TA/TL/2024/1897

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS KONSORSIUM BAKTERI *BACILLUS CEREUS, BACILLUS SPIZIZENII,* DAN *STENOTROPHOMONAS MALTHOPILIA* TERHADAP PERFORMA *WETLAND* MENDEGRADASI AMONIA (NH_3) PADA AIR LIMBAH TENUN

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

DARU FATHURAHMAN
20513157

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

2024

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS KONSORSIUM BAKTERI *BACILLUS CEREUS, BACILLUS SPIZIZENII,* DAN *STENOTROPHOMONAS MALTHOPILIA* TERHADAP PERFORMA *WETLAND* MENDEGRADASI AMONIA (NH_3) PADA AIR LIMBAH TENUN

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan

Disusun Oleh:

Daru Fathurahman
20513157

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
Tanggal: 26/6 2024

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
Tanggal: 26/6 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.
Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

EFEKTIVITAS KONSORSIUM BAKTERI *BACILLUS CEREUS, BACILLUS SPIZIZENII,* DAN *STENOTROPHOMONAS MALTHOPILIA* TERHADAP PERFORMA *WETLAND* MENDEGRADASI AMONIA (NH_3) PADA AIR LIMBAH TENUN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 15 Oktober 2024

Disusun oleh:

Daru Fathurahman
20513157

Tim Penguji:

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. (23/10/24)

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

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. ( )

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 tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran 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, 22 Oktober 2024
Yang membuat pernyataan,



Daru Fathurahman
NIM: 20513157

PRAKATA

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta`ala* yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Efektifitas Konsorsium Bakteri *Bacillus cereus, Bacillus spizizenii,* dan *Strenotrophomonas malthopilia* Terhadap Performa *Wetland* Mendegradasi Amonia (NH_3) Pada Air Limbah Tenun", sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasihat dari berbagai pihak selama penyusunan Tugas Akhir ini. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku dosen yang telah memberikan bantuan dan dukungan penuh kepada penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta telah memberikan pencerahan dalam mengolah data kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 atas segala bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukannya.
4. Sosok yang menginspirasi penulis yaitu Ayahanda Sujatmiko. Terima kasih atas tiap tetes keringat dalam setiap langkah mencari nafkah untuk memenuhi kebutuhan finansial penulis selama ini. Serta ribuan do'a yang telah dilangitkan untuk keberhasilan penulis dalam menggapai cita-cita ini.
5. Pintu surgaku, sosok perempuan yang kuat, penyanyang dan memiliki kesabaran yang tinggi yaitu Ibunda Andi Nuryani. Terima kasih atas kasih sayang, semangat, ridho, dan do'a yang dipanjatkan di setiap sholatnya demi keberhasilan penulis mewujudkan harapan dirinya dan semua orang.

6. Adik tercinta Dhau, yang selalu memberikan do’a, semangat, dan bantuan kepada penulis.
7. Rekan-rekan seperjuangan penelitian penulis, Nafis, Raikhan, Maul, dan mba Lisa. Terima kasih atas bantuan, saran, dan kerja samanya.
8. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi dalam penulisan Tugas Akhir ini, baik tenaga, waktu, maupun materi kepada penulis. Telah menjadi rumah, pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung atau menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, memberi semangat untuk pantang menyerah. Semoga Allah selalu memberikan keberkahan dalam setiap hal yang kita lalui.
9. Saudara-saudara Zepzep atas canda tawa, dukungan, perhatian, dan do’a. Semoga kita dapat terus menjalin hubungan persaudaraan yang tidak pernah putus.
10. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Demikian Tugas Akhir yang penulis buat, semoga dapat bermanfaat bagi penulis, dan pembaca pada umumnya. Dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf kepada semua pihak atas segala kekurangan dan kesalahan yang pernah diperbuat. Semoga Allah *Subhanahu Wa Ta’ala* selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Yogyakarta, 23 Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

DARU FATHURAHMAN. Efektivitas Konsorsium Bakteri *Bacillus cereus*, *Bacillus spizizenii*, dan *Stenotrophomonas malthopilia* Terhadap Performa *Wetland* Mendegradasi Amonia (NH_3) Pada Air Limbah Tenun. Dibimbing oleh Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. dan DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Industri tenun di Desa Troso sudah sangat terkenal dan sudah ada sejak tahun 1935. Namun, banyak pengrajin yang belum mengolah air limbah dari proses pewarnaan dari zat pewarna sintetik yang mengandung senyawa kompleks dan membuangnya langsung ke drainase dan sungai yang dapat menyebabkan perubahan warna, menimbulkan bau, pendangkalan sungai, dan kontaminasi pada tanah. Terdapat dua jenis *wetland* yang digunakan yaitu *Constructed Treatment Wetland* (CTW) dan *Floating Treatment Wetland* (FTW). Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi konsorsium bakteri *Bacillus cereus*, *Bacillus spizizenii*, dan *Stenotrophomonas malthopilia* terhadap performa *wetland* mendegradasi amonia (NH_3) dalam limbah cair tenun. Penelitian ini dilakukan selama 28 hari menggunakan variasi konsentrasi limbah 25% dan 50%. Penelitian dengan konsentrasi air limbah 25% dilakukan hingga hari ke-14 dan selanjutnya menggunakan konsentrasi 50% hingga hari ke-28. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan kombinasi konsorsium bakteri pada reaktor C3 (89,13%) dan F3 (92,48%) dapat menurunkan konsentrasi amonia (NH_3) lebih tinggi jika dibandingkan dengan reaktor yang hanya menggunakan tanaman yaitu pada reaktor C2 (86,06%) dan F2 (79,92%). Sedangkan pada reaktor kontrol (K) tanpa adanya pengolahan, konsentrasi amonia (NH_3) turun sebesar 67,82%.

Kata Kunci: Air limbah tenun, *Constructed Treatment Wetland*, *Floating Treatment Wetland*, Konsorsium bakteri, *Vetiveria zizanioides*

ABSTRACT

DARU FATHURAHMAN. *Effectiveness of Bacillus cereus, Bacillus spizizenii, and Stenotrophomonas malthopilia Bacterial Consortium on Wetland Performance in Degrading Ammonia (NH_3) in Textile Wastewater. Supervised by* Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. *and* DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

The weaving industry in Troso Village has been well-known since 1935. However, many craftsmen have not processed wastewater from the dyeing process from synthetic dyes containing complex compounds and dispose of it directly into drainage and rivers which can cause discoloration, odor, river shallowing, and soil contamination. There are two types of wetlands used, namely Constructed Treatment Wetland (CTW) and Floating Treatment Wetland (FTW). The purpose of this study was to evaluate the consortium of bacteria Bacillus cereus, Bacillus spizizenii, and Stenotrophomonas malthopilia on wetland performance to degrade ammonia (NH3) in weaving wastewater. This study was conducted for 28 days using variations of 25% and 50% wastewater concentration. Research with 25% wastewater concentration was conducted until day 14 and then using 50% concentration until day 28. The results showed that the use of a combination of bacterial consortia in reactors C3 (89.13%) and F3 (92.48%) could reduce ammonia (NH3) concentrations higher when compared to reactors that only used plants, namely in reactors C2 (86.06%) and F2 (79.92%). While in the control reactor (K) without any treatment, the concentration of ammonia (NH3) decreased by 67.82%.

Keywords: *Bacterial consortium, Constructed Treatment Wetland, Floating Treatment Wetland, Vetiveria zizanioides, Weaving wastewater*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR LAMPIRAN ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.1 Rumusan Masalah 3
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Manfaat Penelitian 4
1.5 Ruang Lingkup 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Limbah Industri Tenun 5
2.1.1 Karakteristik Limbah Industri Tenun 5
2.2 Bioremediasi 6
2.2.1 Biostimulasi 7
2.2.2 Bioaugmentasi 8
2.3 Fitoremediasi 8
2.3.1 Fitoremediasi Menggunakan Wetland Buatan (*Constructed Wetland*) 10
2.4 *Endophytes Bacteria* 14
2.5 Tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) 15
2.6 Penelitian Terdahulu 16
BAB III METODE PENELITIAN 17
3.1 Waktu dan Lokasi 17
3.2 Preparasi Air Limbah 18
3.3 Kulturisasi Bakteri 19
3.4 Pengoperasian Reaktor 21
3.4.1 Persiapan Pembuatan Reaktor *Floating Treatment Wetland* 21
3.4.2 Persiapan Pembuatan Reaktor *Constructed Treatment Wetland* 22
3.4.3 Aklimatisasi Tanaman *Vetiveria zizanioides* 23
3.5 Sampling Reaktor dan Pengujian 23
3.6 Analisis Data 24

3.6.1 Analisis Air Limbah 24
3.6.2 Analisis Pada Bakteri (*Total Plate Count* (TPC)) 24
3.6.3 Analisis Pada Tanaman 24
3.7 Uji Statistik 25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 26
4.1 Karakteristik Limbah 26
4.2 Karakteristik Bakteri Endofit 27
4.3 Pengaruh Beban Terhadap *Floating Treatment Wetland* (FTW) 28
4.4 Pengaruh Beban Terhadap *Constructed Treatment Wetland* (CTW) 30
4.5 Reduksi Parameter Amonia (NH_3) 32
4.6 Persentase Removal Pada *Floating Treatment Wetland* (FTW) 33
4.7 Persentase Removal Pada *Constructed Treatment Wetland* (CTW) 35
4.8 Populasi Rerata Bakteri Endofit Pada Minggu Terakhir 36
4.9 Manfaat Bakteri Endofit Terhadap Tingkat Kerusakan Tanaman 37
4.10 Suhu 38
BAB V KESIMPULAN 41
5.1 Kesimpulan 41
5.2 Saran 41
DAFTAR PUSTAKA 43
LAMPIRAN 51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 16
Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Reaktor FTW 21
Tabel 3. 2 Variasi Perlakuan Reaktor CTW 22
Tabel 4. 1 Karakteristik Limbah Tenun 26
Tabel 4. 2 Hasil Uji Morfologi Terpilih 27
Tabel 4. 3 Nilai Reduksi Amonia (NH_3) 32
Tabel 4. 4 Total Plate Count (TPC) Minggu Terakhir Pengujian 36
Tabel 4. 5 Tingkat Kematian Tanaman Vetiveria zizanioides 38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses degradasi polutan selama fitoremediasi 10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan 17
Gambar 3. 2 Pembuatan Limbah Buatan 19
Gambar 3. 3 Tahapan Kulturisasi Bakteri 20
Gambar 3. 4 Proses Kulturisasi Bakteri 20
Gambar 3. 5 Desain Reaktor Floating Treatment Wetland (FTW) 21
Gambar 3. 6 Desain Reaktor Constructed Treatment Wetland (CTW) 22
Gambar 3. 7 Kondisi Aklimatisasi Tanaman Vetiver 23
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian Amonia (NH_3) Pada Floating Treatment Wetland. 28
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Amonia (NH_3) Pada Constructed Treatment Wetland 30
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Efisiensi Removal Amonia (NH_3) Pada Floating Treatment Wetland 33
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Efisiensi Removal Amonia (NH_3) Pada Constructed Treatment Wetland 35
Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Suhu 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Sampling Limbah Cair Tenun 51
Lampiran 2 Hasil Perhitungan Parameter Limbah Cair Tenun 51
Lampiran 3 Karakteristik Harian Limbah Cair Tenun 54
Lampiran 4 Uji Statistik 55
Lampiran 5 Total Plate Count (TPC) 57
Lampiran 6 Jumlah Kematian Tanaman 58

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) merupakan sektor penting dalam pembangunan nasional. Industri TPT di Indonesia mampu bersaing karena memiliki struktur industri yang terintegrasi dari hulu ke hilir, dan semakin kompetitif dengan permintaan yang tinggi dari pasar domestik dan ekspor. Kementerian Perindustrian mencatat, pada tahun 2023 industri TPT mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 3,9 juta orang atau hampir 20% dari total tenaga kerja industri manufaktur di Indonesia (Kementerian Perindustrian, 2024).

Industri tenun di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara sudah sangat terkenal dan sudah ada sejak tahun 1935 dimana mayoritas masyarakatnya telah mengenal kerajinan membatik dan menenun (Ullaya, 2023). Berdasarkan data dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Jepara tahun 2023, terdapat 2.500 pengrajin tenun troso yang aktif di Desa Troso yang terdiri dari 1.800 penenun dan 700 pengusaha tenun. Volume tenun troso yang dihasilkan pada tahun 2023 diperkirakan mencapai 1,2 juta meter. Semakin tinggi produksi tenun, semakin banyak pula air limbah yang dihasilkan. Banyak pengrajin yang belum mengolah air limbah tersebut dan membuangnya langsung ke sungai dan selokan. Air limbah ini berasal dari proses pewarnaan tenun yang menggunakan zat warna sintetik dimana mengandung senyawa kompleks yang sulit terurai di lingkungan.

Pencemaran air sungai yang diakibatkan limbah tenun Troso terlihat jelas dengan perubahan warna air yang mengikuti warna limbah industri dan hal ini terlihat di area pertemuan antara saluran pembuangan limbah dan air sungai. Warna air sungai yang berubah-ubah, kekeruhan, dan bau menyengat menjadi bukti pencemaran tersebut. Limbah yang mengalir melalui saluran irigasi dan drainase membawa pencemaran ini hingga ke area persawahan sehingga berpotensi menimbulkan masalah kesehatan akibat kandungan limbah seperti logam berat

yang dapat diserap oleh padi (Sa'adah, 2020). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah bahwa terdapat beberapa parameter dalam limbah tekstil yang harus memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan yaitu pH, BOD, COD, TSS, fenol, amonia, krom (Cr), dan sulfida (sebagai S). Tingkat pencemaran suatu perairan dapat diindikasikan oleh konsentrasi amonia yang tinggi. Pencemaran amonia berdampak buruk pada ekosistem perairan. Amonia dapat menyebabkan eutrofikasi, kematian organisme air, dan penurunan kualitas air secara keseluruahan. Proses nitrifikasi amonia yang menggunakan oksigen terlarut merupakan salah satu mekanisme utama yang menyebabkan terjadinya kondisi tersebut (Badrah *et al*, 2021). Logam berat dalam tanah terkontaminasi dapat meracuni tanaman, hewan, dan manusia yang mengonsumsi hasil panen dari tanah tersebut. Bukti kuat menunjukkan bahwa konsumsi beras terkontaminasi kadmium (Cd) dapat menyebabkan disfungsi ginjal pada manusia (Sukarjo *et al*, 2019). Metode pengolahan limbah yang dapat diterapkan yaitu pengolahan secara biologis dengan sistem *floating treatment wetland* (FTW) dan *constructed treatment wetland* (CTW). Bakteri berperan penting dalam kedua sistem tersebut, dimana bakteri dapat memecah polutan organik, memproduksi fitohormon, meningkatkan ketahanan terhadap penyakit pada tanaman inang, dan menghilangkan stres karena adanya kontaminan (Shahid *et al*, 2018).

Wetland dengan sistem FTW dan CTW dapat menjadi pilihan yang baik untuk remediasi air limbah tekstil. Metode ini memiliki keunggulan dari metode konvensional yang membutuhkan biaya tinggi dan efektivitasnya belum optimal. Kemampuan wetland dalam mengolah limbah tekstil berasal dari kombinasi antara tanaman dan biofilm yang menempel pada akar sehingga secara efisien dapat menghilangkan partikel padat, bahan organik, warna, dan logam berat (Hussain *et al*, 2018; Wei *et al*, 2020).

Reaktor wetland yang hanya menggunakan rumput vetiver mampu menurunkan kandungan COD (71%) dan warna (91%) pada air limbah tekstil. Kemudian pada reaktor yang berisi kombinasi bakteri endofit yang ditambahkan dari inang tanaman berbeda menunjukkan hasil positif dengan tanaman vetiver

yang terlihat dari penurunan senyawa organik dan anorganik seperti warna (97%) dan Pb (52%) sehingga dapat disimpulkan bahwa bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menurunkan polutan dalam air limbah tekstil (Fajri *et al*, 2024).

Pada penelitian Fajri *et al* (2024), bakteri konsorsium yang diambil dari tanaman *Oryza sativa, Colocasia esculenta,* dan *Alternanthera philoxeroides* telah diisolasi dan diidentifikasi. Konsorsium bakteri yang teridentifikasi adalah *Bacillus cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia.Bacillus cereus* yang digunakan dalam pengolahan wetland terbukti dapat menghilangkan kandungan COD (80%), BOD (92%), Sulfat (38%), Klorida (31%), kandungan minyak dan lemak (51%) (Ijaz *et al*, 2015), dan Kromium(IV) (100%) (Lin *et al*, 2019). *Bacillus Spizizenii* diketahui dapat menghilangkan kandungan warna 97,78% (Gomaa *et al*, 2022). Sementara itu, *Stenotrophomonas malthopilia* merupakan bakteri dominan pendegradasi karbon dalam sistem wetland (Tu *et al*, 2014).

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konsentrasi amonia (NH_3) dalam air limbah tenun setelah dilakukan pengolahan menggunakan wetland?
2. Seberapa efektif konsorsium bakteri *Bacillus Cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia* dapat meningkatkan performa wetland dalam mendegradasi amonia (NH_3) pada air limbah tenun?

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsorsium bakteri *Bacillus Cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia* terhadap performa wetland mendegradasi amonia (NH_3) pada air limbah tenun.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai studi literatur tentang efisiensi pengholahan limbah cair tenun dengan kombinasi konsorsium *Bacillus Cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia*.
2. Sebagai referensi dalam menentukan alternatif pengolahan limbah cair tenun yang mudah dan hemat biaya pada industri tenun Troso, guna mengendalikan pencemaran lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini yaitu:

1. Aklimatisasi tanaman *Vetiveria zizanioides* untuk diaplikasikan pada reaktor wetland.
2. Kulturisasi bakteri konsorsium *Bacillus Cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia.*
3. Pengolahan limbah yang digunakan yaitu sistem *floating treatment wetland* dan *constructed treatment wetland*.
4. Parameter yang diuji setiap sampling adalah amonia (NH_3).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Tenun

Industri tenun menghasilkan limbah cari yang berasal dari proses pewarnaan dan pencucian kain. Limbah ini mengandung senyawa kimia sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah tekstil biasanya berwarna kuat, ketika dibuang ke badan air menimbulkan masalah estetikan. Zat pewarna yang digunakan tanpa dilakukan pengolahan dapat bertahan di lingkungan dalam waktu yang lama dan tidak hanya berbahaya bagi proses fotosintesis tumbuhan air, tetapi juga untuk semua organisme hidup karena sifat zat tersebut ketika terdegradasi dapat bersifat karsinogenik (Zille, 2005).

2.1.1 Karakteristik Limbah Industri Tenun

Menurut Sa'adah (2020), proses pembuatan kain tenun melalui 4 tahapan proses. Tahapan pembuatan kain meliputi penyusunan benang, pembuatan motif, pewarnaan, dan penenunan benang menjadi kain. Proses penyusunan benang dilakukan pada alat berbentuk segi empat yang berbentuk plankan. Setelah benang disusun, benang pada plankan diikat dengan tali rafia sesuai dengan motifnya. Tahapan selanjutnya adalah proses pewarnaan pada benang yang telah diikat sesuai motifnya. Pada proses ini limbah cair tenun dihasilkan dan berpotensi menimbulkan pencemaran. Tahapan terakhir adalah proses penenunan benang menjadi kain dengan alat tenun bukan mesin (ATBM).

Limbah cair dari industri tenun biasanya bersifat basa dan kaya bahan organik dari sisa proses penenunan. Pewarna yang tidak diolah dengan baik akan mencemari lingkungan karena sulit terurai . Zat warna pada pewarna tenun dimodifikasi agar tahan lama dan tidak mudah rusak akibat sinar matahari dan zat kimia. Karakteristik air limbah cair tenun dapat dilihat dari parameter fisika, kimia, dan biologi (manurung *et al*, 2004).

a) Karakteristik Fisik

Sifat fisik air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Berdasarkan penelitian Sa'adah (2020), suhu air limbah normal berkisar antara 23,8°C hingga 32,9°C. Bau pada air limbah menunjukkan adanya komponen lain didalamnya. Warna air biasanya disebabkan oleh materi terlarut, tersuspensi, dan senyawa koloid yang dapat dilihat dari spektrum warnanya. Padatan dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi mengapung, mengendap, tersuspensi, terlarut, dan kontaminan yang membuat air menjadi keruh. Gejala-gejala tersebut dapat menjadi salah satu indikator pencemaran air yang cukup tinggi (Pambudi, 2020).

b) Karakteristik Kimia

Sifat kimia air limbah meliputi COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, dan DO (*Dissolved Oxygen*). COD menunjukkan jumlah oksigen dalam mg/L yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD, semakin buruk kualitas air. DO menunjukkan jumlah oksigen terlarut dalam air. Sedangkan pH menunjukkan tingkat keasaman air (Pambudi, 2020).

c) Karakteristik Biologi

Indikator karakteristik biologis pada air limbah yaitu dengan keberadaan mikroorganisme didalamnya. Mikroorganisme ini beragam jenisnya dan ditemukan hampir disemua jenis air limbah, dengan konsentrasi 105-108 organisme /mL. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah sangat penting untuk efisiensi proses biologis (Pambudi, 2020). Penambahan bakteri pada pengolahan air limbah dengan sistem *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan tanaman *Vetiveria zizanioides* terbukti efektif menurunkan kadar COD mencapai 40-45%, BOD 30-91%, oil & grease 50-87%, dan kandungan oli 22-64% (Badu, 2018).

2.2 Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses pembersihan lingkungan yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menghancurkan atau menetralkan bahan limbah berbahaya.

Proses ini bekerja dengan cara memecah, mengubah, atau menetralkan bahan kimia tersebut. Meskipun bioremediasi alami sudah terjadi selama berabad-abad dalam pengolahan air limbah, penggunaan bioremediasi yang disengaja untuk mengurangi limbah berbahaya merupakan teknik yang lebih modern (Adams *et al*, 2015).

Bioremediasi merupakan pilihan yang menarik untuk menetralkan berbagai kontaminan menggunakan metode biologi. Keunggulannya terletak pada biaya yang relatif mudah dan operasional yang sederhana, sehingga mudah diterima di masyarakat dan seringkali dapat diterapkan langsung di lokasi. Meskipun demikian, bioremediasi memiliki keterbatasan. Teknik ini tidak selalu cocok untuk semua jenis kontaminan, membutuhkan waktu yang lama dalam pengolahan, dan kualitas air olahan yang dihasilkan tidak selalu sesuai dengan baku mutu. Meskipun secara teknis metodenya tidak rumit, dibutuhkan pengalaman dan keahlian yang cukup dalam mendesain dan mengimplementasikan teknologi bioremediasi (Kensa, 2011).

Dalam penerapan bioremediasi, terdapat dua pendekatan utama, yaitu biostimulasi dan bioaugmenntasi. Pemilihan metode bioremediasi tergantung pada beberapa faktor seperti jenis polutan dan kondisi tanah.

2.2.1 Biostimulasi

Biostimulasi merupakan teknik remediasi yang sangat efisien, hemat biaya, dan ramah lingkungan. Teknik ini berfoksu pada penambahan nutrisi dalam jumlah terbatas, seperti fosfor, nitrogen, oksigen, dan donor elektron ke area yang tercemar. Tujuannya adalah untuk menstimulasi bakteri yang sudah ada di lokasi tersebut agar dapat menguraikan kontaminan berbahaya dan beracun secara lebih efektif (Goswami *et al*, 2018).

Biostimulasi memiliki kelebihan karena proses bioremediasi dilakukan oleh mikroorganisme asli yang sudah beradaptasi dengan baik dengan lingkungan bawah permukaan dan tersebar luas dibawah permukaan. Namun, tantangan utamanya adalah bagaimana cara efektif mendistribusikan aditif yang dibutuhkan oleh mikroorganisme. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Lapisan batuan yang padat dan kedap air dapat menghambat penyebaran aditif secara merata.

Penambahan nutrisi juga memicu pertumbuhan mikroorganisme heterotrof yang tidak bisa menguraikan polutan, sehingga menciptakan kompetisi dengan mikroba yang diharapkan bekerja (Adams *et al*, 2015).

2.2.2 Bioaugmentasi

Bioaugmentasi adalah penambahan mikroba di suatu tempat dengan tujuan untuk meningkatkan laju biodegradasi polutan (Adams *et al*, 2015). Mikroorganisme ini bisa berasal dari lingkungan sekitar lokasi (*autochthonous*) atau didatangkan dari tempat lain (*allochthonous*), bisa berupa jenis liar (*wild type*) atau hasil rekayasa genetika (*genetically modified*) (Goswami *et al*, 2018).

Keberhasilan bioaugmentasi bergantung pada inokulum yang terdiri dari strain mikroba atau konsorsium mikroba yang telah beradaptasi dengan baik di lokasi yang tercemar. Ketika memilih mikroba untuk bioaugmentasi, perlu mempertimbangkan beberapa faktor, seperti jenis dan jumlah pencemar, kemudahan akses mikroba terhadap polutan, jumlah dan jenis mikroba asli, dan kondisi lingkungan tempat bioaugmentasi akan dilakukan (Adams *et al*, 2015).

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah sebuah teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan tumbuhan (dari bahasa Yunani “phyto”) untuk membersihkan (dari bahasa latin “remedium”) lingkungan yang tercemar. Teknologi ini dapat menjadi alternatif atau pelengkap bagi metode pembersihan konvensional yang memerlukan biaya tinggi dan energi yang tinggi saat (Sukono *et al*, 2020).

Efektivitas fitoremediasi dalam membersihkan area tercemar bergantung pada jenis kontaminan, ketersediaan hayati, dan sifat tanah. Tanaman memiliki beberapa cara untuk membersihkan atau memulihkan area yang tercemar, dengan mekanisme utama yaitu penyerapan kontaminan melalui akar. Akar tanaman memiliki luas permukaan yang sangat besar, memungkinkan mereka untuk menyerap dan mengakumulasi air, nutrisi, dan kontaminan non-esensial. Penyerapan ini

mencegah kontaminan menyebar ke area lain dan membahayakan lingkungan (Sukono *et al*, 2020).

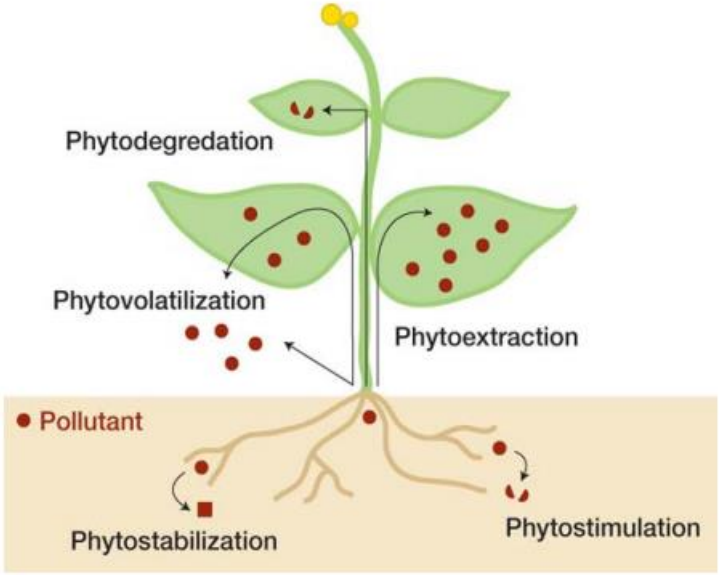
Kemampuan fitoremediasi tidak terbatas pada satu jenis media saja, melainkan bisa diaplikasikan untuk membersihkan substrat padat, cair, dan gas. Pada media padat seperti tanah dan sedimen yang tercemar, fitoremediasi telah terbukti efektif di berbagai lokasi. Contohnya adalah pembersihan bekas lokasi militer (TNT, logam, bahan organik), area pertanian (herbisida, pestisida, logam, selenium), kawasan industri (bahan organik, logam, arsenik), pertambangan (logam), dan tempat pengolahan kayu (PAH). Media cair yang terkontaminasi juga dapat diatasi dengan fitoremediasi. Limbah domestik dan air limbah kota (nutrisi, logam), limpasan/drainase pertanian (nutrisi pupuk, logam, arsenik, selenium, boron, pestisida organik, herbisida), lindi landfill, dan aliran air tanah (bahan organik, logam) dapat dibersihkan dengan bantuan tanaman. Bahkan untuk polutan udara, fitoremediasi dapat berperan baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan. Tanaman mampu menyaring berbagai polutan udara seperti NO_x, SO_2, ozon, CO_2, partikel debu, dan hidrokarbon volatil halogen (Smits, 2005).

Menurut Smits (2005), tanaman dan mikroorganisme yang hidup di sekitar akarnya (rhizofer) dapat dimanfaatkan dalam fitoremediasi dengan berbagai cara:

- Filtrasi: Tanaman dapat digunakan sebagai penyaring *constructed wetlands* atau dalam sistem hidroponik.
- Penghalang hidraulik: Pohon dapat berfungsi sebagai penghalang aliran air ke bawah (*upward water flow*) di zona perakaran, sehingga mencegah kontaminan larut dan mencemari lapisan tanah yang lebih dalam.
- Fitostabilisasi: Teknik ini memanfaatkan tanaman untuk menstabilkan polutan dalam tanah. Caranya bisa dengan mencegah erosi, larutnya polutan, atau limpasan air. Selain itu, tanaman juga dapat mengubah polutan menjadi bentuk yang kurang tersedia secara hayati (*bioavailable*) melalui pengendapan di rhizofer.
- Fitoekstraksi: Pada teknik ini tanaman dimanfaatkan untuk mengekstraksi polutan dan mengumpulkannya di jaringan mereka. Setelah itu, bagian tanaman yang berada di atas tanah akan di panen. Bahan tanaman hasil panen

tersebut kemudian bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku kayu atau karton. Cara lain adalah membakar tanaman menjadi abu, lalu dibuang ke tempat pembuangan akhir. Namun, untun polutan logam perlu di olah lebih lanjut untuk di daur ulang.

- Fitostimulasi: Tanaman dapat mempercepat biodegradasi polutan organik oleh mikroba di rhizofer mereka.
- Fitodegradasi: Tanaman tertentu mampu mendegradasi polutan organik secara langsung melalui aktivitas enzim.
- Fitovolatilisasi: Setelah diserap oleh jaringan tanaman, beberapa polutan dapat dilepaskan kembali ke udara dalam bentuk gas.



Gambar 2. 1 Proses degradasi polutan selama fitoremediasi

Sumber: Smits, 2005

2.3.1 Fitoremediasi Menggunakan Wetland Buatan (*Constructed Wetland*)

Wetland buatan (*Constructed* Wetland - CW) kini menjadi pilihan menarik dalam pengolahan air limbah. Daya tariknya terletak pada kemampuan membersihkan polutan, biaya yang rendah, dan kemudahan operasinya. CW dirancang untuk memanfaatkan proses serupa yang terjadi pada wetland alami, namun dalam lingkungan yang lebih terkontrol. Fitoremediasi pada CW berperan dalam meningkatkan kualitas air yang tercemar. Tanaman berfungsi sebagai

penyerap kontaminan yang berassal dari air limbah domestik, industri, pertanian, dan limpasan air hujan (Indika *et al*, 2015). *Floating treatment wetland* (FTW) dan *constructed treatment wetland* (CTW) merupakan dua jenis sistem yang umum digunakan dalam wetland buatan. Keduanya memanfaatkan tanaman dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah, namun dengan mekanisme yang berbeda.

1. Floating Treatment Wetland

   Floating Treatment Wetland (FTW) merupakan sistem pengolahan air yang menggunakan tanaman yang tumbuh di atas alas terapung. Akar tanaman ini berfungsi sebagai filter alami yang membersihkan air saat air tersebut mengalir dibawah dan diantara akar (Chen *et al*, 2016). FTW kini banyak digunakan untuk mengolah berbagai macam air limbah berkat biaya yang relatif murah dan kemudahan dalam pembuatannya. Air limbah tersebut dapat berasal dari pengolahan sekunder, limpasan air hujan, limpasan pertanian, bahkan untuk air sungai yang tercemar (Gao *et al*, 2017). Mengingat kemudahan dalam pembuatan FTW, para peneliti telah mengakui efektivitasnya dalam mengolah air limbah melalui penghilangan polutan melalui kombinasi proses fisik, biologi, dan kimia (Shahid *et al*, 2018).

   Menurut Shahid *et al* (2018), sistem FTW dapat menghilangkan polutan organik dan anorganik (nutrient, logam beracun, dan padatan tersuspensi) dari air limbah. Berikut mekanisme penghilangan polutan oleh FTW:

   a. Bahan organik

      FTW mengolah air limbah melalui berbagai cara, mikroorganisme menempel pada akar, rimpang, dan substrat, berperan penting dalam mengurai bahan organik. Proses lain seperti filtrasi, asimilasi nutrisi dan peningkatan kadar oksigen berkontribusi dalam pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD menunjukkan kemudahan polutan terurai. Sebagian besar air limbah yang diolah memiliki rasio BOD/COD antara 0,6 dan 0,8 sehingga sistem FTW efektif mengurangi polutan substansial tanpa perlu proses tambahan.

   b. Nutrien

Penghilangan nutrien dalam FTW melalui beberapa proses biogeokimia. Proses pertama, melalui penyerapan langsung oleh tanaman. Akar tanaman menyerap nutrien terutama nitrogen (amonium dan nitrit) dan nitrat pada tahap tertentu. Efisiensi penyerapan dipengaruhi oleh jenis tanaman, umur, iklim, dan lingkungan. Proses selanjutnya melalui biofilm mikroba, dimana mikroba pada permukaan akar melakukan nitrifikasi (mengubah amonium menjadi nitrat) dan denitrifikasi (mengubah nitrat menjadi gas nitrogen). Proses terakhir yang terjadi adalah pengikatan dan pendendapan fosfat. Fosfat terserap ke tanah dan partikel litter, mengendap, kemudian dimanfaatkan oleh mikroba dan tanaman.

c. Logam beracun

FTW tidak hanya membersihkan air limbah dari polutan organik dan nutrien, tetapi juga dapat menghilangkan logam beracun. Logam ini dapat menempel pada tanah, berubah menjadi sulfida, terserap langsung oleh tanaman dan mikroba, atau terperangkap di sekitar akar. Akar tanaman juga dapat mengikat logam dan meningkatkan kemampuan dalam pengolahan air limbah, terlebih jika didukung oleh beberapa bakteri yang dapat membantu penyerapan logam oleh tanaman. Logam mengendap di dasar sistem dapat terikat dengan bahan organik dan tersimpan dalam sedimen.

d. Padatan tersuspensi

Penghilangan Total Suspended Solid (TSS) dalam sistem FTW terjadi melalui pengendapan fisik dan filtrasi. Kondisi air yang tenang dan lapisan air bebas diantara akar tanaman dan sistem menciptakan kondisi ideal untuk pengendapan partikel. Akar tanaman juga berperan sebagai filter perangkap partikel tersuspensi.

2. Constructed Treatment Wetland

Constructed Treatment Wetland (CTW) merupakan teknik ramah lingkungan untuk membersihkan air limbah dari berbagai sumber. Teknik ini telah digunakan untuk mengolah air limbah perkotaan, kilang minyak, pertanian, tambang, dan berbagai macam air limbah lainnya (Hassan *et al*,

2021). CTW menggunakan proses alami untuk menghilangkan polutan dari air limbah, sehingga menjadikannya metode remediasi ramah lingkungan dengan sedikit dampak negatif terhadap lingkungan (Dan *et al*, 2011).

CTW adalah sistem buatan yang dirancang untuk membersihkan air limbah dengan meniru proses alami dalam lingkungan yang lebih terkontrol. Sistem ini memiliki berbagai kategori berdasarkan aliran air, jenis tumbuhan, dan jalur aliran air (Vymazal, 2010). Vymazal (2005, 2008) mengkategorikan dua kriteria terpenting dalam CTW, yaitu aliran permukaan terbuka (*surface flow*) dan aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*).

1) Surface Flow

Salah satu jenis CTW yang umum digunakan adalah *free water surface constructed wetlands* (FWS CWs), dengan aliran air terbuka dan ditumbuhi berbagai jenis tanaman. Kondisi optimal untuk pengolahan air limbah didukung oleh kedalaman air yang dangkal, aliran lambat, dan keberadaan tanaman.

Proses pengolahan dalam FWS CWs melibatkan berbagai mekanisme, mulai dari proses fisik (sedimentasi, dan filtrasi) hingga proses biologis (degradasi oleh mikroorganisme). FWS CWs sangat efektif menghilangkan bahan organik dan partikel tersuspensi.

FWS CWs banyak digunakan untuk pengolahan tersier air limbah domestik, pengolahan air hujan, dan pengolahan air limbah tambang. Sistem ini memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan dan tahan terhadap berbagai jenis iklim.

2) Sub-Surface Flow

CTW dapat dikategorikan berdasarkan aliran air, yaitu *horizontal flow constructed wetland* (HF CWs) dan *vertical flow constructed wetland* (VF CWs). Pada HF CWs air limbah dialirkan secara perlahan dibawah permukaan berpori yang ditanami tanaman dimana air limbah melewati zona aerobik, anoxic, dan anaerobik. Sedangkan pada VF CWs, air limbah dialirkan secara terputus-putus ke beberapa media seperti pasir dan batuan

yang ditanami tanaman. Air limbah kemudian masuk ke bawah dan terkumpul dibagian bawah media.

HF CWs banyak digunakan untuk pengolahan sekunder air limbah domestik dan terbukti efektif menghilangkan berbagai macam polutan, seperti bahan organik, padatan tersuspensi, dan logam berat. HF CWs juga mampu menghilangkan nitrogen melalui denitrifikasi, namun kemampuannya dalam menghilangkan amonia terbatas karena minimnya oksigen.

VF CWs lebih efektif dalam proses masuknya oksigen kedalam media sehingga air limbah lebih ternitrifikasi (mengandung nitrat). Namun, sistem ini kurang optimal untuk melakukan denitrifikasi (penguraian nitrat menjadi gas nitrogen). VF CWs lebih efektif dalam menghilangkan bahan organik dan padatan tersuspensi, serta membutuhkan lahan yang lebih sedikit dibandingkan HF CWs.

VF CWs umunya digunakan dalam pengolahan air limbah domestik berskala kecil namun juga dapat digunakan untuk air limbah industri. Sistem ini memiliki beberapa variasi, seperti *upflow* VF CWs (aliran bawah ke atas) dan *tidal flow* CWs (aliran pasang surut). Salah satu tantangan utama sistem ini adalah penyumbatan pada media filter sehingga diperlukan beberapa pertimbangan dalam membuat sistem VF CWs.

2.4 *Endophytes Bacteria*

Endofit adalah mikroorganisme yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada dalam tanaman. Definisi endofit terus berkembang seiring dengan penelitian, dan diperkirakan akan terus berubah kedepannya. Awalnya, istilah “endofit” hanya digunakan untuk jamur yang hidup dalam tanaman. Namun, pada penelitian selanjutnya menemukan bahwa bakteri juga dapat hidup di bagian dalam tanaman (Hardoim *et al*, 2015). Bakteri endofit lokal sangat berpotensi dalam mendegradasi polutan. Kemampuannya dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, pH, bahan organik, oksigen, dan nutrisi. Bakteri endofit lokal mampu

mengubah senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana seperti CO_2, CH_4, H_2, H_2S, air, dan energi (Kumar *et al*, 2015; Pardamean *et al*, 2021).

2.5 Tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

Tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) sudah berabad-abad dimanfaatkan oleh manusia untuk digunakan sebagai atap jerami, industri parfum dan kosmetik. Vetiver dimanfaatkan pada bidang konservasi sejak tahun 1950-an, dikenal sebagai tanaman yang efektif untuk mencegah erosi tanah di Fiji (Srivastava *et al*, 2008). Vetiver memiliki kegunaan yang luas berkat karakteristik fisiologis dan ekologisnya yang khas. Tanaman ini dapat tumbuh di berbagai habitat dengan kondisi lingkungan dan tanah yang beragam. Saat ini, vetiver telah dimanfaatkan di lebih dari 120 negara (Chou *et al*, 2016).

Vetiver adalah tanaman biomassa tinggi dengan efisiensi fotosintesis C4 yang tinggi, membuatnya toleran terhadap berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini memiliki kemampuan unik dalam menyerap logam dari lingkungan yang terkontaminasi (Srivastava *et al*, 2008). Penyerapan unsur oleh vetiver dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti ketersediaan nutrisi dan pH. Penggunaan pupuk nitrogen dan herbisida dapat menurunkan kemampuan penyerapan logam pada tanaman. Namun, vetiver tetap efektif dalam menyerap logam pada kondisi tersebut karena peningkatan biomassanya.

Dalam penelitian yang dilakukan Almeida *et al* (2019) *Vetiveria zizanioides* dipilih untuk pengolahan air limbah dengan *vertical flow constructed wetland*. Pemilihan tersebut didasarkan pada efektivitas vetiver dalam menghilangkan nitrogen total, amonium, dan nitrat dari air limbah. Selain itu vetiver dipilih karena memiliki sistem perakaran yang dalam dan kuat, sehingga membuatnya tahan terhadap kekeringan dan cocok untuk pengolahan air limbah.

2.6 Penelitian Terdahulu

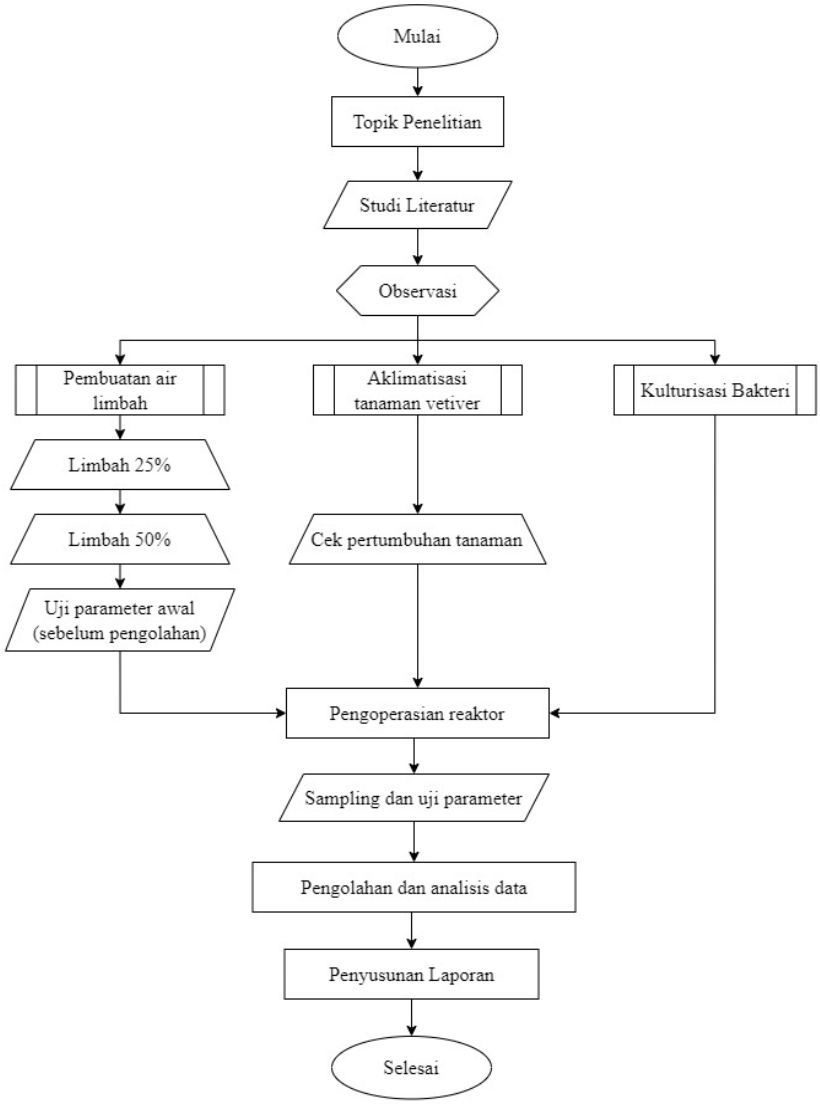
Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Bakteri	Fitoremediasi	Performa
1	Ijaz *et al* (2015)	[a]*Acinetobacter .sp* [b]*Bacillus cereus* [c]*Bacillus licheniformis*	*Brachiaria mutica*	[a]COD: 80% [b]BOD: 92% [c]Sulphates: 38% [d]Chlorides: 31% [e]Oil & Grease: 51%
2	Hussain *et al* (2018)	[a]*Microbacterium arborescens* [b]*Bacillus endophyticus* [c]*Bacillus pumilus* [d]*Bacillus* sp.	*Brachiaria mutica*	[a]COD: 81% [b]BOD: 72% [c]TDS: 32% [d]Warna: 74% [e]Nitrogen: 84% [f]Fosfor: 79% [g]Cr: 97% [h]Fe: 89% [i]Ni: 88% [j]Cd: 72%
3	Lin *et al* (2019)	*Bacillus cereus*	*Leersia hexandra Swartz*	Cr(VI): ±100%
4	Fajri *et al* (2024)	Bakteri yang belum teridentifikasi dan terisolasi dari tanaman: [a]*Oryza Sativa* [b]*Colocasia esculenta* [c]*Alternanthera philoxeroides*	*Vetiveria* sp.	[a]COD: 74% [b]Warna: 91% [c]Pb: 52% [d]Cd: 33%

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada *Green House* dan pengujian dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian dimulai pada bulan Januari 2024 hingga Agustus 2024. Secara umum alur tahapan kegiatan yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan

3.2 Preparasi Air Limbah

Air limbah yang digunakan berasal dari limbah tenun dan akan diuji dengan kadar 25% dan 50%,. Untuk air limbah 25% dan 50%, merupakan air limbah buatan (*artificial*) yang akan dibuat di laboratorium dengan menyesuaikan bahan dan cara pembuatan dari proses pewarnaan kain tenun.

Limbah cair tenun *artificial* dibuat dari 2 jenis warna, yaitu merah dan hitam. Pembuatan limbah cair mengacu pada proses pewarnaan pembuatan tenun Troso di lokasi aslinya. Langkah pembuatan pewarna pada proses pewarnaan tenun Troso sebagai berikut:

- Pewarna hitam
    1. Napthol BO (30 g) + Napthol ASG (20 g) + kostik (NaOH) (25 g) dilarutkan dengan air panas sebanyak 12,5 L.
    2. Garam biru (100 g) dilarutkan dengan air sebanyak 12,5 L.
    3. Larutan pada langkah 1 dan 2 dicampur kemudian diaduk hingga tercampur rata.
- Pewarna merah
    1. Napthol BO (50 g) + kostik (NaOH) (25 g) dilarutkan dengan air panas sebanyak 12,5 L
    2. Garam R (100 g) dilarutkan dengan air sebanyak 12,5 L
    3. Larutan pada langkah 1 dan 2 dicampur kemudian diaduk hingga tercampur rata

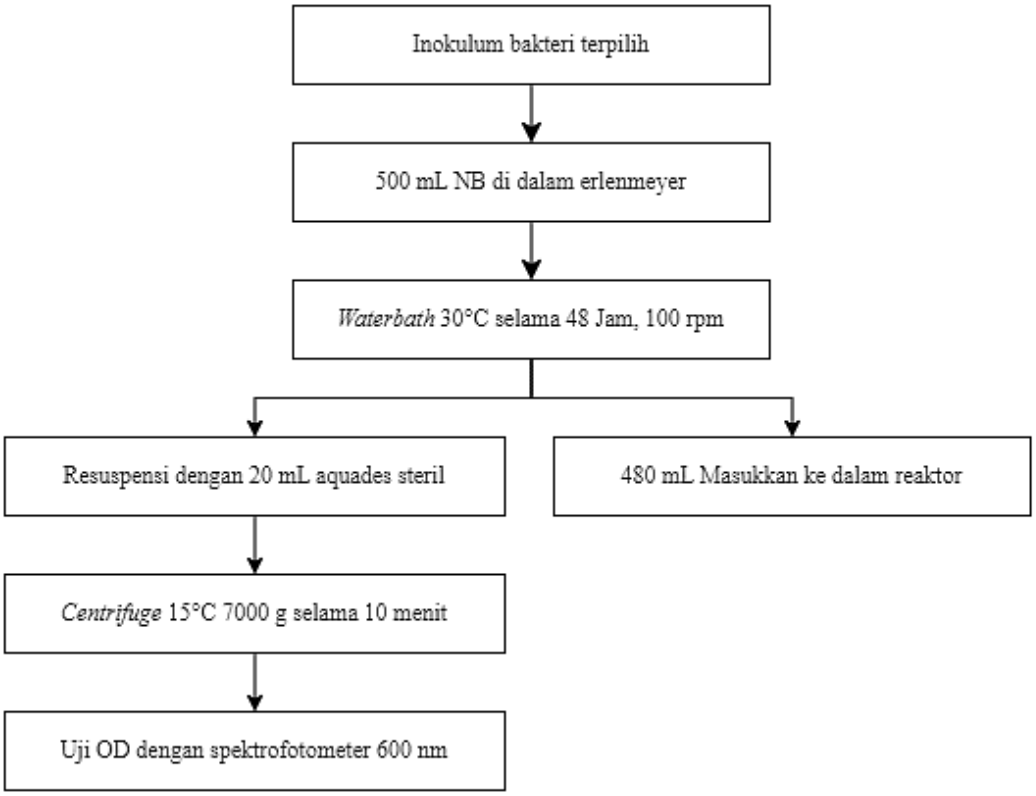


Gambar 3. 2 Pembuatan Limbah Buatan (*Artificial*)
(Sumber: dokumentasi lapangan)

Limbah cair yang sudah dibuat kemudian diencerkan menjadi konsentrasi 25% dengan perbandingan komposisi limbah cair dan air sebesar 1:3. Pada tahap pengujian limbah cair tenun konsentrasi 50%, limbah dibuat dengan cara yang sama namun pengencer yang digunakan merupakan hasil dari pengolahan limbah cair tenun konsentrasi 25% dari masing-masing reaktor pada hari ke-14 dengan perbandingan limbah cair tenun *artificial* dan pengencer sebesar 2:2.

3.3 Kulturisasi Bakteri

Bakteri yang telah diidentifikasi pada penelitian sebelumnya yaitu bakteri konsorsium *Bacillus Cereus, Bacillus Spizizenii,* dan *Stenotrphomonas malthopilia* dimasukkan kedalam 500 mL *Nutrient* Broth (NB) di dalam erlenmeyer. Kemudian erlenmeyer yang berisi media kultur dan bakteri ke dalam *waterbath* dengan suhu 30°C selama 48 jam dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Setelah 48 jam, 480 mL kultur bakteri dimasukkan ke dalam reaktor. 20 mL kultur bakteri disisihkan untuk dilakukan pengukuran *Optical Density* (OD) pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Berikut langkah-langkah pemindahan bakteri:



Gambar 3. 3 Tahapan Kulturisasi Bakteri

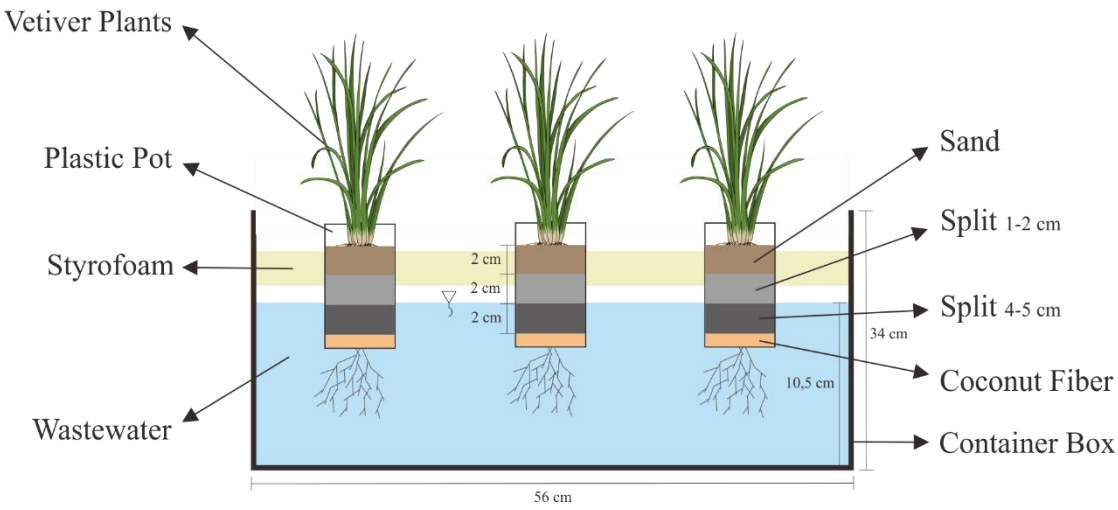


Gambar 3. 4 Proses Kulturisasi Bakteri

3.4 Pengoperasian Reaktor

3.4.1 Persiapan Pembuatan Reaktor *Floating Treatment Wetland*

Sistem pengolahan pada *floating treatment wetland* (FTW) menggunakan tanaman vetiver dan dibuat menggunakan box kontainer 55 L ditambah styrofoam sebagai pengapung tanaman. Air limbah yang akan dimasukkan kedalam reaktor FTW sebanyak 20 liter. Reaktor FTW yang dibuat dalam penelitian kali ini sebanyak 9 buah, dimana dalam satu reaktor terdiri dari 6 pot berukuran 10 cm yang berisi 3-4 batang tanaman vetiver. Media yang digunakan dalam pot secara berurutan dari bawah ke atas adalah sabut kelapa, split ukuran 4-5 cm (2 cm), split ukuran 1-2 cm (2 cm), dan pasir (2 cm). Berikut ini merupakan desain dan variasi reaktor FTW:



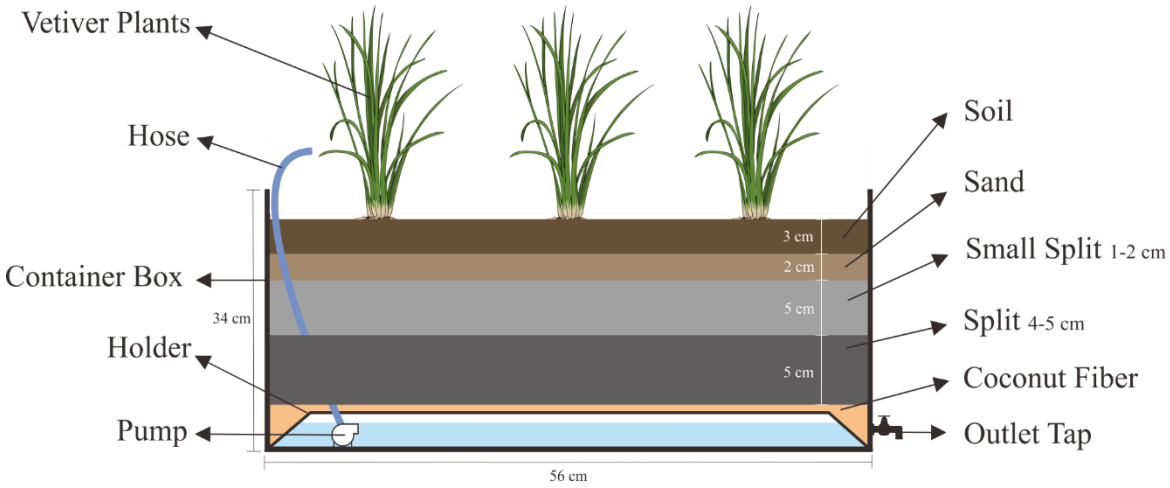
Gambar 3. 5 Desain Reaktor *Floating Treatment Wetland* (FTW)

Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Reaktor FTW

Reaktor	Kode	Jumlah	Volume
Kontrol Air Limbah	K	3	20 L
Tanaman + Air Bersih	F1	3	
Tanaman + Air Limbah	F2	3	
Tanaman + Air Limbah + Bakteri	F3	3	

3.4.2 Persiapan Pembuatan Reaktor *Constructed Treatment Wetland*

Pada sistem *constructed treatment wetland* (CTW) sama dengan sistem FTW dimana menggunakan tanaman dengan jumlah dan jenis box kontainer yang sama. Air limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor CTW sebanyak 15 liter. Dalam satu reaktor terdiri dari 9 rumpun tanaman yang masing-masing rumpun berisikan 3-4 batang tanaman vetiver. Pada dasar box kontainer diberikan pompa yang berfungsi untuk mengsirkulasikan air ke dasar reaktor yang disangga menggunakan modifikasi tempat surat sebelum diberikan media diatasnya. Media yang digunakan dalam reaktor sama dengan FTW namun dalam jumlah yang lebih banyak dan ditambah dengan media tanah yang sudah di sterilisasi. Bagian dasar dilapisi dengan serabut kelapa, kemudian disusun diatasnya split ukuran 4-5 cm (5 cm), split ukuran 1-2 cm (5 cm), pasir (2 cm), dan tanah (3 cm). Berikut ini merupakan desain dan variasi reaktor CTW:



Gambar 3. 6 Desain Reaktor *Constructed Treatment Wetland* (CTW)

Tabel 3. 2 Variasi Perlakuan Reaktor CTW

Reaktor	Kode	Jumlah	Volume
Kontrol Air Limbah	K	3	20 L
Tanaman + Air Bersih	C1	3	15 L
Tanaman + Air Limbah	C2	3	
Tanaman + Air Limbah + Bakteri	C3	3	

3.4.3 Aklimatisasi Tanaman *Vetiveria zizanioides*

Setelah pembuatan reaktor selesai, tanaman vetiver diaklimatisasi hingga tanaman tumbuh tinggi dan akar panjang lebat sebelum diaplikasikan pada air limbah. Aklimatisasi bertujuan agar tanaman dapat beradaptasi pada media dan lingkungan baru serta memaksimalkan pertumbuhan akar. Proses aklimatisasi dilakukan pada semua tanaman vetiver tanpa melihat usia, dan daunnya dipotong hingga menyisakan panjang 15 cm. Tanaman diberi pupuk hidroponik secara rutin 1 kali dalam seminggu selama 2 bulan pertama. Aklimatisasi tanaman dimulai pada tanggal 11 Januari 2024 dan berakhir pada tanggal 1 Mei 2024 dengan rata-rata tinggi batang tanaman pada *Constructed Treatment Wetland* setinggi 68 cm dan *Floating Treatment Wetland* setinggi 61 cm dengan panjang akar 24 cm.



(a) (b)

Gambar 3. 7 Kondisi Aklimatisasi Tanaman Vetiver (a), Hari ke-0 aklimatisasi (b), Hari ke-90 aklimatisasi

3.5 Sampling Reaktor dan Pengujian

Sampling saat pengujian pada konsentrasi air limbah 25% dan 50% dilakukan sebanyak 3 kali pada hari ke-0, ke-7, dan ke-14 dengan total pengujian sebanyak 6 kali. Pengujian kandungan amonia (NH_3) pada sampel air limbah dilakukan dengan spektrofotometer secara fenat dengan panjang gelombang 640 nm yang mengacu

pada SNI 06-6989.30-2005. Parameter suhu diuji dengan probe multimeter setiap hari selama penelitian.

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis Air Limbah

Pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai konsentrasi pada limbah cair tenun yaitu 25% dan 50%. Analisis ini dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi awal amonia (NH_3) pada limbah dan dibandingkan dengan konsentrasi akhir amonia (NH_3) yang telah diuji pada reaktor. Berikut merupakan rumus efisiensi removal yang akan digunakan:

$$Y = \left(\frac{(A - B)}{A}\right) \times 100\%$$

Dimana:
Y : Efisiensi removal
A : Konsentrasi Amonia (NH_3) sebelum diolah
B : Konsentrasi Amonia (NH_3) setelah diolah

3.6.2 Analisis Pada Bakteri (*Total Plate Count* (TPC))

Jumlah bakteri dalam air limbah dari masing-masing reaktor pada hari terakhir pengujian. Pengujian jumlah bakteri akan menggunakan metode pour plate dalam cawan petri. Air limbah akan diambil sebanyak 1 mL kedalam tabung reaksi dan diencerkan hingga konsentrasi 10^{-3} yang kemudian sampel tersebut diambil 1 mL untuk dicampurkan dengan *Nutrient Agar* (NA) hangat didalam cawan petri. Sampel disimpan dalam inkubator dengan suhu 30°C selama 24 jam. Bakteri yang telah tumbuh kemudian dilakukan perhitungan jumlah koloni yang tumbuh dalam cawan petri dengan alat *Colony Counter* dan kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan jumlah pengenceran.

3.6.3 Analisis Pada Tanaman

Pada tanaman *Vetiveria zizanioides* dilakukan dengan pengamatan tingkat kematian tanaman yang dilakukan pada hari terakhir pengujian. Analisis ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah kematian batang dalam reaktor dan

dibandingkan dengan jumlah batang keseluruhan dalam reaktor. Berikut merupakan rumus yang akan digunakan:

$$M = \left(\frac{BM}{BT}\right) \times 100\%$$

Dimana:
M : Mortalitas
BM : Jumlah batang tanaman mati
BT : Jumlah total batang tanaman keseluruhan

3.7 Uji Statistik

Uji analisis statistik pada penelitian ini menggunakan IBM SPSS Statistics 23 untuk menguji perbedaan signifikansi ($p < 0,05$). Perbedaan pada parameter amonia (NH_3) yang signifikan antara hari dan perlakuan (*treatment*) dianalisis dengan ANOVA dan uji Tukey. Selain itu pada uji perbedaan tingkat kematian tanaman dan *Total Plate Count* antar perlakuan (*treatment*) dianalis dengan ANOVA dan uji Tukey untuk menentukan perlakuan mana yang memiliki perbedaan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah

Pengujian kadar amonia (NH_3) terlebih dahulu dilakukan sebelum melakukan *running* reaktor bertujuan untuk mengetahui kandungan awal amonia (NH_3). Pengolahan limbah cair tenun dilakukan dalam waktu 14 – 28 hari dengan sistem *batch*. Dalam penelitian sebelumnya, dimana menggunakan limbah pewarna batik dengan konsentrasi amonia (NH_3) 180,92 mg/L, COD 3855 mg/L, TSS 1180 mg/L, dan warna 152,83 Pt-Co diketahui bahwa konsentrasi limbah mempengaruhi Tingkat kematian tanaman. Konsentrasi air limbah 10% dan 20% tidak berdampak pada kematian tanaman, sedangkan dengan konsentrasi air limbah 30%, 40%, dan 50% menyebabkan kematian tanaman secara berturut-turut 25%, 50%, dan 87,5% (Ningsih, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan air limbah cair tenun dengan konsentrasi 25% dan 50% yang masing-masing diolah selama 14 hari. Berikut hasil tabel data yang didapat dari pengujian karakteristik limbah cair tenun untuk masing-masing konsentrasi:

Tabel 4. 1 Karakteristik Limbah Tenun

Konsentrasi Limbah Cair Tenun	Amonia (NH_3) (mg/L)
25%	11.70
50%	18.03

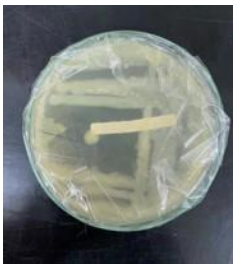
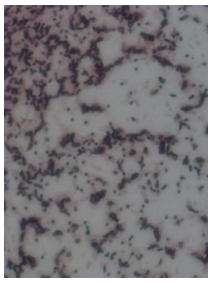
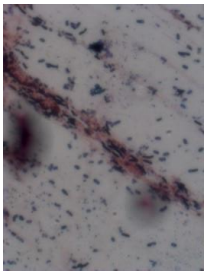
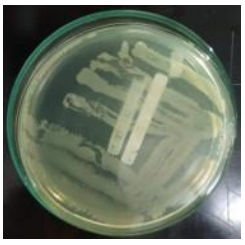
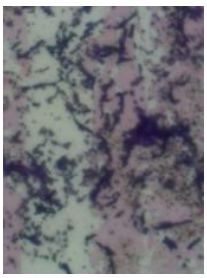
Pada kedua konsentrasi limbah cair tenun terdapat perbedaan untuk setiap konsentrasi. Dimana setiap peningkatan nilai konsentrasi limbah cair tenun diikuti dengan peningkatan kadar amonia (NH_3).

4.2 Karakteristik Bakteri Endofit

Bakteri yang digunakan berasal dari penelitian terdahulu (Fajri *et al*, 2024) yaitu bakteri *Bacillus cereus*, *Bacillus spizizenii*, dan *Stenotrophomonas malthopilia* dengan kode secara berurutan Sb-6, Sc-1, dan Ra-4. Pengamatan pada morfologi bakteri bertujuan untuk mempermudah proses identifikasi bakteri karena sifat-sifat koloni bakteri memiliki ciri khas tertentu untuk menentukan jenis bakteri (Holderman *et al*, 2017).

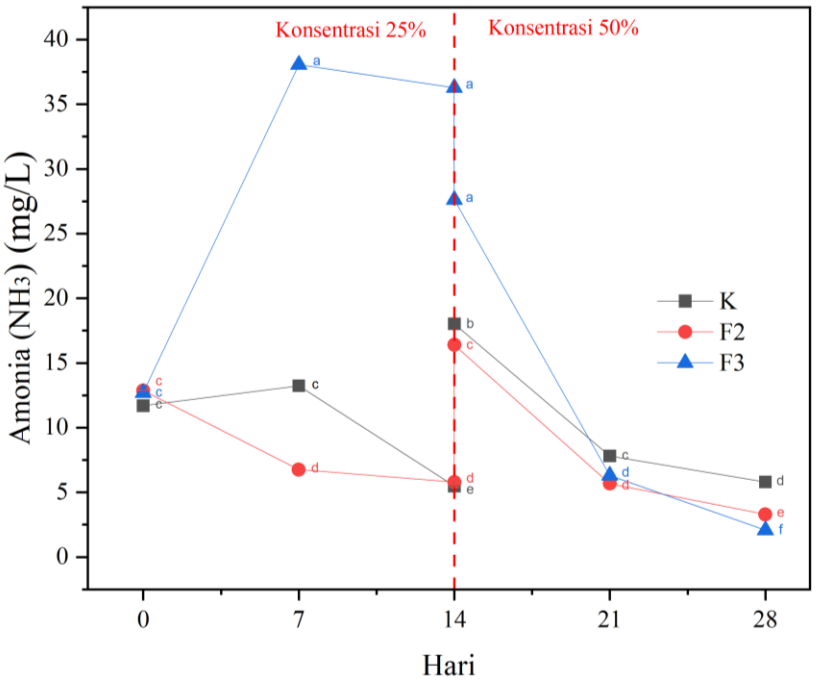
Tabel 4. 2 Hasil Uji Morfologi Terpilih

Sumber: Fajri *et al*, 2024

Bacteria			Morfology	
Sb-6			Shape Margin Elevation Size Apperance Optical Property Texture Pigmentation Cell Shape Gram Property	Irregular Entire Convex Punctiform Glistening Transparant Smooth Non pigmented (off white) Bacillus Positive
Sc-1			Shape Margin Elevation Size Apperance Optical Property Texture Pigmentation Cell Shape Gram Property	Filamentous Rhizoid Flat Moderate Dull Translucent Rough Non pigmented (off white) Bacillus Positive
Ra-4			Shape Margin Elevation Size Apperance Optical Property Texture Pigmentation Cell Shape Gram Property	Irregular Lobate Flat Moderate Dull Transparant Smooth Non Pigmented (off white) Coccus Negative

Bakteri *Bacillus cereus* (Sb-6) memiliki pertumbuhan bakteri yang cukup tinggi sebesar $4{,}20\times10^{6}$ CFU/mL diikuti dengan kemampuan menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) (79%) dan warna (65%) dan bakteri *Bacillus spizizenii* (Sc-1) juga digunakan karena terbukti mampu untuk menurunkan kadar COD dan warna (Amanda, 2021). Bakteri *Stenotrophomonas malthopilia* (Ra-4) dipilih karena kemampuanya yang konsisten dan signifikan dalam menurunkan kadar COD (87%) (Nuzula, 2021). Ketiga bakteri tersebut diuji untuk menurunkan kandungan COD dan warna pada limbah cair tenun dan terbukti memiliki nilai removal yang cukup tinggi sehingga pada studi ini digunakan untuk memastikan tingkat removal pada reaktor *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan *Constructed Treatment Wetland* (CTW) dengan dilakukan penambahan pengujian pada parameter amonia (NH_3), *Total Suspended Solid* (TSS), dan logam berat (Pb & Cd).

4.3 Pengaruh Beban Terhadap *Floating Treatment Wetland* (FTW)



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian Amonia (NH_3) Pada *Floating Treatment Wetland.* K (Kontrol Air Limbah), F2 (Tanaman + Air Limbah), F3 (Tanaman + Air Limbah + Bakteri), 25% dan 50% (Konsentrasi Limbah). Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05.

Konsentrasi awal amonia (NH_3) pada tiap reaktor memiliki perbedaan. Perbedaan tersebut dikarenakan ketidakstabilan konsentrasi amonia (NH_3) erat kaitannya dengan sifat amonia (NH_3) yang mudah menguap (Arumi, 2006). Konsentrasi tertinggi amonia (NH_3) terletak pada reaktor F3 50% dengan nilai 27,63 mg/L dan konsentrasi terendah terletak pada reaktor K 25% dengan nilai 11,70 mg/L.

Pada hari ke-7 pengujian, peningkatan konsentrasi amonia (NH_3) terjadi pada reaktor K 25% dan F3 25%. Peningkatan signifikan terjadi pada reaktor F3 25% menjadi 38,07 mg/L yang semula pada hari ke-0 pengujian sebesar 12,71 mg/L. Peningkatan kadar amonia (NH_3) pada reaktor F3 25% disebabkan oleh proses penyesuaian tanaman *Vetiveria z.* terhadap limbah cair tenun. Nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan amonia (NH_3) (Rosyida *et al*, 2017), namun pada minggu pertama tanaman masih dalam proses adaptasi dengan air limbah. Sedangkan proses dekomposisi nitrogen organik terlarut menyebabkan peningkatan kadar amonia dalam jumlah besar dan terjadi lebih cepat saat minggu pertama sehingga terjadi penumpukan senyawa amonia (Ng *et al*, 2017; Aziz *et al*, 2020).

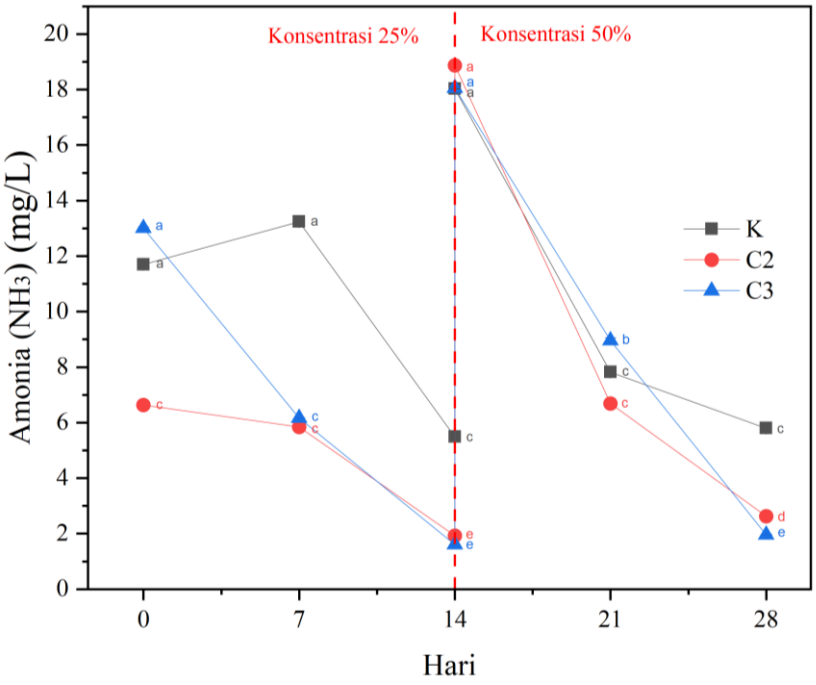
Penurunan konsentrasi amonia (NH_3) terjadi pada seluruh reaktor pada hari ke-14 pengujian. Penurunan konsentrasi amonia (NH_3) pada reaktor kontrol disebabkan oleh proses oksidasi yang terjadi akibat air limbah pada reaktor kontrol dibiarkan terbuka. Oksidasi aerob berperan dalam mengubah senyawa akhir yang lebih stabil (Badrah *et al*, 2021). Amonia (NH_3) di air dapat menguap ke udara terutama saat angin kencang dan suhu panas, proses tersebut disebut volatilisasi yang disebabkan akibat tekanan gas amonia (NH_3) di air lebih tinggi daripada di udara, sehingga amonia (NH_3) menguap dan terlepas ke udara (Boyd, 1998).

Mikroorganisme yang terdapat dalam akar tanaman (rhizofer) dan tanaman itu sendiri dimanfaatkan dalam proses fitoremediasi dengan cara filtrasi sebagai penyaring, penghalang hidraulik untuk mencegah polutan turun ke bawah, fitostabilisasi, fitoekstraksi, fitostimulasi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi (Smith, 2005). Mekanisme kunci penghilangan polutan pada FTW dengan cara penyerapan polutan pada akar, produksi enzin ekstraseluler pada akar, akar sebagai media

pertumbuhan biofilm, dan mengeluarkan eksudat akar untuk membantu proses denitrifikasi (Wei *et al*, 2020). Pada sistem FTW terjadi kontak langsung antara akar dan air limbah yang berlangsung berhari-hari sehingga proses fitodegradasi dan fitovolatilisasi berjalan lebih efektif.

Penelitian menunjukkan penurunan konsentrasi air limbah 50% lebih baik jika dibandingkan dengan konsentrasi air limbah 25% pada *Floating Treatment Wetland* (FTW) baik di reaktor tanpa maupun dengan penambahan bakteri. Hal tersebut disebabkan pada awal pengoperasian reaktor dengan konsentrasi air limbah 25% tanaman masih membutuhkan waktu untuk beradaptasi dengan masuknya air limbah dalam reaktor ditunjukkan oleh peningkatan konsentrasi amonia (NH_3) pada reaktor F3 25% yang seiring waktu terjadi penurunan konsentrasi amonia (NH_3) pada minggu berikutnya.

4.4 Pengaruh Beban Terhadap *Constructed Treatment Wetland* (CTW)



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Amonia (NH_3) Pada *Constructed Treatment Wetland*. K (Kontrol Air Limbah), C2 (Tanaman + Air Limbah), C3 (Tanaman + Air Limbah + Bakteri), 25% dan 50% (Konsentrasi Limbah). Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05.

Pengujian awal amonia (NH_3) hari ke-0 terdapat perbedaan pada keseluruhan reaktor seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa amonia (NH_3) merupakan senyawa yang mudah menguap (Arumi, 2006). Konsentrasi awal amonia (NH_3) berada dalam rentang 6,64 mg/L – 18,87 mg/L dimana konsentrasi terendah dan tertinggi secara berurutan terletak pada reaktor C2 25% dan C2 50%. Perbedaan konsentrasi amonia (NH_3) berkaitan dengan karakteristik limbah tenun dimana semakin tinggi konsentrasi air limbah, semakin tinggi konsentrasi amonia (NH_3) didalamnya.

Penurunan konsentrasi amonia (NH_3) terjadi pada seluruh reaktor CTW hingga pengujian hari ke-14. Penurunan tertinggi terletak pada reaktor C2 50% dengan penurunan amonia (NH_3) sebesar 16,24 mg/L. Penghilangan nitrogen selama pengolahan air limbah pada CTW mencakup penguapan amonia (NH_3), nitrifikasi, denitrifikasi, fiksasi nitrogen, penyerapan oleh tanaman, amonifikasi, perubahan nitrat menjadi amonium (NH_4^+), oksidasi amonia anaerob (ANAMOX), fragmentasi, penyerapan, desorpsi, penguburan, dan pencucian (Vyamazal, 2007).

Penghilangan amonia (NH_3) pada CTW terjadi melalui proses volatilisasi, nitrifikasi, dan penyerapan oleh tanaman. Pada volatilisasi, amonia (NH_3) dalam bentuk cair diubah ke bentuk gas dengan syarat nilai pH 7,5 atau lebih (Vyamazal, 2007). Selama proses pengolahan dalam CTW selama 28 hari dengan konsentrasi air limbah 25% dan 50% kondisi pH pada awal pengolahan menunjukkan nilai pH 7,60 dan meningkat seiring waktu dengan nilai maksimal pH 8,32. Proses nitrifikasi merupakan proses oksidasi biologi amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) dimana amonia (NH_3) diubah menjadi nitrit (NO_2^-) dengan bakteri yang sepenuhnya bergantung pada oksidasi amonia (NH_3) untuk menghasilkan energi untuk pertumbuhan (Vyamazal, 2007). Penyerapan amonia (NH_3) kedalam tanaman merupakan sebuah proses asimilasi nitrogen dalam bentuk amonia (NH_3) menjadi bahan pembangun sel dan jaringan tanaman (Vyamazal, 2007). Amonia (NH_3) lebih baik untuk asimilasi jika dibandingkan nitrat (NO_3^-) disebabkan karena amonia (NH_3) lebih tereduksi secara energi (Kadlec *et al*, 1996).

Hal yang sama terjadi dengan *Constructed Treatmet Wetland* (CTW) bahwa penurunan konsentrasi air limbah 50% lebih tinggi daripada konsentrasi air limbah

25% namun dengan perbandingan yang tidak terlalu jauh. Tanaman memerlukan penyesuaian terhadap pada awal pengoperasian sehingga efisiensi pengolahan lebih optimal pada konsentrasi air limbah 50% karena reaktor telah beroperasi 14 hari lebih awal pada konsentrasi air limbah 25%.

4.5 Reduksi Parameter Amonia (NH_3)

Berikut merupakan jumlah reduksi amonia (NH_3) pada tiap minggu pengujian.

Tabel 4. 3 Nilai Reduksi Amonia (NH_3)

Reaktor	Konsentrasi 25%		Konsentrasi 50%	
	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-7	Hari ke-14
Kontrol (K)	-1.54	6.21	10.22	12.23
FTW (F2)	6.11	7.08	10.72	13.10
FTW + Bakteri (F3)	-25.36	-23.56	21.33	25.55
CTW (C2)	0.78	4.70	12.18	16.24
CTW + Bakteri (C3)	6.83	11.40	9.09	16.09

Nilai reduksi terbesar terdapat pada reaktor F3 dengan penambahan bakteri yang terjadi pada konsentrasi air limbah 50%. Pada konsentrasi 25%, reduksi amonia (NH_3) belum terjadi secara optimal akibat proses dekomposisi nitrogen organik yang berlangsung di minggu awal dan berlangsung lebih cepat (Ng *et al*, 2017; Aziz *et al*, 2020).

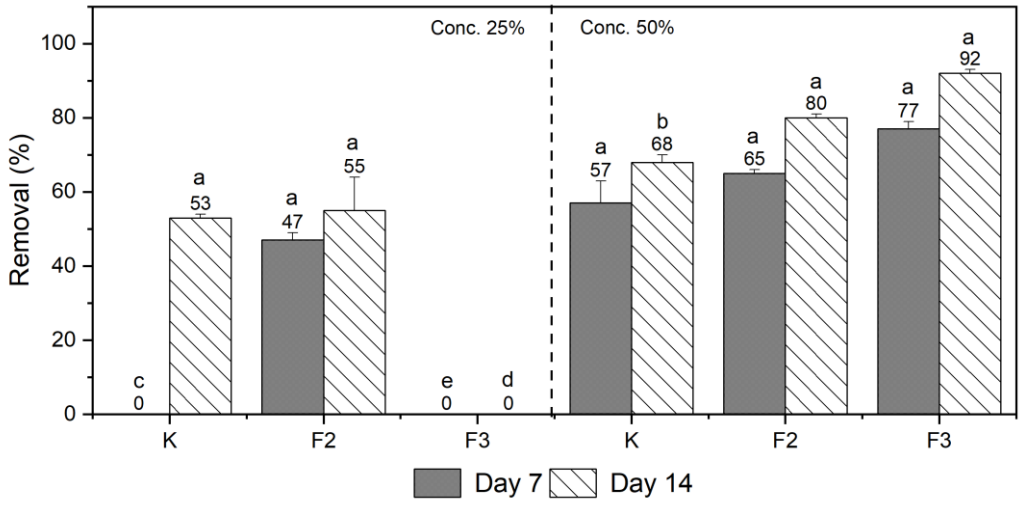
Pada fitoremediasi, penggunaan nitrogen pada tanaman melalui beberapa cara meliputi penyerapan, asimilasi, dan translokasi (Masclaux *et al*, 2010). Tanaman umumnya menyerap nitrogen dalam bentuk ion nitrat, urea, dan ion amonium. Dari ketiga bentuk nitrogen, ion amonium lebih mudah diserap dan diubah menjadi senyawa organik melalui reaksi biokimia di dalam sel tanaman dimana memerlukan enzim tertentu. Nitrogen dalam bentuk amonium dan nitrat sangat krusial bagi pertumbuhan tanaman dan dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar (Kinidi *et al*, 2017).

Amonium yang diserap tanaman dapat berasal dari tanah atau dari hasil perubahan nitrat. Setelah diserap, amonium akan mengalami proses asimilasi

menjadi asam amino glutamin dan glutamat. Proses ini dimungkinkan oleh kerja enzim glutamin sintase dan glutamat sintase. Namun, karena amonium beracun bagi tanaman, kelebihan amonium akan diubah menjadi bentuk lain seperti nitrat atau amida (Kinidi *et al*, 2017).

Penyerapan amonium oleh tanaman tidak hanya mempengaruhi pH media tanam, tetapi juga dapat berdampak negatif pada kesehatan tanaman itu sendiri. Kelebihan amonium dapat menyebabkan kerusakan sel dan bahkan kematian tanaman. Namun, tanaman juga memiliki mekanisme untuk mengatasi kelebihan amonium, terutama ketika kekurangan nitrogen (Kinidi *et al*, 2017).

4.6 Persentase Removal Pada *Floating Treatment Wetland* (FTW)



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Efisiensi *Removal* Amonia (NH_3) Pada *Floating Treatment Wetland.* K (Kontrol Air Limbah), C2 (Tanaman + Air Limbah), C3 (Tanaman + Air Limbah + Bakteri), 25% dan 50% (Konsentrasi Limbah). Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05.

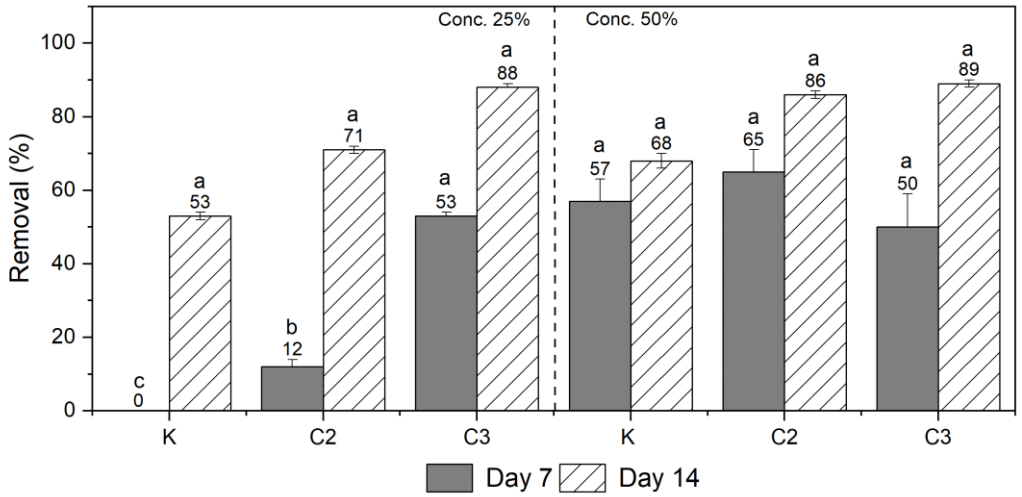
Hasil data yang diperoleh di hari ke-7 dan hari ke-14 pada reaktor FTW dengan konsentrasi air limbah 50% menunjukkan hasil yang signifikan jika dibandingkan reaktor FTW dengan konsentrasi air limbah 25%. Pada konsentrasi air limbah 50% reaktor FTW bekerja lebih optimal dan efisiensi penghilangan amonia (NH_3) setiap minggunya terus meningkat. Efisiensi penurunan pada reaktor

K 25% sebesar 53%, efisiensi reaktor F2 25% sebesar 55%, sedangkan pada reaktor F3 25% tidak ada penurunan dari konsentrasi awal hingga hari ke-14 namun penurunan terjadi pada hari-7 ke hari-14 sebesar 5% dan diperkirakan konsentrasi amonia (NH_3) akan terus menurun. Waktu tinggal yang lebih lama di reaktor memberikan kesempatan optimal bagi tumbuhan untuk melakukan penyerapan (Masturah *et al*, 2014). Efisiensi reaktor K 50% sebesar 68%, efisiensi reaktor F2 50% sebesar 80%, dan efisiensi reaktor F3 50% sebesar 92%. Dalam studi lain, penggunaan bakteri endofit pada fitoremediasi berpotensi besar untuk menghilangkan konsentrasi amonia (NH_3) (Ijaz, 2015; Trung *et al*, 2021).

Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 16 tahun 2019 menetapkan ambang batas amonia (NH_3) pada air limbah tekstil sebesar 8,0 mg/L. Keseluruhan reaktor pada konsentrasi air limbah 50% telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Pada konsentrasi air limbah 25% reaktor FTW+Bakteri tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan akibat adanya dekomposisi nitrogen organik (Ng *et al*, 2017; Aziz *et al*, 2020) sehingga konsentrasi amonia (NH_3) meningkat.

Dari hasil pengujian konsentrasi amonia dari pengolahan FTW ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsorsium bakteri *Bacillus Cereus* ,*Bacillus spizizenii,* dan *Strenotrophomonas malthopilia* efektif dalam meningkatkan performa wetland mendegradasi amonia (NH_3) dari limbah cair tenun. Hal ini serupa pada penelitian sebelumnya dimana efektfitas *Floating Treatment Wetland* (FTW) yang menggunakan bakteri endofit mengalami peningkatan performa penghilangan konsentrasi amonia (NH_3), Shahid *et al* (2018) dengan tanaman *Typha angustifolia* (51,1%), Kumwimba *et al* (2020) dengan tanaman *Oenanthe javanica* dan *Nasturtium officinale* (87,6%), dan Trung *et al* (2021) dengan tanaman *Brachiaria mutica* (96%).

4.7 Persentase Removal Pada *Constructed Treatment Wetland* (CTW)



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Efisiensi *Removal* Amonia (NH_3) Pada *Constructed Treatment Wetland*. K (Kontrol Air Limbah), C2 (Tanaman + Air Limbah), C3 (Tanaman + Air Limbah + Bakteri), 25% dan 50% (Konsentrasi Limbah). Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05.

Hasil data pengujian pada hari ke-14 pengolahan pada reaktor CTW pada kedua konsentrasi air limbah menunjukkan reaktor bekerja secara optimal. Efisiensi reaktor Kontrol 25% sebesar 52%, efisiensi reaktor C2 25% sebesar 71%, dan efisiensi reaktor C3 25% sebesar 88%. Sedangkan pada konsentrasi air limbah 50% efisiensi reaktor K 50% sebesar 68%, efisiensi reaktor C2 50% sebesar 86%, dan efisiensi reaktor C3 50% sebesar 89%. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya (Vyamazal, 2007 & 2013) dengan sistem CTW dapat menurunkan konsentrasi amonia (NH_3).

Dari hasil pengujian konsentrasi amonia (NH_3), penambahan konsorsium bakteri *Bacillus cereus, Bacillus spizizenii*, dan *Strenotrophomonas malthopilia* pada pengolahan menggunakan CTW dapat meningkatkan performa wetland mendegradasi konsentrasi amonia (NH_3).

4.8 Populasi Rerata Bakteri Endofit Pada Minggu Terakhir

Perhitungan rerata populasi bakteri endofit dilakukan pada minggu terakhir dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Pengenceran yang dipilih merupakan sampel 10^{-2} dengan sampel awal 1 mL diinokulasikan bersama media *Nutrient Agar* (NA) ke dalam petri dan diinkubasi selama 24 jam pada inkubator dengan suhu 30°C. Berikut hasil jumlah koloni bakteri pada minggu terakhir.

Tabel 4. 4 *Total Plate Count* (TPC) Minggu Terakhir Pengujian. Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05

Kode Sampel	Rerata Jumlah Populasi Bakteri (CFU/mL)
Kontrol (K)	$1.967^{(b)}$
FTW (F2)	$500^{(b)}$
FTW Bakteri (F3)	$3.933^{(a)}$
CTW (C2)	$900^{(b)}$
CTW Bakteri (C3)	$1.367^{(b)}$

Dari hasil data di atas menunjukkan bahwa pada reaktor yang dilakukan penambahan bakteri *Bacillus cereus*, *Bacillus spizizenii,* dan *Stenotrophomonas malthopilia* memiliki rerata jumlah populasi paling banyak dibandingkan pada reaktor dengan perlakuan yang sama tanpa adanya penambahan bakteri. Pada reaktor kode F2 dan C2 kemungkinan bakteri berasal dari bakteri endofit tanaman *Vetiveria zizanoides* yang ada dari sebelum masa aklimatisasi tanaman vetiver dan tanpa adanya proses sterilisasi pada tanaman. Jumlah bakteri pada reaktor kontrol cukup tinggi dengan nilai 1.967 CFU/mL disebabkan adanya kemungkinan kontaminasi pada alat selama pengujian.

4.9 Manfaat Bakteri Endofit Terhadap Tingkat Kerusakan Tanaman

Bakteri endofit berperan penting dalam membantu tanaman tumbuh sehat diberbagai lingkungan. Mereka berkontribusi pada kualitas tanah yang lebih baik, sehingga tanaman dapat tumbuh subur (Santos *et al*, 2018). Pada reaktor *Floating Treatment Wetland* (FTW) media yang digunakan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan reaktor *Constructed Treatment Wetland* (CTW) sehingga jumlah batang dan hasil dari pertumbuhan tanaman di setiap rumpun pada reaktor FTW tidak signifikan dari akhir masa aklimatisasi. Hal tersebut berbanding terbalik dengan reaktor CTW dimana dari perhitungan jumlah batang pada masing – masing rumpun berkisar antara 20 – 27 batang. Hasil pengamatan tanaman pada keseluruhan reaktor dapat dilihat pada Lampiran 6.

Salah satu mekanisme metabolisme bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman adalah fitostimulasi. Mekanisme fitostimulasi menghasilkan fitohormon yang berfungsi sebagai pengatur pertumbuhan tanaman (Beneduzi *et al*, 2012). Diketahui dari penelitian yang dilakukan Santos *et al* (2018) bahwa bakteri *Bacillus sp.* menghasilkan fitohormon seperti asam indoleasetat, asam indolbutirat, gibelerin, sitokinin, oktadekanoid dan senyawa lainnya yang dapat membantu kelangsungan hidup tanaman.

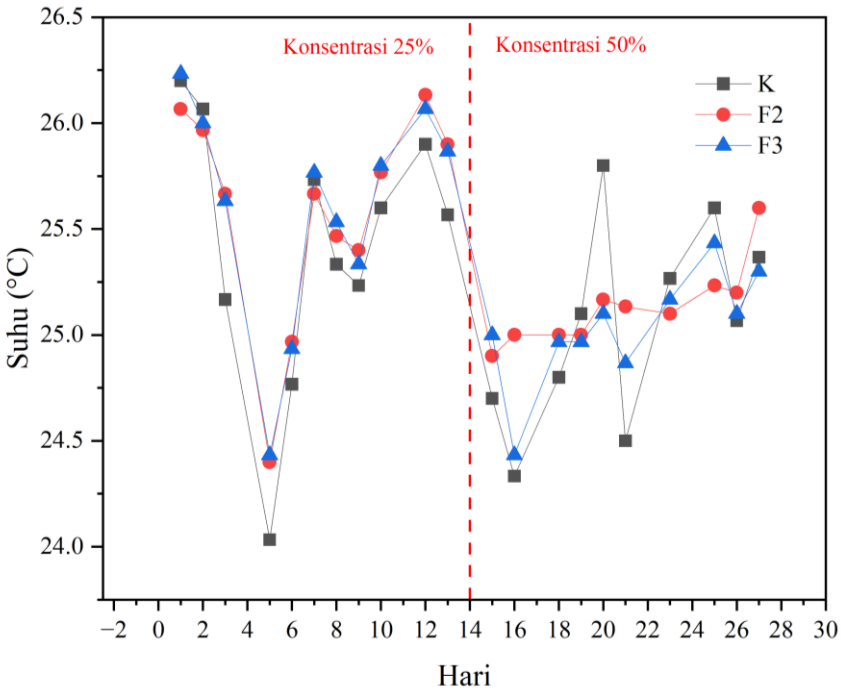
Dengan menambahkan bakteri endofit ke dalam tanaman dapat mengurangi risiko serangan penyakit, seperti jamur, bakteri, virus, serangga, dan cacing nematoda (Santos *et al*, 2018). Selain fungsi utama bakteri endofit untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangga maupun penyakit yang dapat menyerang, bakteri endofit juga memberikan keuntungan lain terhadap tanaman inang bergantung pada tingkat stres abiotik yang dialami (Kannadan *et al*, 2008). Hubungan antara tumbuhan dan bakteri bermanfaat dapat sangat mempengaruhi kesehatan, perkembangan, hasil panen tumbuhan, serta kondisi tanah (Compant *et al*, 2008), hal tersebut sesuai dengan tingkat kematian pada penelitian kali ini dimana reaktor yang ditambahkan bakteri endofit memiliki tingkat kematian yang lebih rendah sebagaimana tersaji dalam tabel berikut.

Tabel 4. 5 Tingkat Kematian Tanaman *Vetiveria zizanioides.* Setiap nilai merupakan rata-rata dari tiga kali pengulangan, dan rata-rata yang disertakan oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat signifikansi 0,05

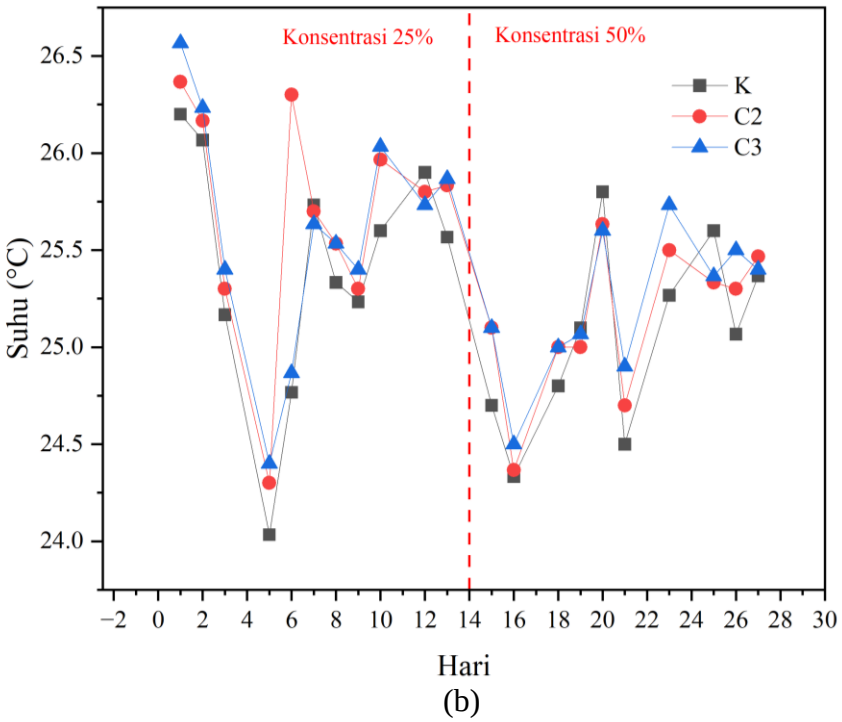
Floating Treatment Wetland		*Constructed Treatment Wetland*	
Reaktor	Mortalitas	Reaktor	Mortalitas
Kontrol tanaman FTW	39,58%[(b)]	Kontrol tanaman CTW	5,13%[(a)]
FTW + Air Limbah	56.29%[(b)]	CTW + Air Limbah	4,34%[(a)]
FTW + Air Limbah + Bakteri	44,63%[(b)]	CTW + Air Limbah + Bakteri	2,73%[(a)]

4.10 Suhu

Hasil penelitian menunjukkan nilai suhu pada limbah cair tenun dalam reaktor FTW dan CTW berfluktuasi, perbedaan suhu disebabkan perbedaan cuaca harian selama penelitian. Konsentrasi amonia (NH_3) dapat berfluktuasi dipengaruhi oleh suhu (Wahyuningsih *et al*, 2020). Suhu tinggi di musim panas meningkatkan aktivitas bakteri dan proses nitrifikasi, yang berakibat pada penurunan konsentrasi amonia (NH_3). Sebaliknya di musim hujan, suhu yang lebih rendah memperlambat aktivitas bakteri dan proses nitrifikasi, sehingga konsentrassi amonia (NH_3) di lingkungan meningkat (Hargreaves *et al*, 2004; Titiresmi *et al*, 2006).



(a)



(b)

Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Suhu (a), Reaktor *Floating Treatment Wetland* (FTW) (b), Reaktor *Constructed Treatment Wetland* (CTW)

Parameter suhu merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan untuk memastikan efisiensi pada proses fitotemediasi (Kinidi *et al*, 2017). Suhu optimum pada pengolahan menggunakan *wetland* berkisar antara 23 – 30 °C (Luh *et al*, 2021). Pada reaktor FTW memiliki rentang suhu 24,4 – 26,1 °C; reaktor FTW+Bakteri memiliki rentang suhu 24,4 – 26,2 °C; reaktor CTW memiliki rentang suhu 24,3 – 26,4 °C; dan reaktor CTW+Bakteri memiliki rentang suhu 24,4 – 26,6 °C. Pada kondisi suhu 25 – 35 °C proses nitrifikasi berlangsung lebih cepat (Ng *et al*, 2016), pada penelitian ini rentang suhu terendah pada tiap reaktor mendekati 25°C dimana membuktikan bahwa proses nitrifikasi berjalan secara optimum yang ditandai penurunan konsentrasi amonia (NH_3) di setiap reaktor.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa limbah cair tenun mengandung konsentrasi amonia (NH_3) yang berbeda pada setiap konsentrasinya dan setiap pengolahan dengan jenis reaktor memeliki performa yang berbeda dalam menghilangkan konsentrasi amonia (NH_3). Hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Dilihat dari tingkat removal pada reaktor *wetland*, penggunaan konsorsium bakteri *Bacillus cereus, Bacillus spizizenii,* dan *Strenotrophomonas malthopilia* dapat meningkatkan performa *wetland* dalam menurunkan konsentrasi amonia (NH_3).
2. Pada keseluruhan reaktor setelah hari ke-7 mengalami penurunan konsentrasi amonia (NH_3). Efisiensi removal tertinggi amonia (NH_3) terdapat pada konsentrasi limbah cair tenun 25% terdapat pada reaktor C3 dapat diturunkan hingga 87,64%, sedangkan pada konsentrasi limbah cair tenun 50% terdapat pada reaktor F3 dapat diturunkan hingga 92,48%. Hasil konsentrasi akhir hari ke-28 setelah penambahan konsentrasi hingga 50%, keseluruhan reaktor memenuhi baku mutu parameter amonia (NH_3) dengan konsentrasi F2 3,29 mg/L; F3 2,08 mg/L; C2 2,63 mg/L; dan C3 1,96 mg/L.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Perlakuan pada reaktor kontrol perlu diperhatikan untuk mengurangi penurunan amonia (NH_3) yang disebabkan reaktor dibiarkan terbuka sehingga timbul potensi amonia (NH_3) menguap.

2. Perlu memperhatikan metode dalam memasukkan bakteri kedalam reaktor untuk memastikan bakteri yang dimasukkan beradaptasi dengan baik dalam reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

Adams, G. O., Tawari Fufeyin, P., Eruke Okoro, S., & Ehinomen, I. 2020. Bioremediation, Biostimulation and Bioaugmention: A Review. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation, 3(1), 28–39.

Almeida, A., Ribeiro, C., Carvalho, F., Durao, A., Bugajski, P., Kurek, K., Pochwatka, P., & Jóźwiakowski, K. 2019. Phytoremediation Potential of *Vetiveria zizanioides* and *Oryza sativa* to Nitrate and Organic Substance Removal In Vertical Flow Constructed Wetland Systems. Ecological Engineering, 138, 19–27.

Amanda, P.D. 2021. Identifikasi Pengaruh Bakteri Indigen Terhadap Performa Wetland Untuk Pengolahan Limbah Tenun. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Arumi, Kartini. 2006. Penurunan Kadar Ammonia Limbah Cair PT. Limanjaya Anugrah Dengan Metode Breakpoint Chlorination Pada Unit Mixing. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Aziz, N. I. H. A., 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 Sciences (Switzerland), 10(16).

Badrah, S., Aidina, R. P., & Anwar, A. 2021. Pemanfaatan Effective Microorganisms 4 (EM4) Menggunakan Media Biofilm untuk Menurunkan Amonia dan Fosfat pada Limbah Cair Rumah Sakit. Faletehan Health Journal, *8*(2), 102–108.

Badu, R.R. 2018. Performance of Floating Treatment Wetland Using Vetiveria Zizanioides Combined with Bacteria to Treat High Density of Oil Waste

from PT. KAI Yogyakarta. Yogyakarta: Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Their Potential as Antagonists and Biocontrol Agents. www.sbg.org.br

Boyd, C. 1998. Water Quality for Pond Aquaculture. Auburn University

Chen, Z., Cuervo, D. P., Müller, J. A., Wiessner, A., Köser, H., Vymazal, J., Kästner, M., & Kuschk, P. 2016. Hydroponic Root Mats for Wastewater Treatment—A Review. Environmental Science and Pollution Research, 23(16), 15911–15928.

Chou, S. T., Shih, Y., & Lin, C. C. 2015. Vetiver Grass (Vetiveria zizanioides) Oils. In Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety (pp. 843–848). Elsevier.

Compant, S., Kaplan, H., Sessitsch, A., Nowak, J., Ait Barka, E., & Clément, C. (2008). Endophytic Colonization of *Vitis Vinifera* L. By *Burkholderia Phytofirmans* Strain Psjn: From the Rhizosphere to Inflorescence Tissues. *FEMS Microbiology Ecology*, *63*(1), 84–93.

Dan, T. H., Quang, L. N., Chiem, N. H., & Brix, H. 2011. Treatment ff High-Strength Wastewater in Tropical Constructed Wetlands Planted With *Sesbania Sesban*: Horizontal Subsurface Flow Versus Vertical Downflow. Ecological Engineering, 37(5), 711–720.

Fajri, J. A., Nurmiyanto, A., Sa`adah, N. N., Nuryana, I., Anfaresi, S. L. N., & Lathifah, A. N. 2024. Effectiveness of Endophytes Bacteria in Enhancing Floating Treatment Wetland to Treat Textile Wastewater. Journal of Ecological Engineering, 25(3), 12–24.

Gao, L., Zhou, W., Huang, J., He, S., Yan, Y., Zhu, W., Wu, S., & Zhang, X. 2017. Nitrogen Removal by The Enhanced Floating Treatment Wetlands from The Secondary Effluent. Bioresource Technology, 234, 243–252.

Gomaa, O. M., Ibrahim, S. A. E. M., & Mansour, N. M. 2023. Bacillus spizizenii DN and Microbial Consortia Biostimulation Followed by Gamma Irradiation for Efficient Textile Wastewater Treatment. Environmental Science and Pollution Research, 30(12), 33907–33916.

Goswami, M., Chakraborty, P., Mukherjee, K., Mitra, G., Bhattacharyya, P., Dey, S., & Tribedi, P. 2018. Bioaugmentation and Biostimulation: a Potential Strategy for Environmental Remediation. Journal of Microbiology & Experimentation, 6(5).

Hargreave, J.A., & Tucker C.S. 2004. Managing Ammonia in Fish Pond. SRAC Publication 4603. Louisiana State University Agricultural Center Mississippi State University.

Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., & Sessitsch, A. 2015. The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 79(3), 293–320.

Hassan, I., Chowdhury, S. R., Prihartato, P. K., & Razzak, S. A. 2021. Wastewater Treatment Using Constructed Wetland: Current Trends and Future Potential. Processes, *9*(11), 1917.

Holderman, M. v, de Queljoe, E., Rondonuwu, S. B., Studi Biologi, P., & Universitas Sam Ratulangi Manado, F. 2017. Identifikasi Bakteri pada Pegangan Eskalator di Salah Satu Pusat Perbelanjaan di Kota Manado. In *Jurnal Ilmiah Sains* (Vol. 17, Issue 1).

Hussain, Z., Arslan, M., Malik, M. H., Mohsin, M., Iqbal, S., & Afzal, M. 2018. Treatment of The Textile Industry Effluent in a Pilot-Scale Vertical Flow Constructed Wetland System Augmented With Bacterial Endophytes. Science of the Total Environment, 645, 966–973.

Ijaz, A., Shabir, G., Khan, Q. M., & Afzal, M. 2015. Enhanced Remediation of Sewage Effluent by Endophyte-Assisted Floating Treatment Wetlands. Ecological Engineering, 84, 58–66.

Indika, H., & Vithanage, M. 2015. Phytoremediation in constructed wetlands. In Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 2 (pp. 243–263).

Kadlec RH, Knight RL. 1996. Treatment wetlands. Boca Raton, Florida: CRC Press; 893 pp.

Kementerian Perindustrian. 2023. Profil Industri Tekstil dan Produk Tekstil.

Kensa, V. M. 2011. BIOREMEDIATION-AN OVERVIEW. Journal of Industrial Pollution Control, 27(2), 161–168.

Kinidi, L., & Salleh, S. (2017). Phytoremediation of Nitrogen as Green Chemistry for Wastewater Treatment System. In *International Journal of Chemical Engineering* (Vol. 2017). Hindawi Limited.

Kumar, B. L., & Gopal, D. V. R. S. 2015. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. In 3 Biotech (Vol. 5, Issue 6, pp. 867–876). Springer Verlag.

Lin, H., You, S., & Liu, L. 2019. Characterization of Microbial Communities, Identification of Cr (VI) Reducing Bacteria in Constructed Wetland and Cr (VI) Removal Ability of Bacillus cereus. Scientific Reports, 9(1).

Manurung, R., & Hasibuan, R. 2004. Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob. Skripsi. Medan: Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.

Masturah, A., Darmayanti, L., & Lilis, Y. 2014. Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Tanaman Alisma plantago dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetland), 1(1), 1- 11.

Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., & Suzuki, A. (2010). Nitrogen Uptake, Assimilation and Remobilization in Plants: Challenges For Sustainable and Productive Agriculture. In *Annals of Botany* (Vol. 105, Issue 7, pp. 1141–1157).

Ng, Y. S., & Chan, D. J. C. 2017. Wastewater Phytoremediation by Salvinia molesta. *Journal of Water Process Engineering*, *15*, 107–115.

Ningsih, Dwi Agustiang. 2017. Uji Penurunan Kandungan BOD, COD, dan Warna pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan *Scirpus grossus dan Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan Intermittent. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Nsenga Kumwimba, M., Batool, A., & Li, X. 2021. How To Enhance the Purification Performance of Traditional Floating Treatment Wetlands (Ftws) at Low Temperatures: Strengthening strategies. In *Science of the Total Environment* (Vol. 766). Elsevier B.V.

Nuzula, A.M. 2021. Identifikasi Bakteri Endofit Untuk Meningkatkan Degradasi COD Pada Pengolahan Limbah Tenun Menggunakan Sistem Floating Treatment Wetland (FTW). Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Pambudi, I.N. 2020. Perubahan Parameter Fisika pada Proses Biodegradasi Limbah Tenun oleh Bakteri Endofit. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Pardamean, M. 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.

Priadie, B., Muda Bidang Teknik Lingkungan SDA, P., Litbang Sumber Daya Air, P., & Jl Ir H Juanda, K. P. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif

Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. Jurnal Ilmu Lingkungan. 10(1), 38–48.

Rosyida, & Susatyo Nugroho, A. 2017. Pengaruh Dosis Pupuk Majemuk NPK dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)* Terhadap Bobot Basah Dan Kadar Klorofil Daun Tanaman Pakcoy *(Brassica Rapa L.).*

Sa'adah, N.N. 2020. Pengolahan Limbah Cair Tenun Dengan Sistem Floating Treatment Wetland Menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiver dan Bakteri Endofit. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Santos, M. L., Berlitz, D. L., Wiest, S. L. F., Schünemann, R., Knaak, N., & Fiuza, L. M. 2018. Benefits Associated with the Interaction of Endophytic Bacteria and Plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *61*, 1–11.

Shahid, M. J., Arslan, M., Ali, S., Siddique, M., & Afzal, M. 2018. Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment. In Clean - Soil, Air, Water (Vol. 46, Issue 10). Wiley-VCH Verlag.

Smits, P. E. 2005. Phytoremediation. In Annual Review of Plant Biology (Vol. 56, pp. 15–39).

Srivastava, J., Kayastha, S., Jamil, S., & Srivastava, V. 2008. Environmental Perspectives of Vetiveria zizanioides (L.) Nash. In Acta Physiologiae Plantarum (Vol. 30, Issue 4, pp. 413–417).

Sukarjo, W. P., Handayani, C. O., & Harsanti, E. S. 2019. Penilaian Resiko Kontaminasi Logam Berat di Lahan Sawah dan Tanaman Padi Di DAS Brantas, Kabupaten Jombang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol*, *6*(1), 1033-1042.

Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. 2020. Mekanisme Fitoremediasi: Review. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL), 2(2), 40–47.

Thompson, I. P., van der Gast, C. J., Ciric, L., & Singer, A. C. 2005. Bioaugmentation for Bioremediation: The Challenge of Strain Selection. In Environmental Microbiology (Vol. 7, Issue 7, pp. 909–915).

Titiresmi., & Sopiah, N. 2006. Teknologi Biofilter Untuk Pengolahan Limbah Amonia. Jurnal Teknologi Lingkungan, 7(2), 173-179.

Trung, D. Q., Anh, L. T., Thu, T. T. T., Tri, N. T., & Vien, D. van. 2021. Assessment of Enhanced Phytoremediation of Shrimp Aquaculture Wastewater by Endophytic Bacteria-Inoculated Floating Treatment Wetlands. International Aquatic Research, *13*(4), 253–260.

Tu, Y. T., Chiang, P. C., Yang, J., Chen, S. H., & Kao, C. M. 2014. Application of a Constructed Wetland System for Polluted Stream Remediation. Journal of Hydrology, 510, 70–78.

Ulayya, F. T. 2023. Pemberdayaan Industri Kecil Tenun Troso oleh Dinas Perindustrian dan Perdagangan di Desa Troso Kecamatan Pecangaan Kabupaten Jepara Provinsi Jawa Tengah. Skripsi. Sumedang: Program Studi Pembangunan Ekonomi dan Pemberdayaan Masyarakat Institut Pemerintahan Dalam Negeri.

Vymazal, J. 2005. Horizontal Sub-Surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems for Wastewater Treatment. Ecological Engineering, 25(5), 478–490.

Vymazal, J. 2007. Removal Of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. Science of the Total Environment, *380*(1–3), 48–65.

Vymazal, J. 2008. Constructed Wetlands, Surface Flow. In Encyclopedia of Ecology, Vol. 1.; Jørgensen, S. E., Fath, B., Eds.; Elsevier BV: Amsterdam.

Vymazal, J. 2011. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades Of Experience. Environmental Science and Technology, 45(1), 61–69.

Vymazal, J. 2013. The Use of Hybrid Constructed Wetlands For Wastewater Treatment With Special Attention To Nitrogen Removal: A Review Of A Recent Development. In *Water Research* (Vol. 47, Issue 14, pp. 4795–4811).

Wei, F., Shahid, M. J., Alnusairi, G. S. H., Afzal, M., Khan, A., El-Esawi, M. A., Abbas, Z., Wei, K., Zaheer, I. E., Rizwan, M., & Ali, S. 2020. Implementation Of Floating Treatment Wetlands for Textile Wastewater Management: A review. Sustainability (Switzerland), 12(14), 1–29.

Zille, A., 2005. Laccase Reaction for Textile Application. Disertasi. Textile Departement Universidade do Minho.

Wahyuningsih, S., Arbi, D., & Gitarama, M. 2020. Amonia Pada Sistem Budidaya Ikan. Jurnal Ilmiah Indonesia. *5*(2).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Sampling Limbah Cair Tenun



Gambar 1. 1 Tempat Pengambilan Limbah cair Tenun

Lampiran 2 Hasil Perhitungan Parameter Limbah Cair Tenun

2.1 Hasil Perhitungan Konsentrasi Amonia (NH_3)

Amonia (NH_3) dalam air diukur dengan spektrofotometer sesuai dengan SNI 06-6989.30-2005. Untuk menghitung konsentrasi amonia (NH_3) diperlukan kurva kalibrasi dari berbagai larutan standar.

Tabel 2. 1 Standar Amonia (NH_3)

Standar	Amonia (NH_3) (mg/L) (X)	Arsobansi Terkoreksi (A) (Y)	XY	X^2
Standar 1	0	0	0	0
Standar 2	0,1	0,097	0,010	0,01
Standar 3	0,4	0,251	0,100	0,16
Standar 4	0,7	0,362	0,253	0,49
Standar 5	0,8	0,451	0,361	0,64
Standar 6	1	0,543	0,543	1,00
Total	3	1,704	1,2673	2,3

Dari Tabel di atas dapat dihitung nilai a dan b untuk mendapatkan persamaan berikut:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= \frac{(1{,}704)(2{,}3) - (3)(1{,}2673)}{6(2{,}3) - (3)^2}$$

$$a = 0{,}0244$$

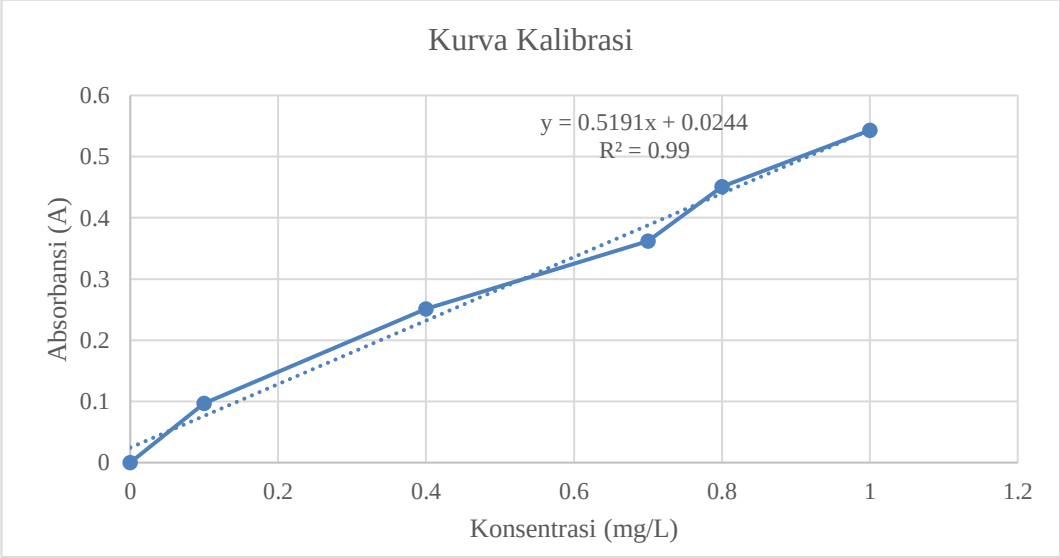
$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= \frac{6(1{,}2673) - (3)(1{,}704)}{6(2{,}3) - (3)^2}$$

$$b = 0{,}5191$$

Y = bX + a

Y = 0,5191x + 0,0244



Gambar 2. 1 Kurva Kalibrasi Standar Amonia (NH_3)

Kurva kalibrasi dapat diterima apabila koefisen korelasi (r) lebih besar atau sama dengan 0,97. Dari gambar diatas diketahui koefisien korelasi standar amonia (NH_3) sebesar 0,99 sehingga kurva kalibrasi dapat diterima.

Tabel 2. 2 Hasil Pengukuran Amonia (NH_3) Konsentrasi Limbah 25%

Reaktor	Kadar amonia (NH3) (mg/L) 25%		
	Hari ke-		
	0	7	14
Kontrol	11.70	13.24	5.49
FTW	12.87	6.76	5.79
FTW+Bakteri	12.71	38.07	36.27
CTW	6.64	5.85	1.93
CTW+Bakteri	13.01	6.17	1.61

Tabel 2. 2 Persentase Removal Amonia (NH_3) Konsentrasi Limbah 25%

Reaktor	Persentase removal amonia (NH3) 25%	
	Hari ke-	
	7	14
Kontrol	-13%	53%
FTW	47%	55%
FTW+Bakteri	-200%	-185%
CTW	12%	71%
CTW+Bakteri	53%	88%

Tabel 2. 4 Hasil Pengukuran Amonia (NH_3) Konsentrasi Limbah 50%

Reaktor	Kadar amonia (NH3) (mg/L) 50%		
	Hari ke-		
	0	7	14
Kontrol	18.03	7.82	5.80
FTW	16.40	5.67	3.29
FTW+Bakteri	27.63	6.30	2.08
CTW	18.87	6.69	2.63
CTW+Bakteri	18.05	8.96	1.96

Tabel 2. 2 Persentase Removal Amonia (NH_3) Konsentrasi Limbah 25%

Reaktor	Persentase removal amonia (NH3) 50%	
	Hari ke-	
	7	14
Kontrol	57%	68%
FTW	65%	80%
FTW+Bakteri	77%	92%
CTW	65%	86%
CTW+Bakteri	50%	89%

Lampiran 3 Karakteristik Harian Limbah Cair Tenun

3.1 Hasil Pengukuran Suhu

Hari	Kontrol	FTW	FTW+Bakteri	CTW	CTW+Bakteri
1	26.2	26.1	26.2	26.4	26.6
2	26.1	26.0	26.0	26.2	26.2
3	25.2	25.7	25.6	25.3	25.4
5	24.0	24.4	24.4	24.3	24.4
6	24.8	25.0	24.9	26.3	24.9
7	25.7	25.7	25.8	25.7	25.6
8	25.3	25.5	25.5	25.5	25.5
9	25.2	25.4	25.3	25.3	25.4
10	25.6	25.8	25.8	26.0	26.0
12	25.9	26.1	26.1	25.8	25.7
13	25.6	25.9	25.9	25.8	25.9
15	24.70	24.90	25.00	25.10	25.10
16	24.33	25.00	24.43	24.37	24.50
18	24.80	25.00	24.97	25.00	25.00
19	25.10	25.00	24.97	25.00	25.07
20	25.80	25.17	25.10	25.63	25.60
21	24.50	25.13	24.87	24.70	24.90
23	25.27	25.10	25.17	25.50	25.73
25	25.60	25.23	25.43	25.33	25.37
26	25.07	25.20	25.10	25.30	25.50
27	25.37	25.60	25.30	25.47	25.40

Lampiran 4 Uji Statistik

4.1 Uji Statistik FTW

Test of Homogeneity of Variances

NH3F

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.964	17	36	.000

ANOVA

NH3F

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5880.821	17	345.931	27.610	.000
Within Groups	451.056	36	12.529		
Total	6331.877	53			

NH3F

Tukey HSD[a]

		Subset for alpha = 0.05					
TreatxDay	N	1	2	3	4	5	6
TW3 Day 28 50	3	2.0800					
TW2 Day 28 50	3	3.2933	3.2933				
K Day 14 25	3	5.4923	5.4923				
TW2 Day 21 50	3	5.6733	5.6733	5.6733			
TW2 Day 14 25	3	5.7907	5.7907	5.7907			
K Day 28 50	3	5.8033	5.8033	5.8033			
TW3 Day 21 50	3	6.3000	6.3000	6.3000			
TW2 Day 7 25	3	6.7640	6.7640	6.7640			
K Day 21 50	3	7.8133	7.8133	7.8133	7.8133		
K Day 0 25	3	11.7040	11.7040	11.7040	11.7040		
TW3 Day 0 25	3	12.7097	12.7097	12.7097	12.7097		
TW2 Day 0 25	3	12.8747	12.8747	12.8747	12.8747		

K Day 7 25	3		13.2407	13.2407	13.2407		
TW2 Day 14 50	3			16.3933	16.3933		
K Day 14 50	3				18.0333	18.0333	
TW3 Day 14 50	3					27.6300	27.6300
TW3 Day 14 25	3						36.2690
TW3 Day 7 25	3						38.0670
Sig.		.052	.103	.055	.083	.134	.070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

4.2 Uji Statistik CTW

Test of Homogeneity of Variances

NH3C

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.884	17	36	.000

ANOVA

NH3C

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1639.549	17	96.444	10.158	.000
Within Groups	341.803	36	9.495		
Total	1981.352	53			

NH3C

Tukey HSD[a]

		Subset for alpha = 0.05				
TreatxDay	N	1	2	3	4	5
TW3 Day 14 25	3	1.6067				
TW2 Day 14 25	3	1.9347				
TW3 Day 28 50	3	1.9600				
TW2 Day 28 50	3	2.6300	2.6300			

K Day 14 25	3	5.4923	5.4923	5.4923		
K Day 28 50	3	5.8033	5.8033	5.8033		
TW2 Day 7 25	3	5.8520	5.8520	5.8520		
TW3 Day 7 25	3	6.1730	6.1730	6.1730		
TW2 Day 0 25	3	6.6353	6.6353	6.6353		
TW2 Day 21 50	3	6.6867	6.6867	6.6867		
K Day 21 50	3	7.8133	7.8133	7.8133		
TW3 Day 21 50	3	8.9600	8.9600	8.9600	8.9600	
K Day 0 25	3		11.7040	11.7040	11.7040	11.7040
TW3 Day 0 25	3			13.0050	13.0050	13.0050
K Day 7 25	3			13.2407	13.2407	13.2407
K Day 14 50	3				18.0333	18.0333
TW3 Day 14 50	3				18.0500	18.0500
TW2 Day 14 50	3					18.8667
Sig.		.289	.070	.217	.069	.329

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 5 *Total Plate Count* (TPC)

Tabel 5. 1 Jumlah Koloni Dalam Cawan Petri

Treatment	10^{-2}		10^{-3}	
	a	b	a	b
K1	11	7	10	2
K2	3	0	6	0
K3	45	25	2	5
F4	6	5	0	0
F5	7	5	2	1
F6	2	3	1	1
F7	67	66	7	3
F8	38	26	9	5
F9	13	15	1	10
C4	2	5	0	1
C5	23	47	4	7
C6	2	2	1	1

C7	7	6	1	1
C8	8	6	2	1
C9	26	37	31	23

Tabel 5. 2 *Total Plate Count* (TPC) (CFU/mL)

Treatment	10^{-2}		10^{-3}	
	a	b	a	b
K1	1100	700	10000	2000
K2	300	0	6000	0
K3	4500	2500	2000	5000
F4	600	500	0	0
F5	700	500	2000	1000
F6	200	300	1000	1000
F7	6700	6600	7000	3000
F8	3800	2600	9000	5000
F9	1300	1500	1000	10000
C4	200	500	0	1000
C5	2300	4700	4000	7000
C6	200	200	1000	1000
C7	700	600	1000	1000
C8	800	600	2000	1000
C9	2600	3700	31000	23000

Lampiran 6 Jumlah Kematian Tanaman

Tabel 6. 1 Mortalitas Pada Tiap Reaktor

CTW				FTW			
Reaktor	Tanaman Hidup	Tanaman Mati	Mortalitas	Reaktor	Tanaman Hidup	Tanaman Mati	Mortalitas
C1	22	1	4.55%	F1	15	5	33.33%
C2	28	2	7.14%	F2	16	7	43.75%
C3	27	1	3.70%	F3	12	5	41.67%
C4	21	1	4.76%	F4	18	11	61.11%
C5	22	1	4.55%	F5	23	10	43.48%
C6	27	1	3.70%	F6	14	9	64.29%
C7	26	1	3.85%	F7	20	10	50.00%
C8	23	0	0.00%	F8	19	7	36.84%
C9	23	1	4.35%	F9	17	8	47.06%

RIWAYAT HIDUP



Nama Lengkap : Daru Fathurahman

Tempat dan Tanggal Lahir : Tolitoli, 13 Juli 2002

Status Anak : Anak ke-1 dari 2 bersaudara

Nama Ayah : Sujatmiko

Nama Ibu : Andi Nuryani

Pendidikan Penulis :

- SDIT Qurrota A'yun Kendal (2008-2010)
- SDIT BIAS Cilacap (2010-2012)
- SDIT Darul Fikri Arga Makmur (2012-2014)
- SMPN 1 Arga Makmur (2014-2015)
- SMPN 2 Dabo Singkep (2015-2017)
- SMAIT Bina Umat Yogyakarta (2017-2020)
- Universitas Islam Indonesia (2020-sekarang)