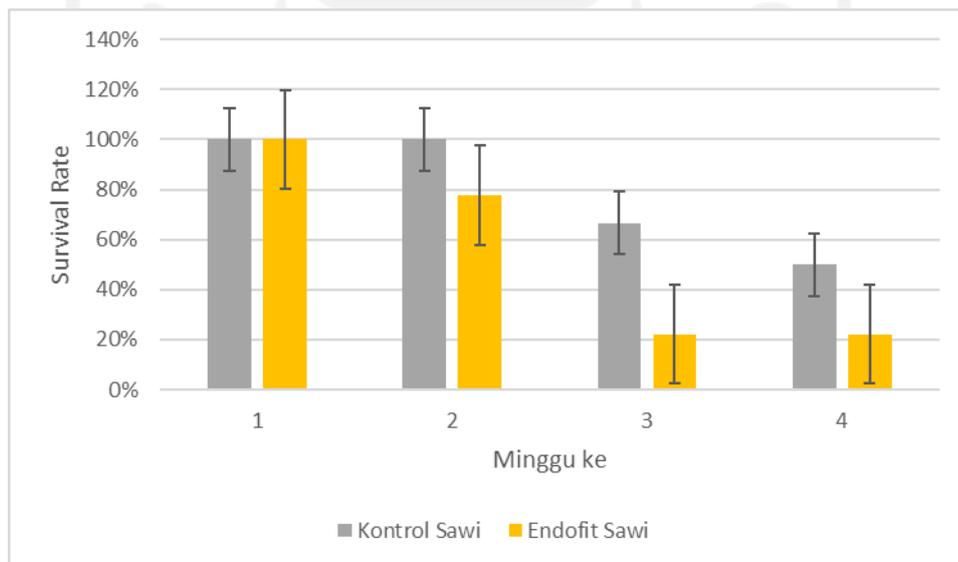
Berdasarkan gambar 4.7, rerata masing-masing panjang akar pada kontrol kangkung 25,81 cm dan endofit kangkung 25,53 cm. Panjang akar pada kontrol dan endofit kangkung tidak jauh berbeda. Akar kangkung kontrol dan endofit mampu menembus serabut kelapa dan menuju air limbah. Pengaruh inokulum bakteri endofit *indigenus* pada kangkung yaitu meningkatkan pertumbuhan akar melalui hormon auksin dan sitokinin dan memberikan nutrisi bagi tanaman. Sedangkan pada gambar 4.8, rerata masing-masing panjang akar kontrol sawi sebesar 2,70 cm dan endofit sawi sebesar 2,75 cm. Banyaknya tanaman sawi yang mati pada endofit sawi menjadi berbanding terbalik pada kontrol sawi. Selain itu, sebagian akar endofit sawi tidak mengalami pertumbuhan dan sebagian ada yang terputus. Hal ini berdampak pada kondisi batang dan jumlah daun sawi tiap minggu mengalami penurunan yang disebabkan karena akar yang pendek dan tidak terkena air. Selain itu, kondisi air fisika, kimia, dan biologi juga mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman yang dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.4.3 *Survival Rate*

Survival rate atau kelangsungan hidup dihitung dengan menghitung tanaman yang hidup di awal dan akhir penelitian. *Survival rate* diperlukan untuk mengetahui keberhasilan dua jenis tanaman terhadap perlakuan dan kualitas air limbah. Perhitungan *survival rate* dengan perbandingan jumlah tanaman yang hidup di akhir penelitian dengan jumlah tanaman yang hidup di akhir penelitian dalam persentase (Putri, 2014).



Gambar 4. 9 Grafik Survival Rate Tanaman Kangkung



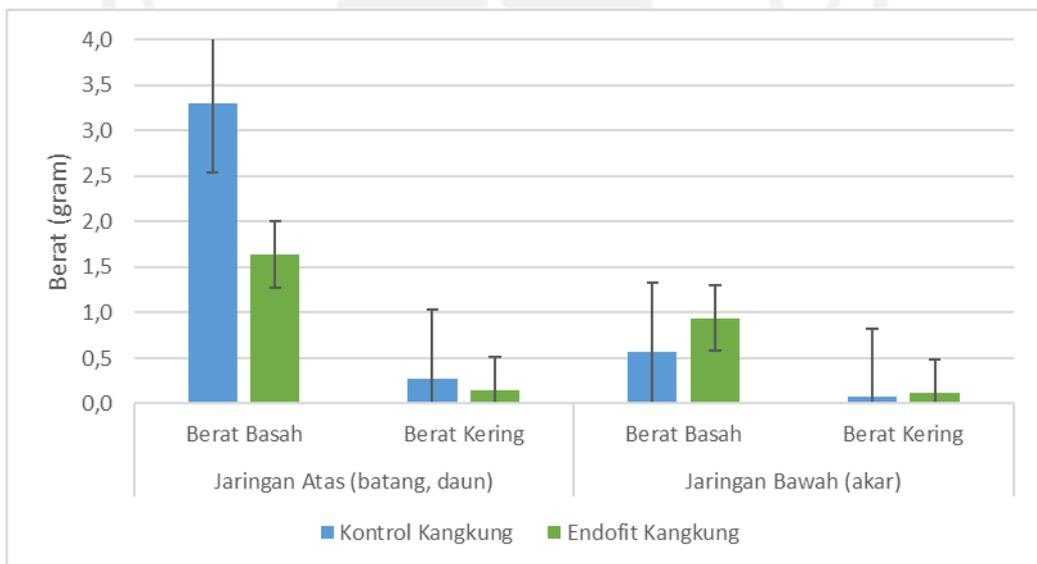
Gambar 4. 10 Grafik Survival Rate Tanaman Sawi

Berdasarkan gambar di atas menunjukkan tingkat kelangsungan hidup antara tanaman yang diberi perlakuan dan kontrol. Kangkung endofit lebih unggul dibandingkan sawi endofit dengan persentase *survival rate* sebesar 100% artinya semua tanaman hidup. Sedangkan pada kontrol sawi dan endofit sawi tiap minggu mengalami penurunan. Besar penurunan tiap minggu pada kontrol sawi yaitu 100%, 100%, 67%, dan 50% sedangkan endofit sawi yaitu

100%, 78%, 22%, dan 22%. Atas dasar tersebut, tanaman kangkung lebih unggul dibandingkan sawi.

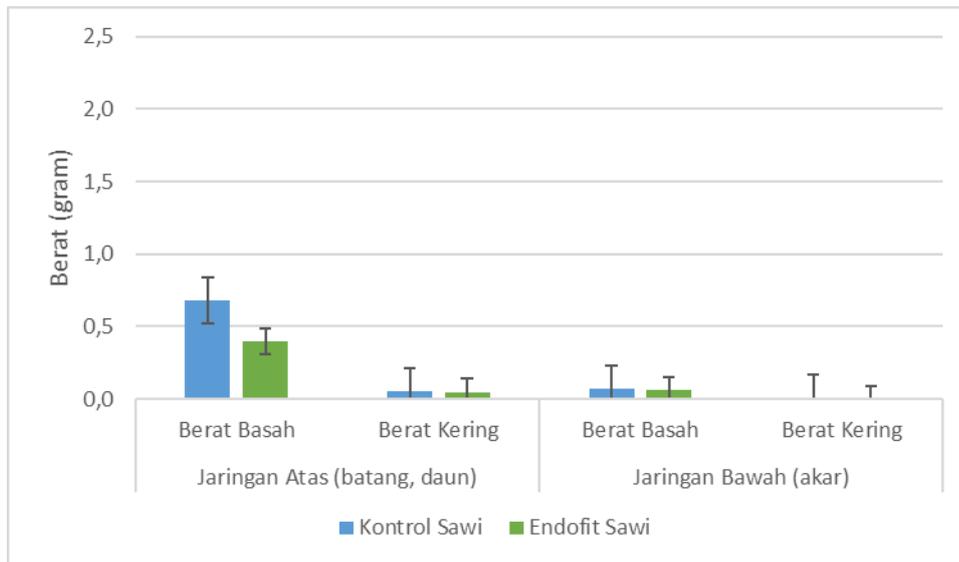
4.4.4 Biomassa Tanaman

Biomassa merupakan salah satu indikator pertumbuhan tanaman yang dinyatakan dalam berat kering. Biomassa tanaman disajikan dalam bentuk grafik yang berisikan berat basah dan berat kering jaringan atas tanaman berupa daun dan batang dan jaringan bawah tanaman berupa akar. Berat basah dilakukan dengan menimbang seluruh bagian tanaman, sedangkan berat kering dengan menimbang seluruh bagian tanaman setelah dioven pada suhu 80°C selama 3 hari untuk memperoleh berat konstan (Kresna *et al.*, 2016).



Gambar 4. 11 Grafik Biomassa Tanaman Kangkung

Berdasarkan gambar di atas diketahui bahwa berat basah berbanding lurus dengan berat kering. Kontrol kangkung lebih unggul karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan endofit kangkung. Adapun berat kering kontrol kangkung pada jaringan atas sebesar 0,28 gram dan jaringan bawah sebesar 0,12 gram, sedangkan endofit kangkung pada jaringan atas sebesar 0,07 gram dan jaringan bawah sebesar 0,15 gram.



Gambar 4. 12 Grafik Biomassa Tanaman Sawi

Berdasarkan gambar di atas diketahui bahwa kontrol sawi lebih unggul dibanding endofit sawi. Adapun berat kering kontrol sawi pada jaringan atas sebesar 0,06 gram dan jaringan bawah sebesar 0,01 gram. Sedangkan pada endofit sawi jaringan atas sebesar 0,05 gram dan jaringan bawah sebesar 0 gram. Jaringan bawah endofit sawi susah untuk ditimbang dikarenakan beratnya yang sangat kecil dan ringan setelah dioven.

Berdasarkan dari kedua biomassa tanaman di atas, endofit sawi dan endofit kangkung memiliki biomassa yang kecil dibandingkan kontrol sawi dan kangkung. Hal ini membuktikan bahwa penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Franklin *et al.*, 2021 yang menyebutkan bahwa bakteri endofit dapat meningkatkan biomassa dengan menunjukkan efektivitasnya dalam melindungi tanaman dari berbagai toksisitas di lingkungan. Dalam penelitian Haryati *et al.*, 2012 menyebutkan bahwa penurunan biomassa terjadi karena tingginya konsentrasi suatu senyawa di dalam air yang menyebabkan sulitnya kemampuan tanaman dalam menyerap air yang berkaitan dengan pengaruh osmotik yang timbul dari air tersebut. Yang kedua yaitu terganggunya proses fotosintesis yang menyebabkan tanaman sulit memperoleh CO₂. Yang ketiga yaitu pengaruh pH, tingginya nilai pH dalam air mempengaruhi proses biokimia terutama dapat menurunkan

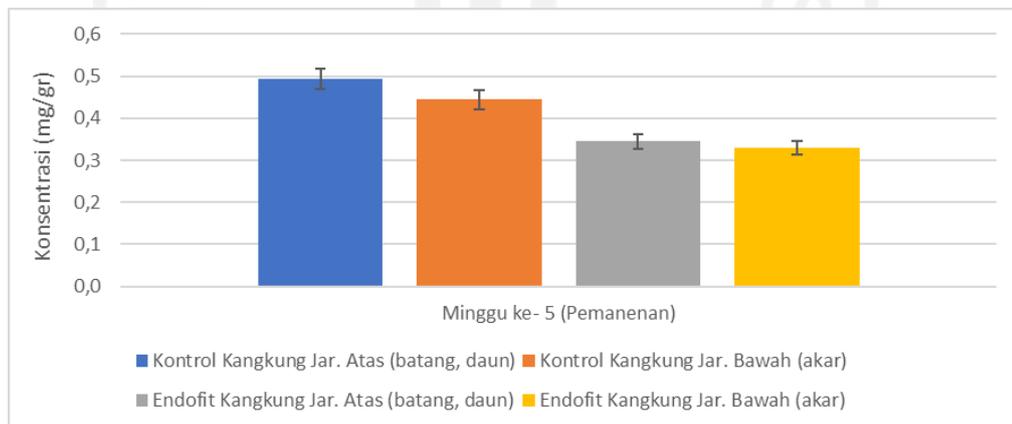
kadar O₂ dan berdampak pada tingginya konsentrasi senyawa organik dan anorganik di dalamnya. Nilai pH bergantung pada suhu dan EC. Selain itu, di minggu ke 4 mulai tanda ada hama kutu kebul yang menyebabkan bagian daun dan batang tanaman menjadi kering dan berguguran hingga kematian.

4.4.5 Kadar Fosfat pada Jaringan Atas dan Bawah Tanaman

Pengujian kadar fosfat pada jaringan atas dan bawah tanaman dilakukan dengan mencampurkan larutan pereaksi pewarna P dan dibaca menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 693 nm. Berikut hasil kadar fosfat pada kedua jenis tanaman berikut.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Fosfat pada Jaringan Tanaman

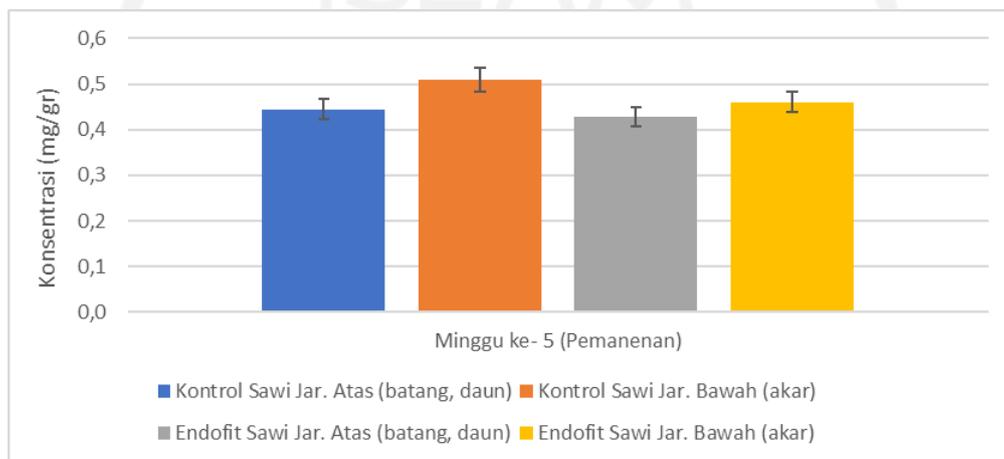
Kode Sampel	Konsentrasi Fosfat (mg/L)	
	Jar. Atas (batang, daun)	Jar. Bawah (akar)
Kontrol kangkung	0,493	0,444
Kontrol sawi	0,444	0,510
Kangkung + endofit	0,345	0,329
Sawi + endofit	0,428	0,460



Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi Fosfat pada Tanaman Kangkung

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa kontrol kangkung pada jaringan atas dan bawah lebih unggul dibandingkan endofit kangkung. Dengan masing-masing konsentrasi pada kontrol kangkung jaringan atas dan bawah sebesar 0,49 mg/L dan 0,44 mg/L. Sedangkan konsentrasi endofit

kangkung jaringan atas dan bawah sebesar 0,34 mg/L dan 0,32 mg/L. Konsentrasi fosfat jaringan atas lebih tinggi dibandingkan jaringan bawah, hal ini selaras dalam penelitian Wiraatmaja (2016) penyerapan tertinggi unsur hara tanaman air berada di daun. Penyerapan fosfor pada jaringan atas tanaman dibutuhkan untuk pertumbuhan, hal ini dikarenakan penyerapan fosfat diserap oleh akar dan disimpan pada konsentrasi tinggi di dalam jaringan.



Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi Fosfat pada Tanaman Sawi

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa penyerapan fosfat kontrol sawi lebih unggul dibandingkan endofit sawi. Dengan masing-masing konsentrasi jaringan atas dan bawah kontrol sawi sebesar 0,44 mg/L dan 0,51 mg/L. Konsentrasi masing-masing jaringan atas dan bawah endofit sawi sebesar 0,42 mg/L dan 0,46 mg/L. Jika dibandingkan dengan penyerapan fosfat tanaman kangkung sangat berbeda, penyerapan fosfat tanaman sawi pada jaringan bawah lebih dominan dibanding jaringan atas.

4.5 Pengaruh Inokulasi Konsorsium Bakteri Endofit *Indigenous* terhadap Tanaman Agrikultur dan Air Limbah (*greywater*)

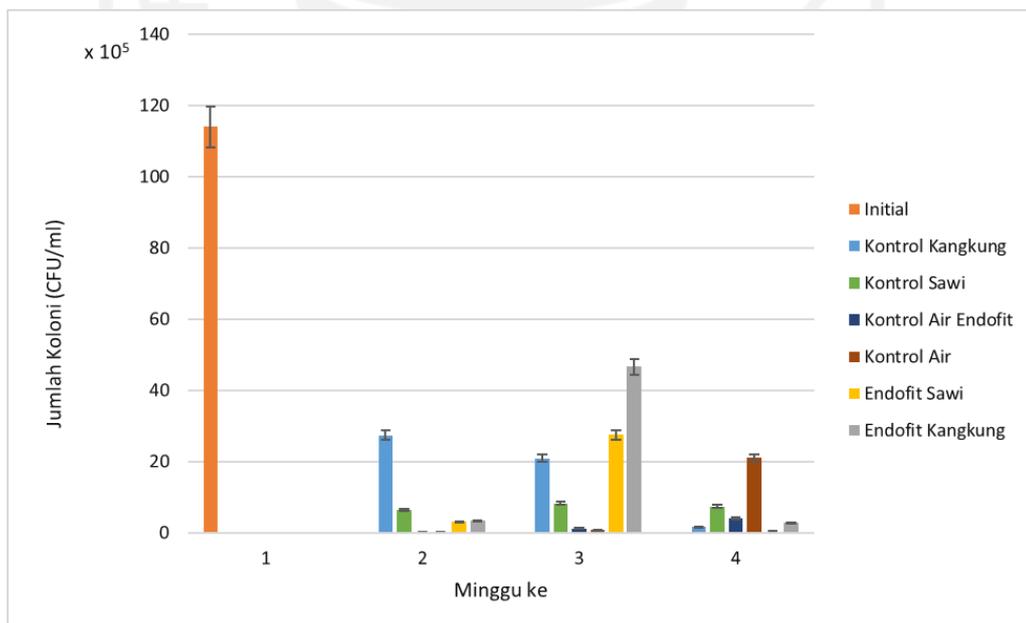
Analisis air limbah disajikan dalam bentuk grafik batang dengan membandingkan hasil data kontrol tanaman dan kontrol air. Selanjutnya, hasil pengujian dibandingkan dengan baku mutu. Berikut hasil pengujian air limbah selama lima minggu.

4.5.1 Populasi Rerata Bakteri Endofit *Indigenous* Per Minggu

Perhitungan rerata populasi bakteri endofit *indigenous* dilakukan tiap minggu sampai masa panen dengan metode TPC. Pengenceran dilakukan sampai 10^{-5} dan bakteri dihitung jika berkisar 30-300 koloni. Sampel 1 ml diinokulasikan bersama media NA hangat ke dalam petri dan diinkubasi selama 24 jam di suhu 37°C . Jumlah koloni bakteri awal (*initial*) sebesar 114×10^5 CFU/ml. Berikut hasil jumlah koloni bakteri disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 10 Jumlah Rerata Populasi Bakteri Endofit *Indigenous* Per Minggu

Kode Sampel	Rerata Jumlah Populasi Bakteri (CFU/ml) Minggu ke-			
	1	2	3	4
Kontrol air + endofit	11.400.000	21.390	116.053	402.100
Kontrol air		15.793	81.540	2.104.922
Kontrol sawi		643.500	821.500	739.138
Kontrol kangkung		2.740.000	2.091.333	152.867
Kangkung + endofit		329.967	4.655.475	281.943
Sawi + endofit		311.500	2.750.000	33.000



Gambar 4. 15 Grafik Populasi Bakteri Endofit *Indigenous* Per Minggu

Berdasarkan hasil data di atas bahwa adanya penurunan populasi bakteri di minggu ke 2 sedangkan di minggu ke 3 mengalami kenaikan populasi setelah diberi pupuk. Hal ini dikarenakan komposisi pupuk mengandung nutrisi untuk pertumbuhan tanaman yang berdampak pada kenaikan populasi bakteri

di air limbah. Kenaikan populasi bakteri disebut dengan fase eksponensial, yaitu pertumbuhan bakteri berlangsung cepat karena adanya sumber makanan bagi bakteri dalam berkembang biak dan mendegradasi senyawa organik dan anorganik air limbah. Di minggu ke 4 terjadi penurunan populasi bakteri yang disebut dengan fase kematian yang disebabkan karena nutrient yang dibutuhkan bakteri semakin berkurang. Sehingga jumlah bakteri yang mati lebih besar dibandingkan jumlah pertumbuhan bakteri (Mardalena, 2016).

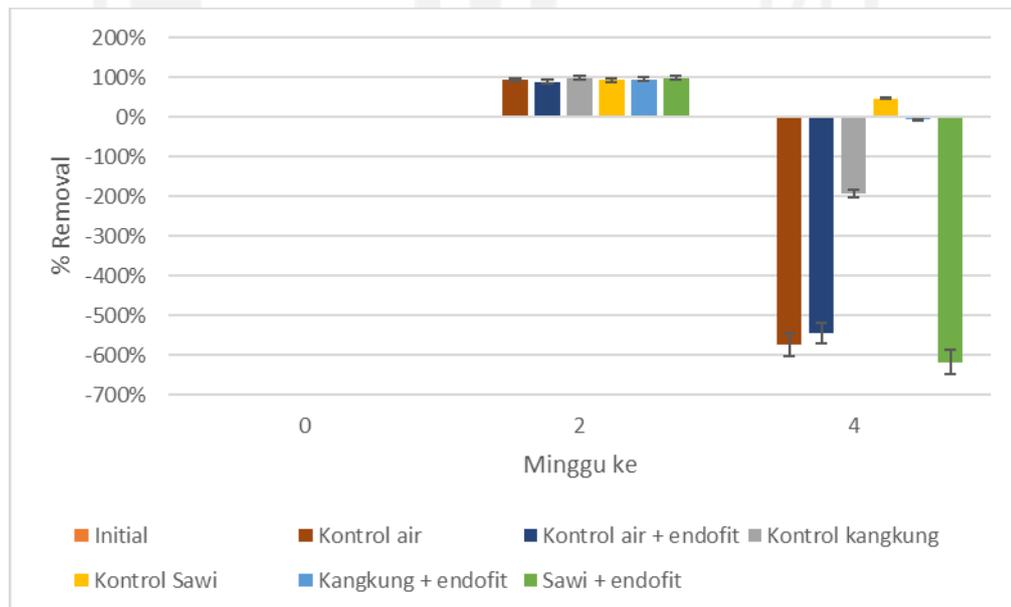
Pengaruh pH mempengaruhi pertumbuhan bakteri. pH yang ideal bagi bakteri tumbuh direntang 6-8 sedangkan jika dibandingkan dengan hasil data pH air, sebagian kolam memiliki pH diatas 8 baik di minggu ke 2 dan 4 (Mudatsir, 2007). Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri endofit *indigenous* kurang optimal dalam air limbah (*greywater*) yang memiliki pH basa. Menurut Saropah *et al* (2013) mengatakan bahwa pH mempengaruhi kecepatan aktivitas enzim dalam mengkatalisis suatu reaksi, dimana perubahan pH berpengaruh langsung pada gugus ion enzim sehingga mempengaruhi enzim aktif dan pembentukan enzim. Perubahan pH di atas pH optimum menyebabkan denaturasi enzim. Kandungan nutrisi berperan sebagai sumber energi dan pertumbuhan bakteri dalam mendegradasi polutan. Jika dilihat data di minggu ke 2 dan 4 terjadi penurunan bakteri yang diduga adanya kompetisi antara tanaman dengan bakteri endofit *indigenous* dalam mendapatkan nutrisi. Persaingan antara tanaman dengan bakteri mengakibatkan adanya hubungan simbiosis. Hubungan ini dapat menghambat pertumbuhan salah satu kompetitor baik bakteri atau tanaman. Disebutkan oleh Mudatsir (2013) bahwa adanya kompetisi antara mikroorganisme dan organisme lainnya dalam mendapatkan nutrisi untuk sumber makanannya. Interaksi ini dapat sebagai simbiosis mutualisme, simbiosis komensalisme, dan simbiosis parasitisme. Dampak adanya interaksi ini memicu banyaknya mikroorganisme atau organisme lainnya yang mati karena kurangnya sumber nutrisi.

4.5.2 Reduksi Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD)

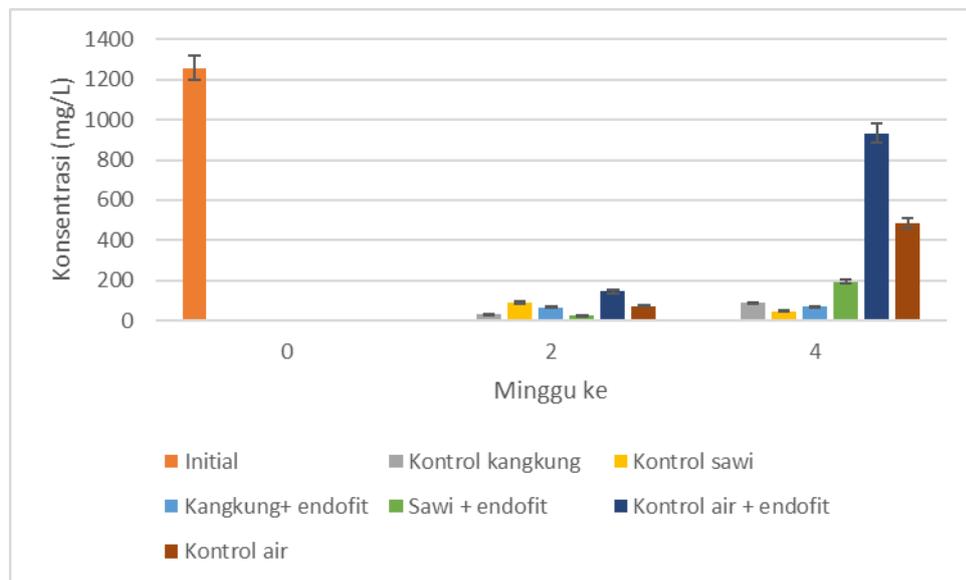
Pengujian ini bertujuan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi bahan organik dan anorganik, seperti amonia atau nitrat dalam air limbah. Kadar COD yang tinggi menunjukkan adanya bahan organik baik *biodegradable* dan *nonbiodegradable* dalam air limbah, hal ini menjadikan parameter COD merupakan indikator pencemaran organik pada air limbah (Islam *et l.*, 2109). Berikut hasil pengujian dan efisiensi *removal* COD pada air limbah selama 4 minggu sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Air Parameter COD

Kode Sampel	Konsentrasi COD (mg/L) pada Minggu Ke-		
	0	2	4
<i>Initial</i>		-	-
Kontrol air + endofit	1.258,51	144,71	933,23
Kontrol air		72,21	486,10
Kontrol kangkung		29,91	87,31
Kontrol sawi		90,33	48,04
Kangkung + endofit		66,16	69,18
Sawi + endofit		26,89	193,05



Gambar 4. 16 Grafik Persentase *Removal* COD Tiap Kolam



Gambar 4. 17 Grafik Konsentrasi Air Parameter COD

Berdasarkan hasil data di atas, konsentrasi awal (*initial*) air limbah sebesar 1.258,51 mg/L. Diketahui di minggu ke 2 efisiensi penurunan terbesar terjadi pada kolam kontrol kangkung dan sawi endofit sebesar 98%, disusul dengan kangkung endofit sebesar 95%, kontrol air sebesar 94%, kontrol sawi sebesar 93%, dan kontrol air endofit sebesar 89%. Pada minggu ke 4 efisiensi penurunan terjadi pada kontrol sawi sebesar 47% sementara kolam lainnya mengalami kenaikan konsentrasi. Hasil data tersebut dibandingkan dengan PP No. 82 Tahun 2001 baku mutu kelas IV untuk parameter COD yaitu 100 mg/L sehingga untuk kolam kontrol kangkung, kontrol sawi, dan kolam kangkung endofit memenuhi baku mutu.

Berdasarkan hasil penurunan COD dari kedua tanaman, minggu ke 2 merupakan waktu optimum bagi bakteri dan tanaman dalam menguraikan senyawa organik dan anorganik. Hal ini dikarenakan pada minggu ke 4 terjadi kenaikan konsentrasi COD yang disebabkan oleh bakteri berada di fase kematian atau kondisi jenuh sehingga menambah kandungan bahan organik dalam air (Ponty, 2018). Selain itu, tingginya kandungan COD pada air ditandai banyaknya tanaman sawi yang mati di minggu ke 3-4 dan banyaknya daun kangkung yang berguguran. Oleh karena itu, baik kangkung dan sawi mempunyai kemampuan dalam penyisihan COD di minggu ke 2 tetapi tidak

untuk di minggu ke 4. Namun, tanaman kangkung mampu bertahan hingga masa panen walaupun persentase penyisihan COD menurun. Pada nilai COD di masing-masing bak kontrol air cenderung lebih kecil dalam penyisihan polutan, karena terjadi penguraian secara anaerob oleh bakteri yang menghasilkan senyawa CO_2 , H_2O , H_2S , NH_3 , CH_4 yang ditandai dengan warna air menjadi lebih keruh dan muncul lumut (Kumalasari, 2005).

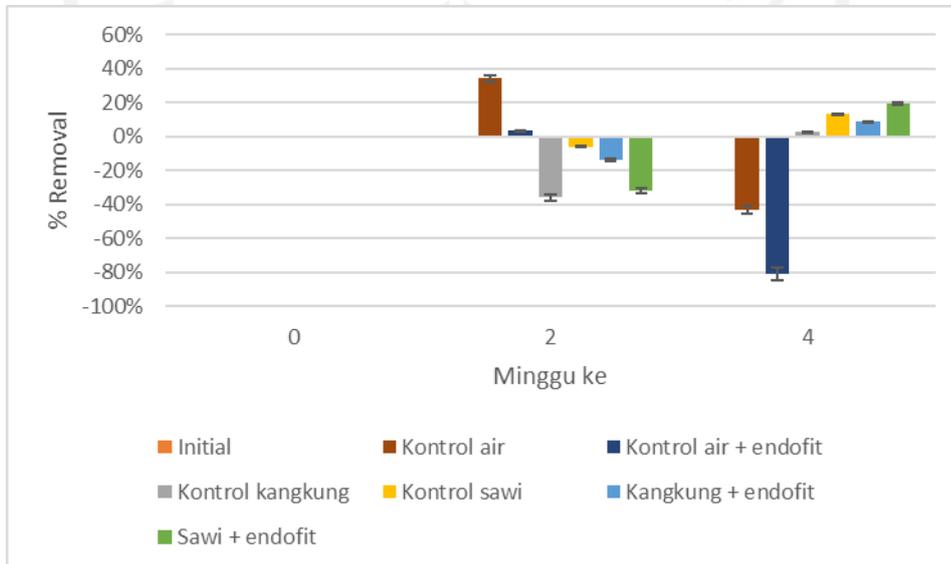
Terserapnya senyawa organik dan anorganik mengakibatkan jumlah bakteri endofit semakin berkurang yang berdampak pada penurunan kadar COD menjadi naik (Avleda, 2009). Pengaruh bakteri endofit *indigenous* dengan tanaman agrikultur dalam sistem FTW menguntungkan bagi bakteri dan tanaman dalam bersimbiosis. Dijelaskan penelitian oleh Khiatuddin (2003) dan Sari (1995), adanya proses fotosintesis oleh tanaman dengan mengubah CO_2 dan H_2O dibantu oleh sinar matahari menjadi karbohidrat dan O_2 yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan senyawa organik dan anorganik. Sedangkan senyawa CO_2 dan H_2O berasal dari proses respirasi bakteri. Menurut Zhang *et al.*, (2014), bakteri akan menempel pada akar atau bagian bawah batang dengan membentuk lapisan biofilm yang berfungsi sebagai penyerapan polutan. Akar tanaman menjadi tempat penghasil oksigen dan sebagai sumber energi bagi bakteri.

4.5.3 Reduksi Parameter Fosfat (PO_4)

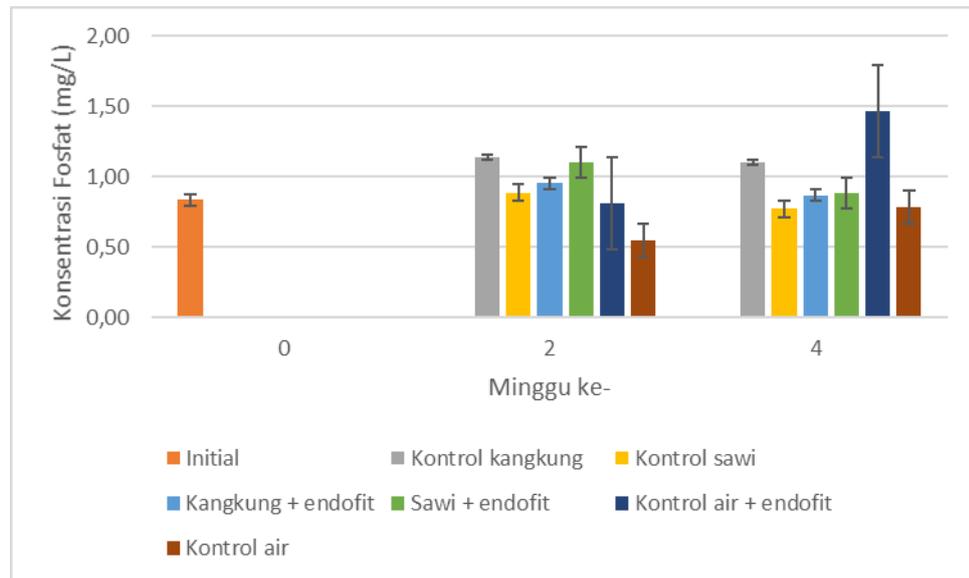
Terdapat 3 senyawa fosfat dalam air limbah yaitu ortofosfat, polifosfat, dan fosfat organik. Fosfat dalam air limbah (*greywater*) berasal dari deterjen dan bahan-bahan pembersih rumah tangga lainnya yang memiliki kandungan cukup tinggi (Ginting, 2020). Kandungan fosfat pada air limbah perkotaan mengandung 5-20 mg/L P total dimana 1-5 mg/L organik dan sisanya anorganik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persen penyisihan fosfat dalam air oleh bakteri endofit *indigenous* dan tanaman agrikultur. Berikut hasil penyisihan kadar fosfat yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Air Parameter Fosfat

Kode Sampel	Konsentrasi Fosfat (mg/L) pada Minggu Ke-		
	0	2	4
<i>Initial</i>		-	-
Kontrol air + endofit	0,84	0,809	1,463
Kontrol air		0,550	0,787
Kontrol kangkung		1,137	1,104
Kontrol sawi		0,887	0,771
Kangkung + endofit		0,954	0,871
Sawi + endofit		1,104	0,887



Gambar 4. 18 Grafik Persentase Removal Fosfat



Gambar 4. 19 Grafik Konsentrasi Air Parameter Fosfat

Berdasarkan hasil data di atas, konsentrasi *intial* sebesar 1,18 mg/L. Diketahui minggu ke 2 efisiensi penurunan tertinggi terjadi pada kontrol air sebesar 34% dan kontrol air endofit sebesar 3% sedangkan kolam lainnya mengalami kenaikan konsentrasi. Pada minggu ke 4 efisiensi penurunan tertinggi terjadi pada sawi endofit sebesar 20%, disusul dengan kontrol sawi sebesar 13%, kangkung endofit sebesar 9%, dan kontrol kangkung sebesar 3%, sementara kontrol air dan kontrol air endofit mengalami kenaikan konsentrasi. Hasil data tersebut dibandingkan dengan PP No. 82 Tahun 2001 baku mutu kelas IV untuk parameter fosfat yaitu 5 mg/L sehingga masih memenuhi baku mutu.

Berdasarkan dari hasil kedua tanaman tersebut, efisiensi penyisihan fosfat di minggu ke 2 dan 4 mengalami fluktuasi. Adanya kenaikan konsentrasi yang terjadi pada kolam tanaman baik perlakuan dan tanpa perlakuan disebabkan adanya pengaruh tanaman dalam mengeluarkan zat organik yang menyebabkan menurunnya kemampuan bakteri endofit *indigenous* dalam mengolah fosfat (Umayya *et al.*). Hal ini diperkuat dengan pertumbuhan kangkung dan sawi di minggu ke 3-4 mulai layu dari daun yang berguguran dan banyaknya tanaman mati. Hal ini tidak sejalan dengan kandungan fosfat yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Konsentrasi fosfat yang tinggi

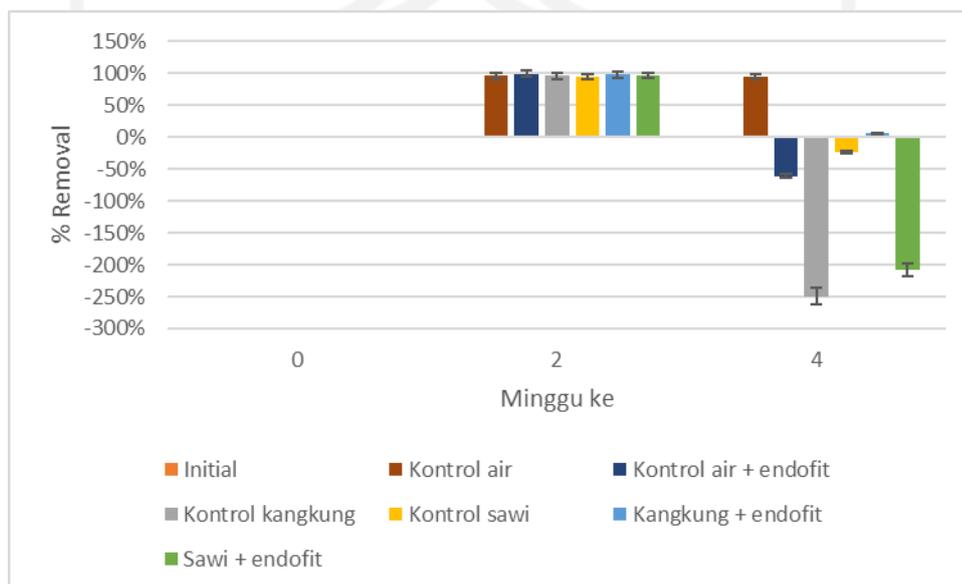
menyebabkan kondisi air menjadi keruh dan munculnya lumut di permukaan air yang disebut dengan *eutrophication*. Apabila tanaman dalam keadaan autotrof, oksigen di perairan menjadi berkurang yang menyebabkan tanaman menjadi mati dan air keruh sehingga menghambat proses fotosintesis dan berdampak pada kurangnya oksigen.

4.5.4 Reduksi Parameter Surfaktan

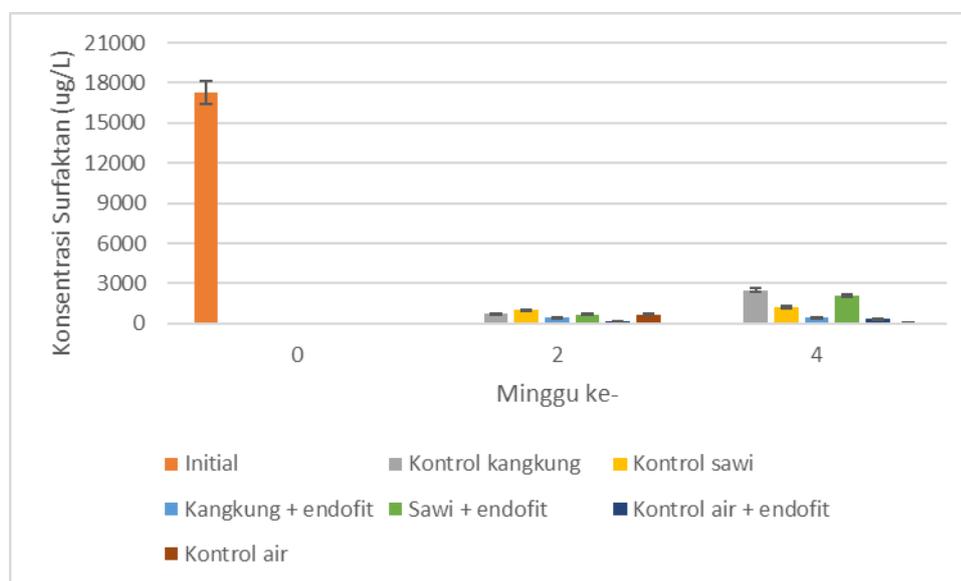
Kandungan surfaktan berasal dari deterjen seperti *sodium lauryl sulfat* (SLS), *sodium laureth sulfat* (SLS) atau *linear alkyl benzene sulfonate* (LAS) yang menghasilkan busa yang dapat menurunkan oksigen dalam air. Kandungan surfaktan dalam deterjen sekitar 20-30% (Pane, 2019). Berikut hasil pengukuran kadar surfaktan pada masing-masing tanaman berikut.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Air Parameter Surfaktan

Kode Sampel	Konsentrasi Surfaktan (ug/L) pada Minggu Ke-		
	0	2	4
<i>Initial</i>		-	-
Kontrol air + endofit	17.296	204,80	330,62
Kontrol air		683,86	40,28
Kontrol kangkung		712,90	2.488,80
Kontrol sawi		998,39	1.235,50
Kangkung + endofit		446,75	417,72
Sawi + endofit		669,35	2.062,97



Gambar 4. 20 Grafik Persentase *Removal* Surfaktan



Gambar 4. 21 Grafik Konsentrasi Air Parameter Surfaktan

Berdasarkan hasil data di atas, konsentrasi *initial* air limbah sebesar 17.296 ug/L. Diketahui pada minggu ke 2 efisiensi penurunan tertinggi terjadi pada kontrol air endofit sebesar 99%, disusul dengan kangkung endofit sebesar 97%, kontrol air, kontrol kangkung, dan sawi endofit sebesar 96%, dan kontrol sawi sebesar 94%. Di minggu ke 4 efisiensi penurunan terjadi pada kontrol air sebesar 94% dan kangkung endofit sebesar 6%, namun kontrol kangkung, kontrol sawi, sawi endofit dan kontrol air endofit mengalami kenaikan konsentrasi. Berdasarkan PP No. 82 tahun 2001 untuk kelas IV tidak mengatur baku mutu untuk parameter surfaktan.

Dari kedua hasil tanaman tersebut dapat disimpulkan bahwa minggu ke 2 merupakan waktu optimum bagi bakteri dan tanaman menurunkan konsentrasi surfaktan. Jika dibandingkan kedua tanaman tersebut selama penelitian, endofit kangkung lebih unggul dalam menurunkan konsentrasi dari minggu ke 2 sampai 4. Sedangkan pada kolam perlakuan dan kontrol tanaman sawi kurang optimal dalam menurunkan konsentrasi surfaktan, hal ini terlihat dari pertumbuhan sawi yang semakin kerdil dan mati. Dijelaskan dalam penelitian Yasin *et al.*, (2021) bahwa efisiensi *removal* surfaktan dengan sistem FTW dan konsorsium bakteri pendegradasi hidrokarbon dimana penurunan

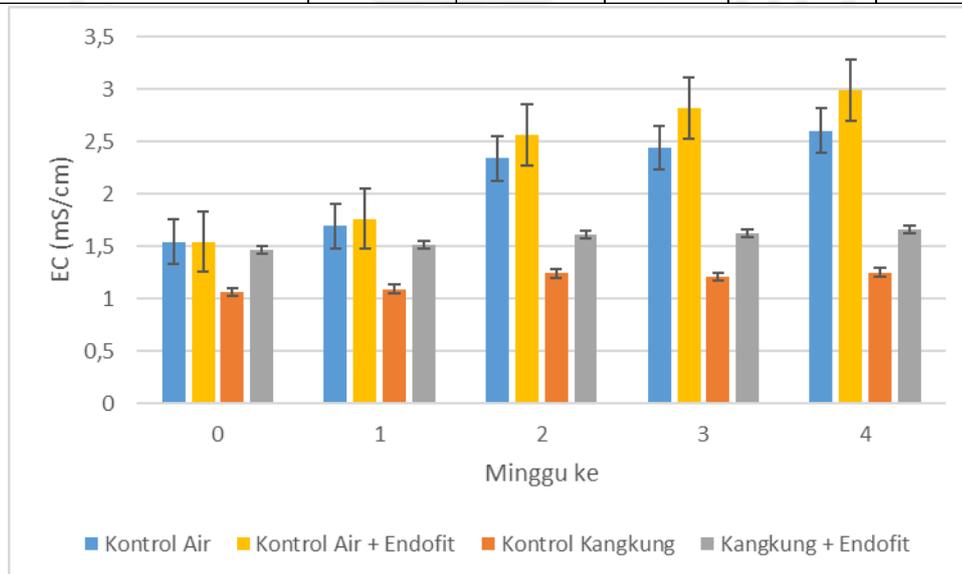
kadar pH dalam air limbah dapat mempengaruhi degradasi surfaktan oleh bakteri yang menghasilkan CO₂ yang bereaksi dengan O₂ di dalam air dan menghasilkan asam karbonat.

4.5.5 Pengujian EC (*Electrical Conductivity*)

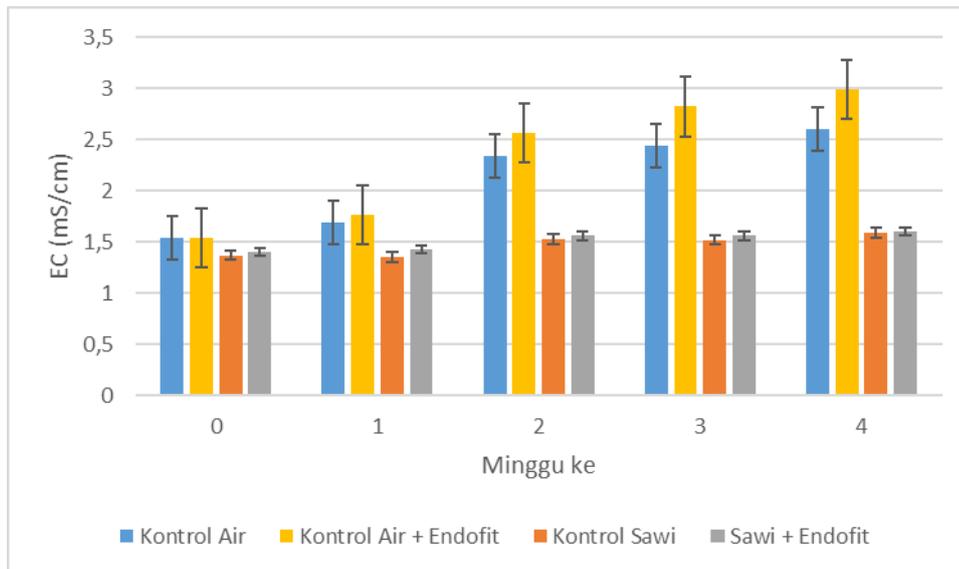
Pengukuran kadar EC dilakukan untuk mengetahui kemampuan air limbah dalam menghantarkan listrik yang berkaitan dengan kepekatan air limbah dinyatakan dalam mS/cm. Nilai EC yang diukur yaitu komposisi nutrisi yang terlarut dalam air limbah. Berikut hasil pengukuran EC pada masing-masing tanaman berikut.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian EC Air Limbah Tiap Minggu

Kode	Kadar EC Air (mS/cm) pada Minggu ke-				
	0	1	2	3	4
Kontrol air + endofit	1,54	1,76	2,56	2,82	2,99
Kontrol air	1,54	1,69	2,34	2,44	2,60
Kontrol sawi	1,37	1,35	1,53	1,52	1,59
Kontrol kangkung	1,06	1,09	1,24	1,21	1,25
Kangkung + endofit	1,46	1,51	1,61	1,62	1,66
Sawi + endofit	1,40	1,43	1,56	1,56	1,60



Gambar 4. 22 Grafik Kadar EC Air Limbah Tanaman Kangkung



Gambar 4. 23 Grafik Kadar EC Air Limbah Tanaman Sawi

Berdasarkan hasil data di atas, nilai EC tertinggi terjadi pada kontrol air dan kontrol air endofit dibandingkan kolam perlakuan tanaman. Sedangkan untuk tanaman hidroponik, nilai EC ideal bagi tanaman sawi yaitu 2,0-3,1 mS/cm sedangkan kangkung yaitu 2,0-2,1 mS/cm (Nuruzzaman, 2020). Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmad *et al* (2019) mengemukakan bahwa nilai EC optimum untuk pertumbuhan selada romain menggunakan air limbah *laundry* sebesar 0,8-0,8074 mS/cm dengan hasil tanaman yang sehat. Jika dibandingkan nilai EC keseluruhan perlakuan mengalami fluktuasi. Naik turunnya nilai EC berpengaruh pada kemampuan tanaman dalam proses penyerapan nutrisi dalam air yang berdampak pada metabolisme tanaman, aktivitas enzim, fotosintesis, dan penyerapan ion air limbah oleh akar tanaman. Kadar EC yang tinggi menandakan kemampuan tanaman menyerap nutrisi tidak maksimal. Namun, rendahnya nilai EC berdampak pula pada kesehatan tanaman salah satunya daun terlihat hangus. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai EC yaitu suhu, semakin tinggi suhu pada air maka nilai EC semakin tinggi. Hal ini karena tingginya suhu mempengaruhi ketersediaan oksigen yang berdampak pada pH air (Suseno *et al.*, 2020). Disebutkan dalam penelitian Nuruzzaman (2020), nilai EC yang

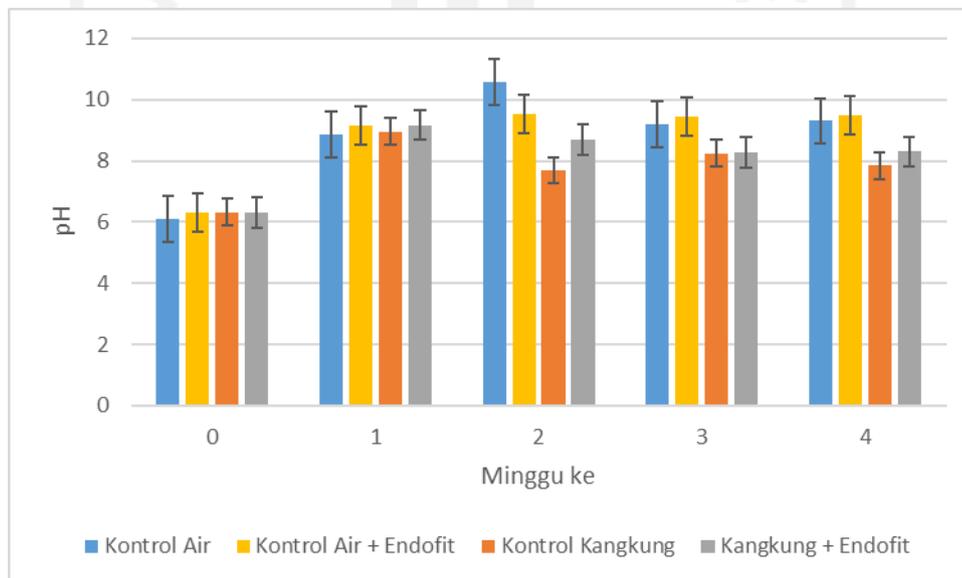
terlalu tinggi dan rendah berdampak pada pertumbuhan tanaman terhambat/stagnan, bersifat toksik, dan sel-sel mengalami plasmolisis.

4.5.6 Pengujian Derajat Keasaman (pH)

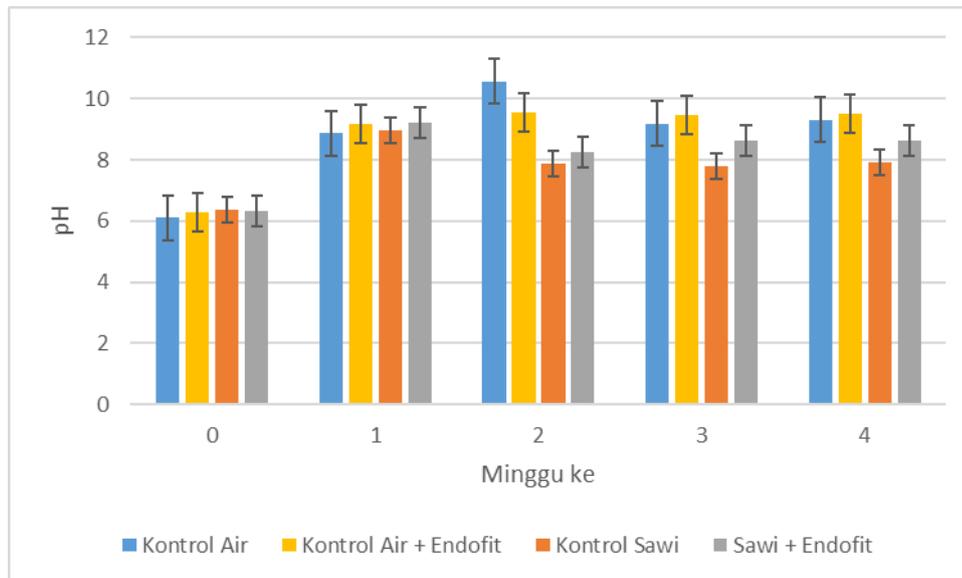
Pengukuran derajat keasaman (pH) dilakukan untuk mengetahui ion hidrogen yang terkandung dalam air limbah. Kadar pH dalam air limbah berkaitan pada aktivitas enzim-enzim perombak alkylbenzenesulfonates, yaitu air limbah (*greywater*) yang mengandung deterjen akan menaikkan kadar pH. Berikut hasil nilai ph pada masing-masing kolam dan kontrol sebagai berikut.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Kadar pH Tiap Minggu

Kode	Kadar pH Air pada Minggu ke-				
	0	1	2	3	4
Kontrol air + endofit	6,3	9,17	9,54	9,46	9,49
Kontrol air	6,1	8,86	10,57	9,19	9,31
Kontrol sawi	6,35	8,96	7,86	7,80	7,91
Kontrol kangkung	6,32	8,95	7,68	8,24	7,84
Kangkung + endofit	6,3	8,95	7,68	8,24	7,84
Sawi + endofit	6,31	9,22	8,24	8,62	8,62



Gambar 4. 24 Grafik Kadar pH Air Limbah Tanaman Kangkung



Gambar 4. 25 Grafik Kadar pH Air Limbah Tanaman Sawi

Berdasarkan hasil data di atas menunjukkan bahwa nilai pH tiap kolam berfluktuatif, dimana nilai pH berbanding lurus dengan kadar EC. Nutrisi air limbah pada masing-masing kolam perlakuan dan kontrol berbeda-beda yang mempengaruhi nilai pH, hal ini berkaitan dengan garam-garam yang terkandung dalam air limbah (*greywater*). Nilai pH optimum tanaman hidroponik sawi dan kangkung 5,5-6,5 (Nuruzzaman, 2020). Namun nilai pH pada air limbah yang mengandung deterjen mencapai 9,6 (Sulistiyani *et al.*, 2010). Sehingga nilai pH dalam penelitian ini tidak efektif bagi pertumbuhan tanaman sayur karena bersifat basa.

Peningkatan nilai pH dapat disebabkan adanya penguraian CO₂ dalam air limbah selama proses fotosintesis yang membentuk asam karbonat dan bikarbonat menjadi sedikit karena adanya reaksi antara H₂O dan CO₂. Sehingga ion H⁺ menjadi berkurang dan pH air meningkat (Hermawati, 2005). Dalam penelitian ini, nilai pH berpengaruh pada jumlah populasi bakteri endofit *indigenous* dimana di minggu ke 4 rata-rata nilai pH mengalami penurunan sebanding dengan populasi bakteri pada kolam endofit kangkung, endofit sawi, kontrol kangkung, dan kontrol sawi. Berbeda dengan kontrol air endofit dan kontrol air mengalami kenaikan populasi bakteri. Disebutkan dalam penelitian Adejumo dan Orole (2010) bahwa bakteri dapat hidup pada kondisi pH tertentu

artinya sebagian bakteri dapat hidup di pH rendah atau tinggi. Hubungan antara bakteri dengan nilai pH berdampak pada laju reaksi enzimatik dan pertumbuhan bakteri (Pambudi, 2020). Hasil data tersebut dibandingkan dengan PP No. 82 Tahun 2001 baku mutu kelas IV untuk parameter pH yaitu 5-9 mg/L sehingga masih memenuhi baku mutu, kecuali untuk kontrol air dan kontrol air endofit.



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan bahwa hasil efisiensi penyisihan parameter COD, fosfat, surfaktan, EC, dan pH pada kolam tanaman *Brassica juncea L.* dan *Ipomoea aquatica* dengan penambahan bakteri endofit *indigenus* tidak terlalu berbeda dengan hasil pada kolam kontrol tanaman tanpa penambahan bakteri endofit *indigenus*. Hal ini dikarenakan kemampuan antara kedua jenis tanaman dan bakteri endofit *indigenus* berbeda dalam penyisihan polutan. Pengaruh bakteri endofit *indigenus* pada kolam tanaman *Brassica juncea L.* dan *Ipomoea aquatica* tidak memberikan keuntungan dalam biomassa sehingga biomassa pada kontrol tanaman lebih bagus dibandingkan perlakuan

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian parameter awal air limbah per kolam untuk mengetahui konsentrasi masing-masing sehingga mendapatkan hasil yang representatif.
2. Dilakukan pengujian bakteri endofit *indigenus* hingga tahap genus untuk mengetahui jenis bakteri dan uji efektivitas kemampuan bakteri dalam menurunkan polutan.
3. Penelitian ini perlu dilanjutkan dalam skala luas untuk mengetahui potensi bakteri endofit *indigenus* dan tanaman agrikultur dalam mereduksi senyawa organik dan anorganik air limbah (*greywater*).



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR PUSTAKA

- Adejumo, T. O., Orole, O. O. 2010. Effect of pH dan Moisture Content on Endophytic Colonization of Maize Roots. *Scientific Research and Essays*. 5(13): 1655-1661.
- Agbogbo, V. N., Umoh, V. J., Okuofu, C. A., Smith, S. I., Ameh, J. B. 2005. Study of the Bacteriological and Physicochemical Indicators of Pollution of Surface Waters in Zarian, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*. 5(9): 732-737.
- Ahmad, A. M., Lutfi, M., Herwati, F. C. 2019. Pengaruh EC (Electro Conductivity) dari Limbah Cair (Slurry) dan Warna Pipa Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada Romain (Lettuce Romain) pada Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 7(1): 27-42.
- Aisah, A. R., Soekarno, B. P. W., Achmad. 2015. Isolasi dan Identifikasi Cendawan yang Berasosiasi dengan Penyakit Mati Pucuk pada Bibit Jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 12(3): 153-163.
- Ali, A., Soemarno., Purnomo, M. 2013. Kajian Kualitas Air dan Status Mutu Air Sungai Metro di Kecamatan Sukun Kota Malang. *Jurnal Bumi Lestari*. 13(2): 265-274.
- Aonghusa, C. N., Gray, N. F. 2002. Laundry Detergents As A Source of Heavy Metals in Irish Domestic Wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*. 37 (1): 1-6.
- Avleda, E. 2009. Penggunaan Tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Forsk.) dan Genjer (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Bandung: *Tesis Pascasarjana Biologi Institut Teknologi Bandung*.
- Aziz, N. I.H., Hanafiah, M. M., Halim, N, H., Fidri, P. A. S. 2020. Phytoremediation of TSS, NH₃-N and COD from Sewage Wastewater by *Lemna minor* L., *Salvinia minima*, *Ipomea aquatica* and *Centella asiatica*. *Applied Science*. 10(16): 1-12.
- Barac, T., Taghavi, S., Borremans, B., Provoost, A., Oeyen, L., Colpaert, J. V., Vangronsveld, J., van der Lelie, D. 2004. Engineered Endophytic Bacteria Improve Phyto-remediation of Water-soluble, Volatile, Organic Pollutants. *Nat Biotechnol*. 22: 583-588.

- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., Tognotti, F. 2009. Demonstration of A Treatment System For Purification And Reuse of Laundry Wastewater. *Desalination*. 245: 451–459.
- Desriani., Safira, U. M., Bintang, M., Rivai, A., Lisdiyanti, P. 2014. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit dari Tanaman Binahong dan Ketepeng Cina. *Artikel Penelitian*. 3(2): 89 - 93.
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P., Muthu, N. 2014. Characterization of Domestic Gray Water From Point Source to Determine The Potential For Urban Residential Reuse: A Short Review. *Applied Water Science*. 4: 39-49.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Eilersen, A. M., Henze, M., Ledin, A. Household Chemicals And Personal Care Products As Sources For Xenobiotic Organic Compounds in Grey Wastewater. *Water SA*. 29 (2): 135-146.
- Fadhillah, R. H., Dwiratna, S., Amaru, K. 2019. Kinerja Sistem Fertigasi Rakit Apung pada Budi Daya Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans Poir.*). *Jurnal Pertanian Tropik*. Vol. 6 No. 2 p: 165-179.
- Fajri, H. R., Zakiyyah, U., Supriyadi, K. 2020. Alat Pengukuran pH Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*. 1(2): 35-43.
- Fatta-Kassinou D., Kalavrouziotis I. K., Koukoulakis P. H., Vasquez M. I. 2011. The Risks Associated with Wastewater Reuse and Xenobiotics in The Agroecological Environment. *Science Total Environment*.
- Fidiastuti, H. R., Suarsini, E. 2017. Potensi Bakteri Indigen Dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara In Vitro. *Bioeksperimen*. 3(1): 1-10.
- Franklin, V. F., Riascos, S. M., Herrera, T. G. 2021. Are Endophytic Bacteria an Option for Increasing Heavy Metal Tolerance of Plants? A Meta-Analysis of the Effect Size. *Frontiers in Environmental Science*.
- Ginting, R. A. 2020. Penentuan Kadar Fosfat (PO₄) Pada Air Limbah Menggunakan Spektrofotometer Visible Pada PT. Sucofindo Medan. *Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara*.

- Hakim, L. 2016. Pengolahan Limbah Laundry dengan Menggunakan Tanaman Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*). *Tesis. ITS.*
- Hali, M. H. B. 2010. Biosorption of Ferrum (II) from Industrial Wastewater by Using Water Spinach (*Ipomoea aquatica*). *Report Project.* Universiti Malaysia Pahang.
- Handayani, N. I. 2015. Pemanfaatan Konsorsium Mikroba Untuk Meningkatkan Kinerja Ssitem Lumpur Aktif. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri.* 6(1): 17-22.
- Hapsari, J. E., Amri, C., Suyanto, A. 2018. Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Sebagai Fitoremediasi Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik. *Jurnal Analytical and Environmental Chemistry.* 3(1): 30-37.
- Haryati, M., Purnomo, T., Kuntjoro, S. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava*) (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *LenteraBio.* 1(3): 131-138.
- Hermawati, E. 2005. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Genjer (*Limnocharis flava L.*). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan.* Vol 7 No. 2 p: 100-114.
- Hidayatullah, A. 2020. Kajian Produksi Tanaman Sawi (*Brassica juncea L.*) dengan Metode Hidroponik AJB (Aji Buhin) dalam Green House. *Skripsi. Universitas Muhammadiyah Mataram.*
- Hoffman, J., Platzer, M., Winker, M., Muench, E. 2011. Technology Review of Constructed Wetlands. *Deutsche Geselischatft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) FmbhH, Jerman.*
- Ifanto, I., Suprihati. 2019. Pengaruh EC Saat Pembibitan Terhadap Hasil Sawi (*Brassica juncea L.*) Metode Hidroponik Sistem Apung. *Jurnal Agritech.* 22(2): 118-128.
- Irhamni., Pandia, S., Purba, E., Hasan, W. 2017. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering.* 1(2): 75-84.

- Islam, M. M. M., Shafi, S., Bandh, S. A., Shameem, N. 2019. Chapter 3 - Impact of Environmental Changes and Human Activities on Bacterial Diversity of Lakes. *Freshwater Microbiology*. 105-136
- Istarofah., Salamah, Z. 2017. Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.) dengan Pemberian Kompos Berbahan Dasar Daun Paitan (*Tithonia diversifolia*). *Jurnal Bio-site*. 3(1): 39-46.
- Jakobi, G., Lohr, A. 1987. Detergents and Textile Washing. VCH, Weinheim.
- Kantasubrata, J. 2008. Jaminan Mutu Data Hasil Pengujian: Kontroll Sampel dan Aplikasinya. *RC Chem Learning Centre*. Bandung.
- Kresna, I. G. P. D. B., Sukerta, I. M., Suryana, I. M. 2016. Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* P.) pada Tanah Aluvial Coklat Kelabu. *Skripsi. Universitas Mahasaraswati Denpasar*.
- Kumalasari, N. 2005. Penurunan Konsentrasi BOD₅, COD, TSS, dan CN Limbah Cair Tapioka dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*). *Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia*.
- Kumar, B. L., Gopal, D. V. R. S. 2015. Effective Role of Indigenous Microorganisms for Sustainable Environment. *Biotech*. 5(6): 867-876.
- Li, H., Wei, D., Shen, M., Zhou, Z. 2012. Endophytes and Their Role in Phytoremediation. *International Journal of Mycology*. Vol. 54 No. 1 p: 11 - 18.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A., Clark, D. P. 2011. *Biology of Microorganisms Thirteenth Edition*. Pearson.
- Mardalena. 2016. Fase Pertumbuhan Isolat Bakteri Asam Laktat (BAL) Tempoyak Asal Jambi yang Disimpan pada Suhu Kamar. ISSN 1978-3000.
- Mudatsir. 2007. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kehidupan Mikroba Dalam Air. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. Vol. 7 No. 1 p: 23-29.
- Nair, D. N., Padmavathy, S. 2014. Review Article Impact of Endophytic Microorganisms on Plants Environment and Humans. *The Scientific World Journal*. Vol. 250693 p: 1 - 11.

- Nursafrina, N. 2021. Respon Fisiologi Sawi Caisim (*Brassica juncea* L.) Akibat Penurunan Ketersediaan Air Tanah. *Skripsi. Universitas Sumatera Utara: Medan.*
- Nuruzzaman, M, F. 2020. Kajian Perubahan Suhu Lingkungan terhadap Kondisi Larutan Nutrisi pada Rakit Apung dan Autopot Modifikasi. Tesis. Universitas Padjajaran.
- Oliveira, G. A., Colares, G. S., Lutterbeck, C. A., DellÓsbel, N., Machado, E. L., Rodrigues, L. R. 2021. Floating Treatment Wetlands in Domestic Wastewater Treatment As A Decentralized Sanitation Alternative. *Science of The Total Environment.* 773: 1-15.
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., deVries, N. K. 2018. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception. *Water Air Soil Pollution*, 229(8): 255.
- Pambudi, I. N. 2020. Perubahan Parameter Fisika dan Proses Biodegradasi Limbah Tenun Oleh Bakteri Endofit. *Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia.
- Pane, F. A. Studi Penurunan COD dan Fosfat pada Air limbah Laundry Secara Aerob Tersuspensi dan Fitoremediasi Dengan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*). *Tugas Akhir.* USU.
- Pardamean, W. A., Islamy, R. A., Hasan, V., Herawati, E. Y., Mutmainnah, N. 2021. Identification and Physiological Characteristics of Potential Indigenous Bacteria as Bioremediation Agent in the Wastewater of Sugar Factory. *Sains Malaysiana.* 50(2): 279-286.
- Ponty, A. J. 2018. Studi Perbandingan Kemampuan Tanaman Eceng Gondok dan Kangkung Air Dalam Menurunkan COD dan Amonia dari Pengolahan Lanjut Biofilter Anaerob Media Sarang Tawon. *Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara.*
- Putri, M. H., Sukini., Yodong. 2017. Mikrobiologi. Bahan Ajar Keperawatan Gigi. *Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan.*
- Putri, S. A. 2014. Pemanfaatan Bakteri Heterotrof terhadap SR (Survival Rate) dan Laju Pertumbuhan Ikan Lele Dumbo (*Clarias* sp.) dengan Sistem Tanpa Pergantian Air. *Skripsi. Universitas Airlangga.*

- Rana, A., Setiawa, M. R., Suriadikusumah, A. 2018. Pengaruh Pupuk Hayati dan Anorganik Terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat, Kandungan Fosfat (P) dan Hasil Tomat Hidroponik. *Jurnal Biodjati*. 3(1):
- Riyanto. 2002. Validasi dan Verifikasi Metode Uji Sesuai Dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi. Yogyakarta: Deepublish.
- Rukamana, R. 2006. Bertanam Kangkung. Kanisius: Jakarta.
- Said, N. I., Utomo, K. 2007. Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Lumpur Aktif yang Diisi dengan Media Bioball. *Jurnal Air Indonesia*. 3(2): 160-174.
- Said, N.I., Firly. 2005. Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *Jurnal Air Indonesia*. 1(3): 289-303.
- Sari, M. R. 1995. Pengolahan Limbah Cair Tapioka Secara Biologis Menggunakan Eceng Gondok, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, dan Mikroba Rizosfirnya. Bandung: *Tesis Pascasarjana Biologi Institut Teknologi Bandung*.
- Sarif, P., Hadid, A., Wahyudi, I. 2015. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) Akibat Pemberian Berbagai Dosis Pupuk Urea. *Jurnal Agrotekbis*. 3(5): 585-590.
- Saropah, D. A., Jannah, A., Maunatin, A. 2013. Kinetika Reaksi Enzimatis Ekstrak Kasar Enzim Selulosa Bakteri Selulolitik Hasil Isolasi dari Bekatul. *Alchemy*.
- Seniati., Marbiah., Irham, A. 2019. Pengukuran Kepadatan Bakteri *Vibrio harveyi* Secara Cepat Dengan Menggunakan Spektrofotometer. *Jurnal Agrokompleks*. 19(2): 12-19.
- Shehzadi, M., Fatima, K., Imran, A., Mirza, M. S., Khan, Q. M., Afzal, M. 2015. Ecology of Bacterial Endophytes Associated with Wetland Plants Growing in Textile Effluent for Pollutant-degradation and Plant Growth-promotion Potentials. *National Library of Biological Science*.
- Sitorus, N. B. 2017. Pendeteksian pH Air Menggunakan Sensor pH meter V1.1 Berbasis Arduino Nano. *Skripsi. Universitas Sumatera Utara: Medan*.

- Sujaya, I. N. 2016. Penuntun Praktikum Mikrobiologi. *Universitas Udayana*.
- Sulaeman., Suparto., Eviati. 2005. Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. *Balai Penelitian Tanah*.
- Sulistiyani, E., Fitriiningtyas, M. 2010. Pengendalian Fouling Membrane Ultrafiltrasi Dengan Sistem Automatic Backwash dan Pencucian Membran. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Undip*. Semarang.
- Suoth, A. E., Purwati, S. U., Andiri, Y. 2018. Pola Konsumsi Air pada Perumahan Teratur Studi Kasus Konsumsi Air di Perumahan Griya Serpong Tangerang Selatan. *Jurnal Ecolab*. 12 (2): 53-102.
- Supriyatno, B. 2000. Pengelolaan Air Limbah yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 1(1): 17-26.
- Susanawati, L. D., Wirosedarmo, R., Santoso, G. A. 2016. Pemanfaatan Limbah Cair Greywater Untuk Hidroponik Tanaman Sawi (*Brassica juncea*). *Jurnal Sumber Daya Alam Lingkungan*. 3(2): 14-20.
- Suseno., Widyawati, N. 2020. Pengaruh Nilai EC Berbagai Pupuk Cair Majemuk Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Kangkung Darat pada Soilless Culture. *Jurnal Penelitian Agronomi*. 22(1): 12-15.
- Ulfah, R. 2018. Pengukuran Electro Conductivity pada Larutan nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Atmega8535. *Skripsi. Universitas Sumatera Utara: Medan*.
- Vessey, J. K. 2003. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizer. *Plant Soil*. 571-586.
- Wiraatmaja, I. W. 2016. Pergerakan Hara Mineral Dalam Tanaman. Bahan Ajar. Universitas Udayana.
- Wirawan, W. A., Wirosedarmo, R., Susanawati, L. D. 2014. Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 1(2): 63-70.

- Yasin, M., Tauseef, M., Zafar, Z. Rahman, M., Islam, E. Iqbal, S., Afzal, M. 2021. Plant-Microb Synergism in Floating Treatment Wetlands for the Enhanced Removal of Sodium Dodecyl Sulphate from Water. *Journal Sustainability*. 13(5): 2883.
- Zhang, C.-B., Liu, W.-L., Pan, X.-C., Guan, M., Liu, S.-Y., Ge, Y., Chang, J., 2014. Comparison of Effects of Plant and Biofilm Bacterial Community Parameters on Removal Performances of Pollutants in Floating Island Systems. *Ecol Eng.* Vol. 73 p: 58 – 63.

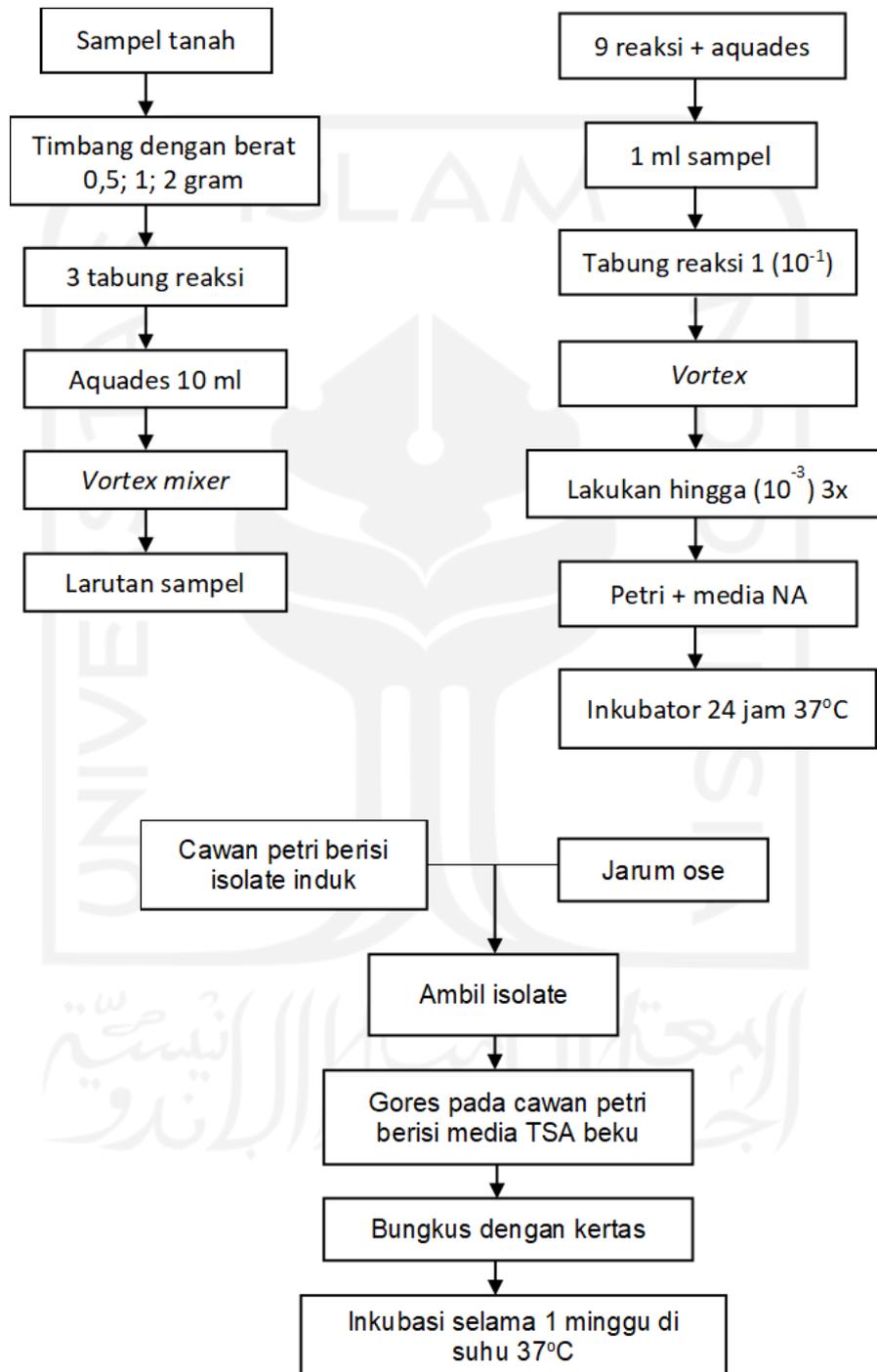




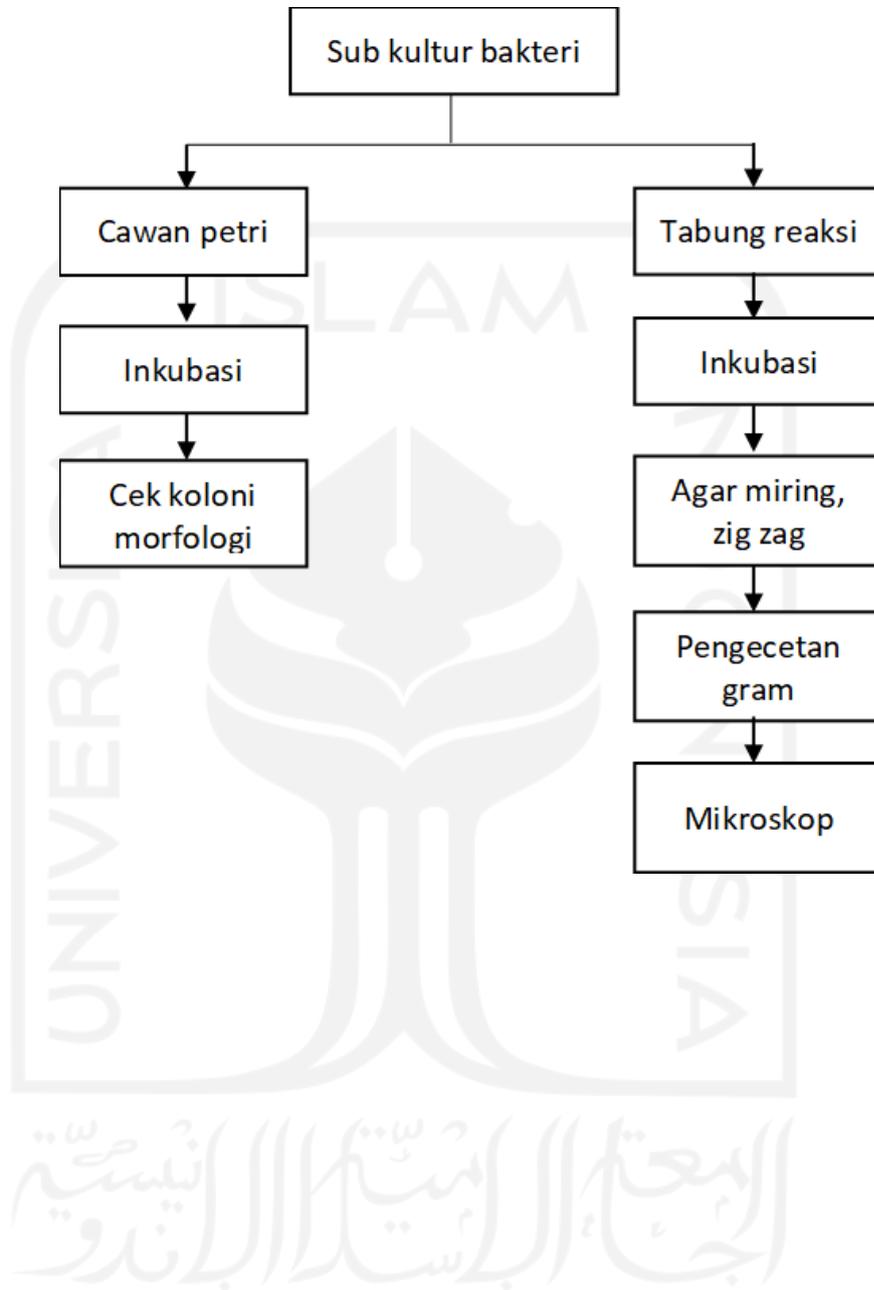
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

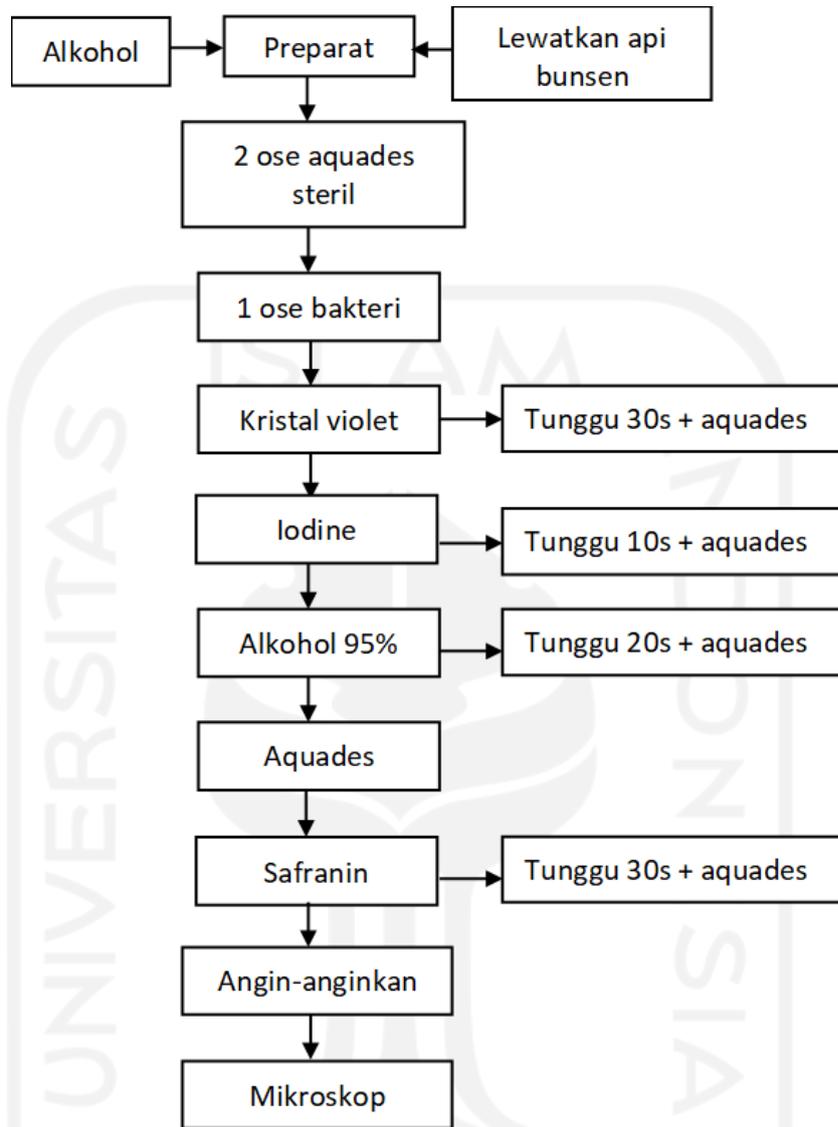
LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Isolasi Bakteri Endofit *Indigenus*



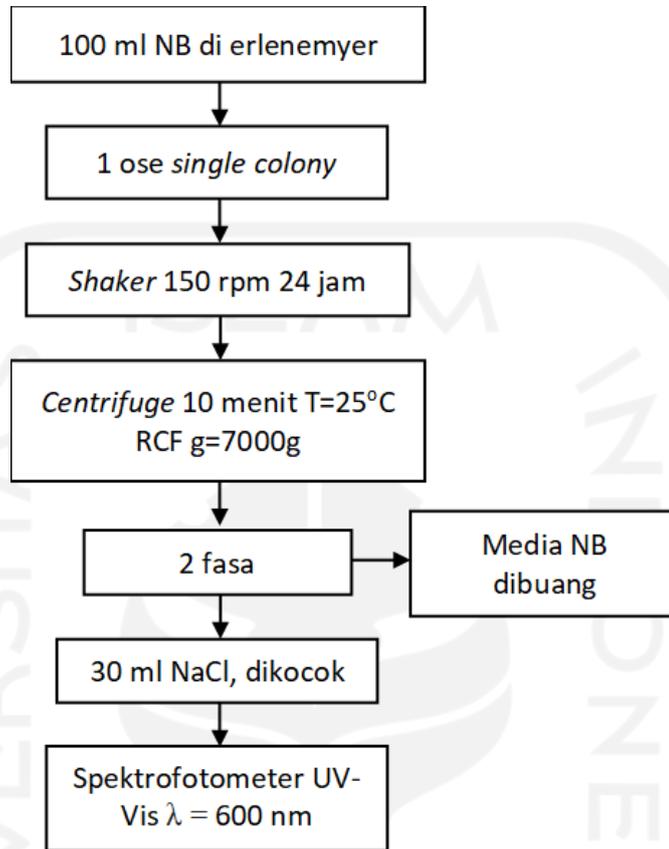
Lampiran 2 Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri



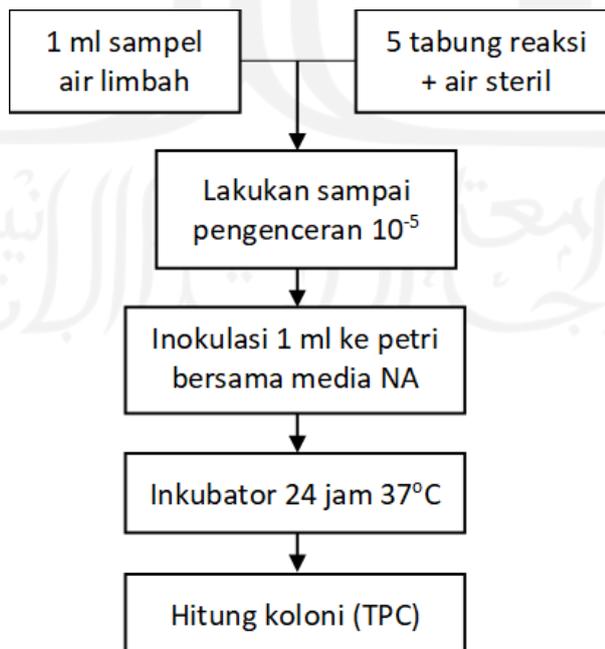


الجمهورية العربية السورية
 الجامعة الإسلامية
 البعثات الإسلامية والأندلسية

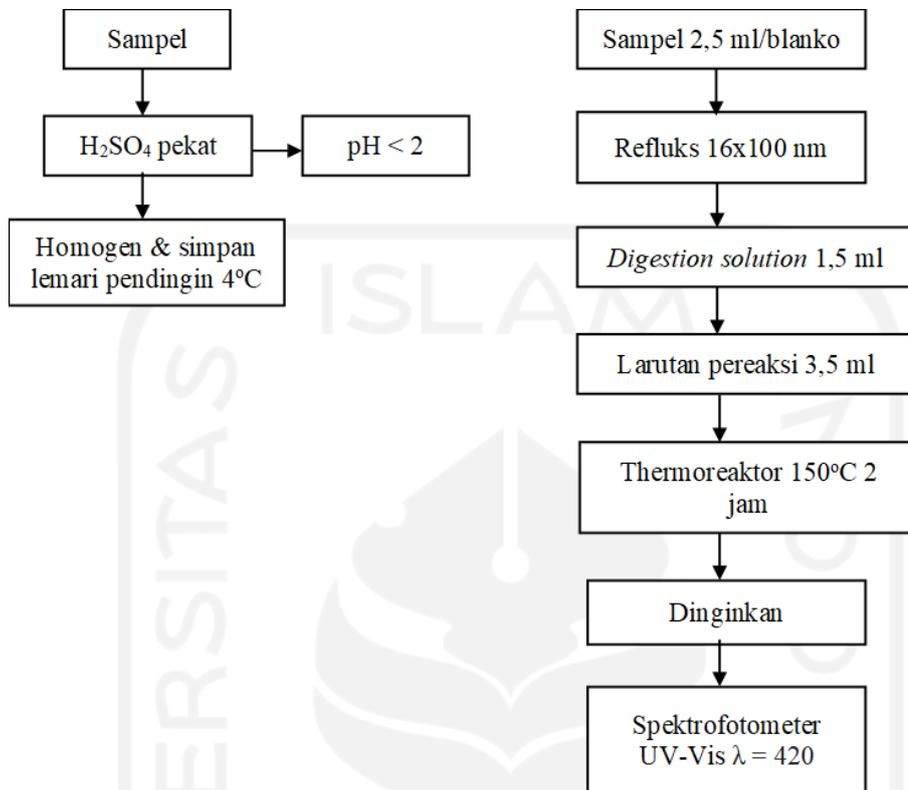
Lampiran 3 Pengujian OD Isolat Bakteri Endofit *Indigenus*



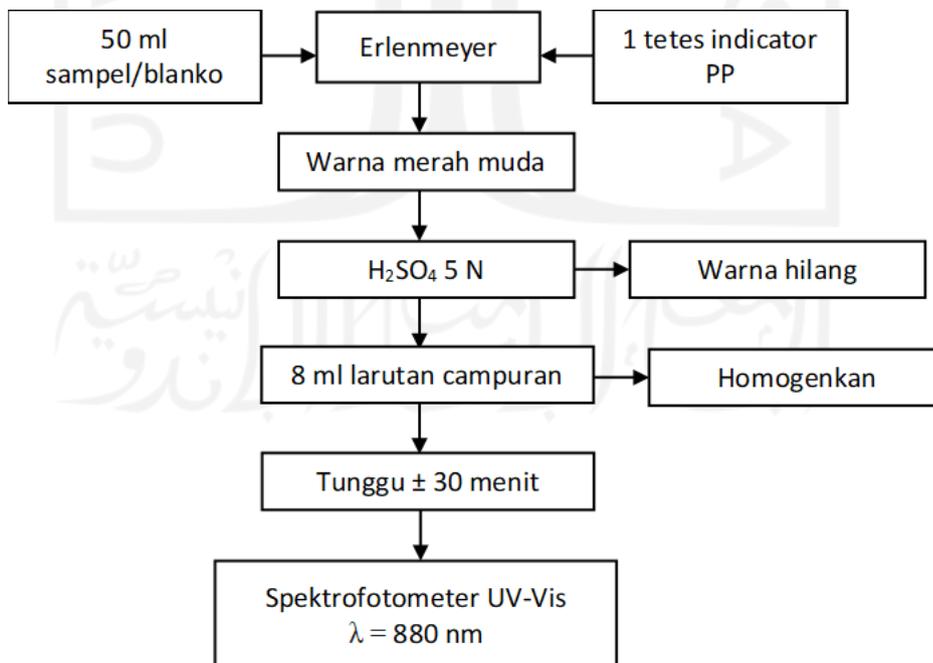
Lampiran 4 Perhitungan Populasi Bakteri Per Minggu



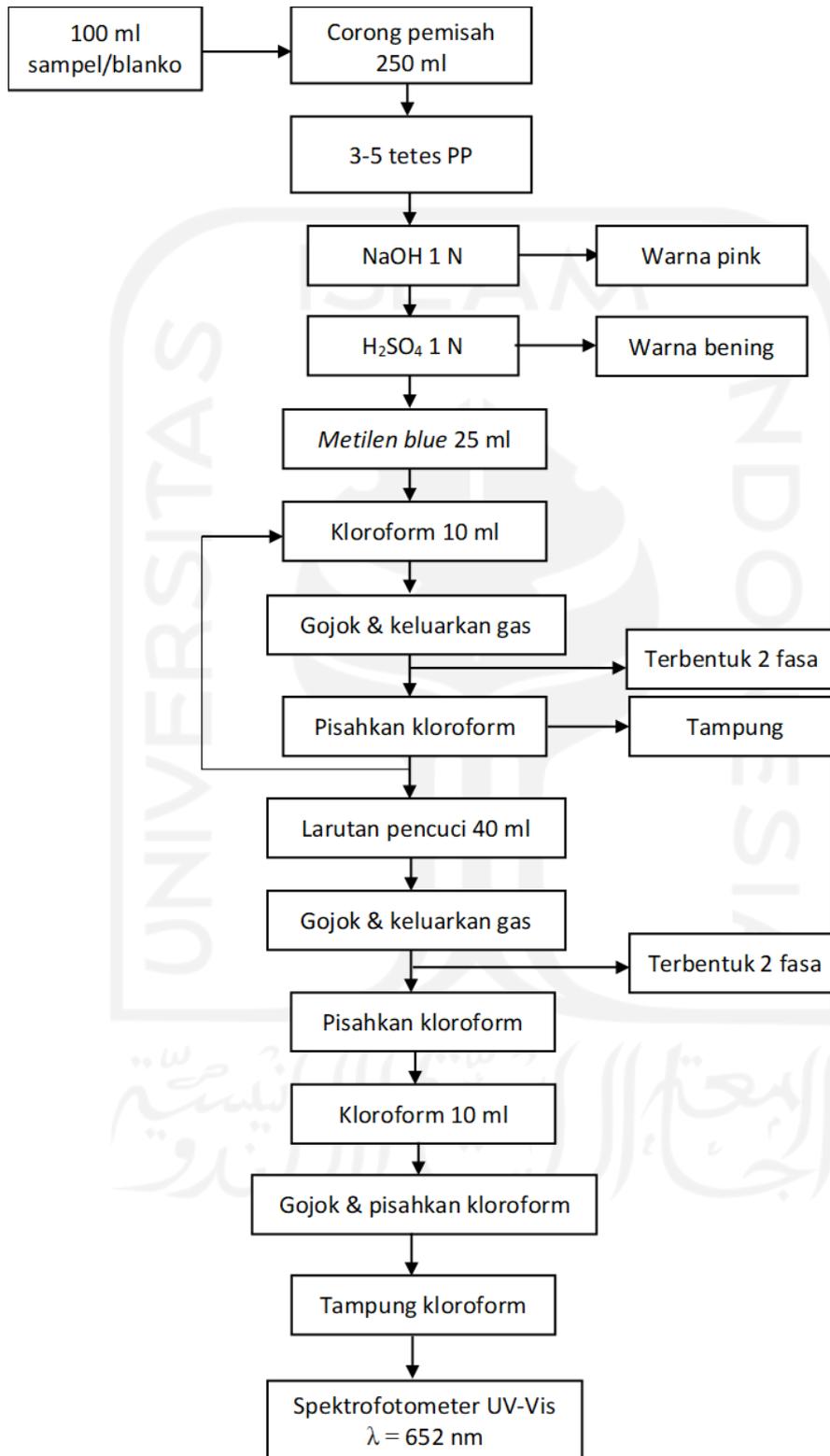
Lampiran 5 Pengujian COD



Lampiran 6 Pengujian Fosfat



Lampiran 7 Pengujian Surfaktan



Lampiran 8 Dokumentasi Lapangan dan Pengujian Sampel



Aklimatisasi tanaman perlakuan hari ke 1



Aklimatisasi tanaman kontrol hari ke 1



Kondisi Endofit-Kangkung Minggu ke 3



Kondisi Endofit-Sawi Minggu ke 3



Kondisi Kontrol Tanaman Minggu ke 3



Akar Kangkung Minggu ke 3



Kondisi Kontrol Air-Endofit Minggu ke 3



Kontrol Air Minggu ke 3



Kondisi Kontrol Sawi Positif Minggu ke 3



Kondisi Kontrol Kangkung Positif Minggu ke 3



Kondisi Endofit-Kangkung Minggu ke
4



Kondisi Endofit-Sawi Minggu ke 4





Kondisi Kontrol Kangkung Minggu ke 4



Kondisi Kontrol Sawi Minggu ke 4



Kondisi Kontrol Air Endofit Minggu ke 4



Kondisi Kontrol Air Minggu ke 4



Kondisi Endofit-Sawi Kutilang dan Kutu
Kebul Minggu ke 4



Kondisi Endofit-Kangkung
Terkena Kutu Kebul Minggu ke
4



Kondisi Endofit-Kangkung Terkena
Kutu Kebul



Kondisi Endofit-Sawi Mulai Mati di
Minggu ke 4



Kondisi Wetland Kolam Perlakuan



Kondisi Wetland Kolam Kontrol



Pemanenan Kangkung Positif (kiri), Kontrol Kangkung (tengah), Endofit Kangkung (kanan)



Pemanenan Kondisi Batang dan Daun Kangkung Positif (kiri), Kontrol Kangkung (tengah), Endofit Kangkung (kanan)



Pemanenan Akar Kangkung Positif (kiri), Kontrol Kangkung (tengah), Endofit Kangkung (kanan)



Pemanenan Kondisi Endofit Kangkung



Pemanenan Kondisi Batang dan Daun Kontrol Sawi Positif (kiri), Kontrol Sawi (tengah), Endofit Sawi (kanan)



Pemanenan Kondisi Endofit Sawi



Inokulasi Sampel untuk Populasi Bakteri

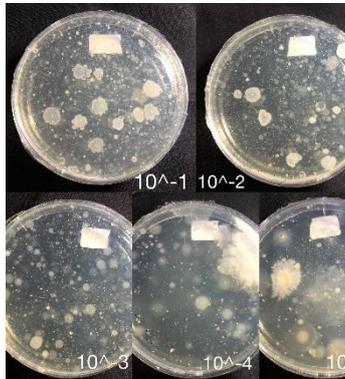


Shaker Bakteri Murni

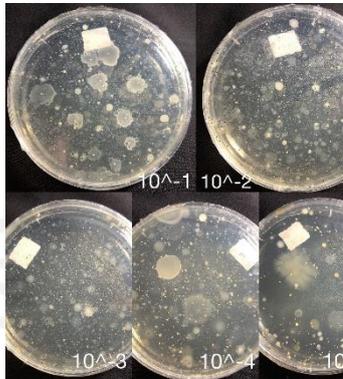


Sampel Bakteri untuk Pengujian OD

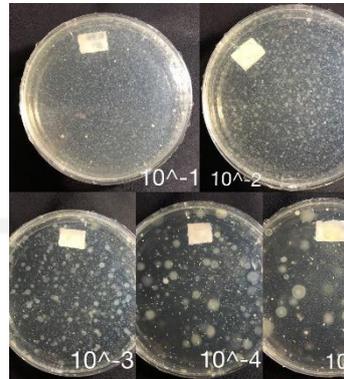
Lampiran 9 Foto Pengamatan Bakteri



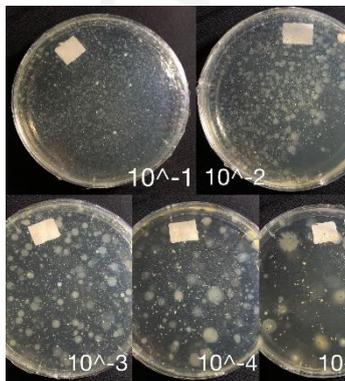
**Endofit Kangkung
(18/9/2021)**



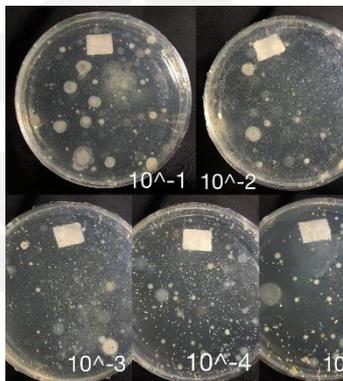
**Endofit Sawi
(18/9/2021)**



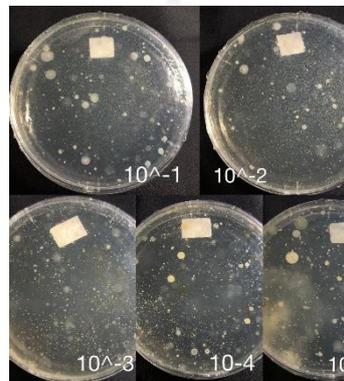
**Kontrol Kangkung
(18/9/2021)**



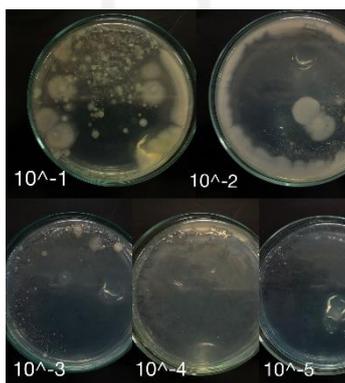
**Kontrol Sawi
(18/9/2021)**



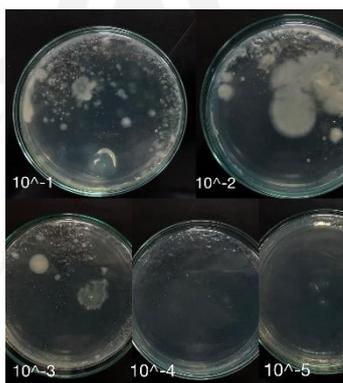
Kontrol Air (18/9/2021)



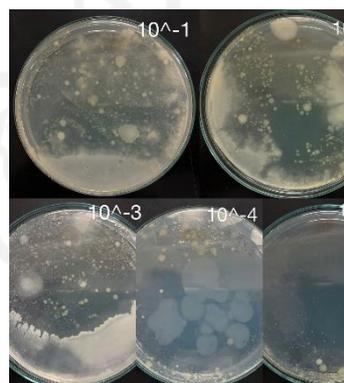
**Kontrol Air Endofit
(18/9/2021)**



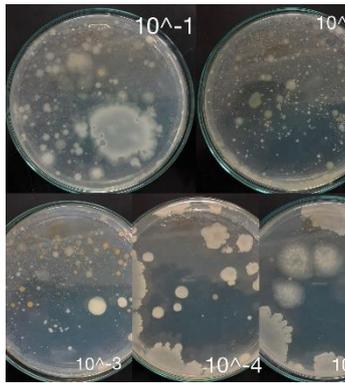
**Kontrol Kangkung
(3/10/2021)**



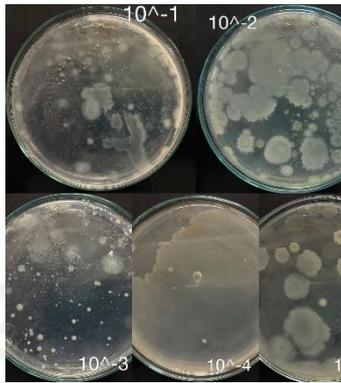
**Kontrol Sawi
(3/10/2021)**



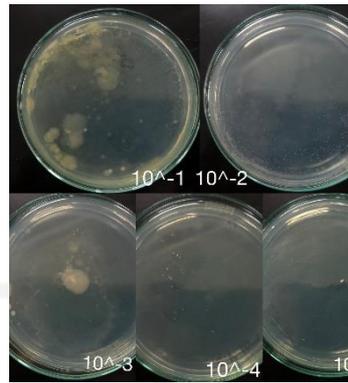
**Endofit Kangkung
(3/10/2021)**



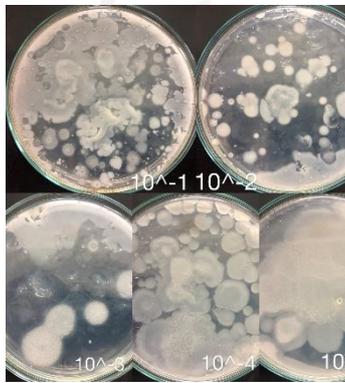
**Endofit Sawi
(3/10/2021)**



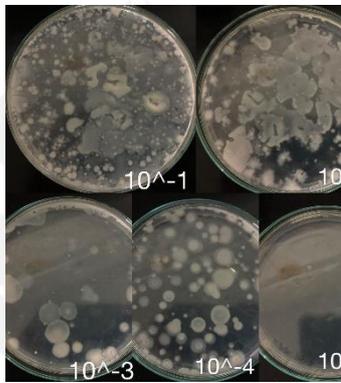
**Kontrol Air
(3/10/2021)**



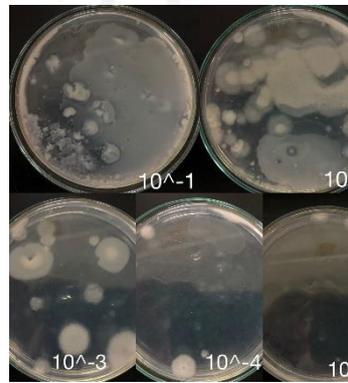
**Kontrol Air Endofit
(3/10/2021)**



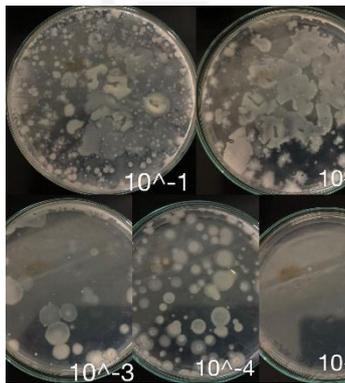
**Kontrol Kangkung
(11/10/2021)**



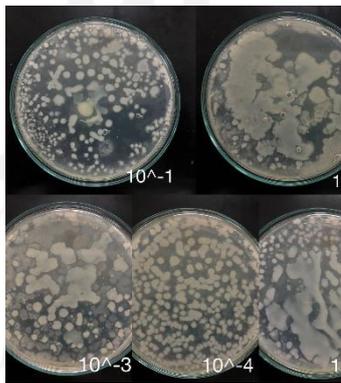
**Kontrol Kangkung
(3/10/2021)**



**Endofit Sawi
(11/10/2021)**



**Endofit Kangkung
(11/10/2021)**



**Kontrol Air
(11/10/2021)**



**Streak IV Quadrant
Bakteri Sampel E1**



Streak IV Quadrant Bakteri
Sampel E2



Streak IV Quadrant Bakteri
Sampel E3

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



RIWAYAT HIDUP

Nama lengkap : Zahra Hanantia Puteri
Tempat dan tanggal lahir : Semarang, 6 Oktober 1998
Status anak : Putri ke-1 dari 3 bersaudara
Nama bapak : Sigid Widiyanto
Nama ibu : Dwiyanti Sri Wahyuningrum
Pendidikan penulis : - SMPN 9 Kota Bogor
- SMAN 4 Kota Bogor
- Universitas Islam Indonesia (2017-sekarang)

Kegiatan yang pernah dilakukan:

A. Kepanitian dan Organisasi

- Staff Divisi Dana Usaha *Organizing Committee Enviro Champions* 2018
- Staff Divisi Kesekretariatan Lintas Lingkungan 2019
- Kakak pembimbing Teknik Lingkungan Angkatan 2019
- Staff Divisi PSDM Al Mustanir 2018/2019
- Sekertaris Tabligh Akbar Al Mustanir 2019
- Staff Konsumsi Panitia Ramadhan Masjid Suciati 2019
- Staff Konsumsi Upgrading Al Mustanir 2019
- Staff Divisi PSDM Al Mustanir 2019-2020

B. Akademik

- Mahasiswa Berprestasi Akademik Terbaik Kedua Angkatan 2017
2018/2019
- Asisten biologi *basic science enrichment* Teknik Elektro UII 2021