

TUGAS AKHIR

**UNJUK KERJA *HYBRID CONSTRUCTED WETLAND*
KOMBINASI DENGAN KONSORSIUM BAKTERI untuk
REMOVAL KANDUNGAN LOGAM, TSS, dan WARNA
PADA AIR LIMBAH TENUN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



DIMAS AZIS ALWI

18513220

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

2022

TUGAS AKHIR
UNJUK KERJA *HYBRID CONSTRUCTED WETLAND* KOMBINASI
DENGAN KONSORSIUM BAKTERI untuk REMOVAL KANDUNGAN
LOGAM, TSS, dan WARNA PADA AIR LIMBAH TENUN
Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



Disusun Oleh :
DIMAS AZIS ALWI

18513220

Disetujui,

Dosen Pembimbing I

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

NIK. 165131306

Tanggal :

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng

NIK. 095130403

Tanggal :

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP/UII



Dr. Eng Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng

NIK. 095130403

Tanggal: 27 Oktober 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**UNJUK KERJA *HYBRID CONSTRUCTED WETLAND* KOMBINASI
DENGAN KONSORSIUM BAKTERI untuk REMOVAL KANDUNGAN
LOGAM, TSS, dan WARNA PADA AIR LIMBAH TENUN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Senin

Tanggal: 14 Oktober 2022

Disusun Oleh:

DIMAS AZIS ALWI

18513220

Tim Penguji :

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

()

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

()

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

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan 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, 15 April 2022

Yang membuat pernyataan



Dimas Azis Alwi

NIM: 18513220

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Maret 2022 ini ialah Unjuk Kerja *Hybrid Constructed Wetland* Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri untuk Removal Kandungan Logam, TSS, dan, Warna. Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan dukungan, semangat, dorongan, serta bimbingan dari berbagai pihak yang terlibat sehingga penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu menjadi tempat berserah diri dan meminta pertolongan sehingga penulis dimudahkan segala urusannya.
2. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan semangat, dukungan baik moral maupun moril, kasih sayang, serta doa sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi.
3. Ayuk Nuravif Setia Ningrum dan Adek Sophie Aulia Ningsih selaku saudara kandung penulis dan Meta Ilma Nur Amalia yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan semangat, menghibur, dan membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi serta selalu menemani penulis dalam segala kondisi.
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing I, Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II, dan Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech, Ph.D. selaku *reviewers* dan penguji sidang skripsi yang telah memberikan banyak bimbingan dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu penulis saat menghadapi kesulitan dalam menjalani proses perkuliahan dan memberikan masukan serta saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis serta pihak pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
7. Motor X-Tride penulis yang telah mengantar kesana dan kemari penulis selama 4 tahun masa kuliah penulis

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian laporan yang masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk membuat laporan ini menjadi jauh lebih baik. Semoga laporan ini dapat menjadi referensi dan berguna bagi banyak orang nusa dan bangsa.

Yogyakarta, 15 Agustus 2022



Dimas Azis Alwi





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

DIMAS AZIS ALWI. Unjuk Kerja *Hybrid Constructed Wetland* Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri Untuk Removal Kandungan Logam TSS dan Warna. Dibimbing oleh Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

Limbah tenun yang dipakai merupakan limbah artificial, dimana dilakukan pengolahan khusus untuk air tenun dengan menggunakan metode *Vertikal wetland* kombinasi dengan *Horizontal wetland* menggunakan tanaman *Vetiver zizaniodes* dan konsorsium bakteri, pada reaktor terdapat media yang berisi tanaman *Vetiver zizaniodes*, batu, kerikil, dan pasir. Tujuan dari metode yang digunakan ini ialah untuk mengukur dan mengurangi kadar logam, TSS, dan warna. Proses aklimatisasi tanaman dilakukan selama 85 hari dengan memberi pupuk hidroponic selama 2-3 hari dan bakteri konsorsium dimasukkan sebelum running reaktor, untuk pengujian sampel dilakukan pada hari ke 0, 4, 11, 18 dan 25. Hasil penelitian didapat dari hasil pengujian menunjukkan penggunaan *Vertikal wetland* dan *Horizontal wetland* kombinasi dengan tanaman *Vetiver zizaniodes* dan konsorsium bakteri dapat menurunkan kadar TSS sebesar 12,77%-80,17%, dan untuk zat warna dapat menurunkan kadar sebesar 30.56%-98,59%.

Kata Kunci : Air limbah tenun, *Hybrid constructed wetland*, *Kosorsium Bakteri*, *Vetiveria zizaniodes*

ABSTRACT

DIMAS AZIS ALWI. Performance of Hybrid Constructed Wetland Combination with Bacterial Endophytes for Removal of TSS Metal Content and Color. Supervised by Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. and Dr. eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

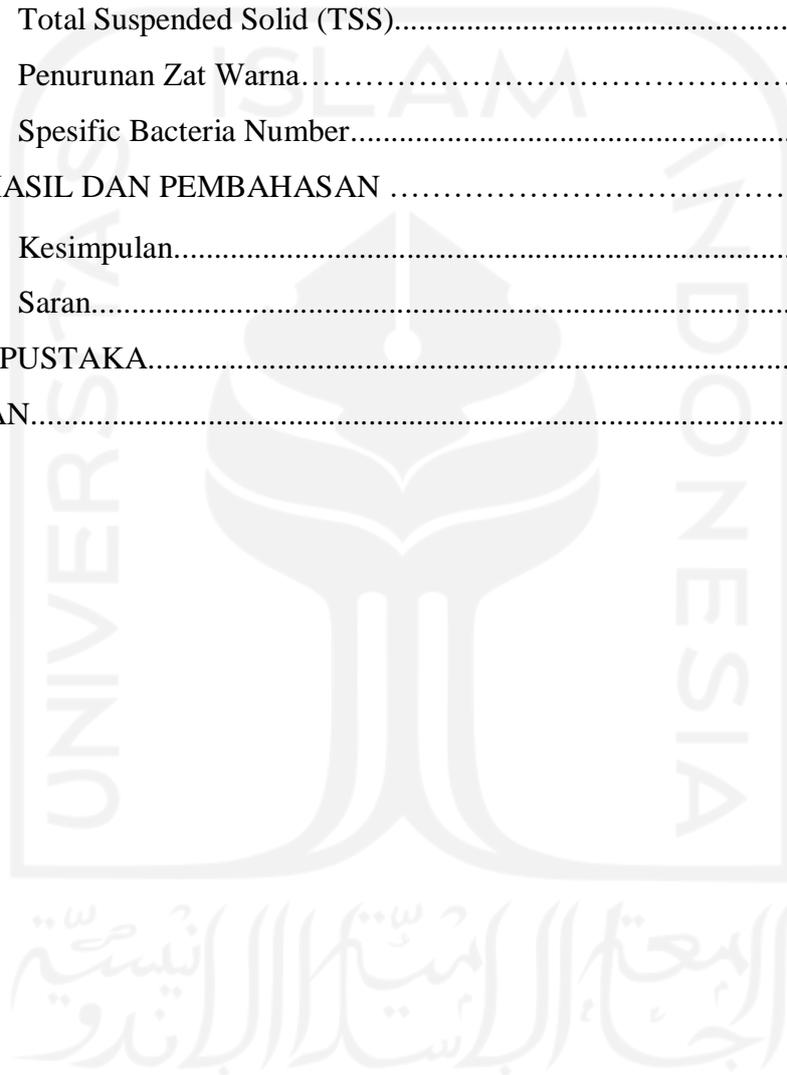
The weaving waste used is artificial waste, where special treatment is carried out for weaving water using the combination of the Vertical wetland method with the horizontal wetland using vetiver plants and a consortium of bacteria, in the reactor there is media containing vetiver plants, stones, gravel, and sand. The purpose of this method is to measure and reduce metal content, TSS, and Color. The plant acclimatization process was carried out for 85 days by giving hydroponic fertilizer for 2-3 days and the consortium bacteria were entered before running the reactor, for sample testing was carried out on days 0, 4, 11, 18 and 25. The result obtained from the test result showed the use of Vertical wetlands and Horizontal wetlands combined with vetiver plants and a consortium of bacteria can reduce TSS levels by 12,77%-80,17% and for dyes can reduce levels by 30.56%-98.59%.

Keywords: *Consortium bacteria, Hybrid Constructed Wetland Continuous Wetland, Vetiver zizanioides, Weaving Wastewater*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Sasaran Penelitian.....	6
1.6 Ruang Lingkup.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gambaran Industri Tenun.....	7
2.2 Dampak yang Dihasilkan dari Limbah Tenun Bagi Kesehatan.....	8
2.3 Parameter Uji.....	9
2.4 Media Tanaman Vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>).....	11
2.5. <i>Endophytic Bacteria</i>	12
2.6 Teknologi Constructed Wetland	13
2.7 Studi Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	26
3.2 Alur Penelitian.....	26
3.3 Inokulasi Bakteri.....	28
3.4 Culture Bakteri.....	31
3.5 <i>Reaktor Wetland</i>	33
3.6 Pembuatan Air Limbah Tenun.....	37
3.7 Pengujian Karakteristik Limbah Tenun Buatan	

.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Karakteristik Limbah.....	46
4.2 Kondisi Reaktor.....	47
4.3 Konsentrasi Logam Pada Air Limbah Tenun.....	51
4.4 Total Suspended Solid (TSS).....	59
4.5 Penurunan Zat Warna.....	61
4.6 Spesific Bacteria Number.....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN.....	72



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3.1 Pengujian Parameter.....	39.
Tabel 3.2 Pengujian Parameter Fisik.....	40
Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah yang Berlaku.....	42
Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Tenun Logam.....	46
Tabel 4.2 Tinggi Tanaman Sebelum Proses Running Reaktor <i>Hybird Constructed Wetland</i>	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema Kerangka Berfikir Penelitian.....	4
Gambar 2. 1 Tanaman Akar wangi (<i>Vetiveria zizaniodes</i>).....	11
Gambar 2. 2 Kinerja dari Reaktor Hybrid constructed wetland.....	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Proses pembuatan media Nutrient Agar (Na).....	27
Gambar 3. 3 Streak Bakteri.....	28
Gambar 3. 4 Kultur Bakteri.....	30
Gambar 3. 5 Kulture Bakteri	31
Gambar 3. 6 Skema Reaktor <i>Vertikal</i> dan <i>Horizontal</i> Wetland.....	33
Gambar 3. 7 Reaktor <i>Vertikal</i> dan <i>Horizontal</i> Wetland.....	33
Gambar 3. 8 Proses pemasukan bakteri kedalam reaktor.....	35
Gambar 3. 9 Tanaman Akar Wangi (<i>Vetivera zizanioides</i> .) Awal Aklimitasi.....	35
Gambar 3. 10 Tanaman Akar Wangi (<i>Vetivera zizanioides</i>) Setelah Aklimitasi.....	36
Gambar 3. 11 Pembuatan limbah tenun buatan	38
Gambar 4. 1 <i>Reaktor Hybrid Constructed Wetland</i> dan proses pertumbuhan tanaman pada hari ke-7	44
Gambar 4. 2 <i>Reaktor Hybrid Constructed Wetland</i> dan tanaman sebelum dilakukan running.....	45
Gambar 4. 3 <i>Reaktor Hybrid Constructed Wetland</i> dan tanaman pada proses running reaktor dilakukan.....	45
Gambar 4. 4 Grafik Konsentrasi Logam Cr.....	49
Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi Logam Cu.....	50
Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi Logam Pb.....	51
Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi Logam Cd.....	53
Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi TSS.....	55
Gambar 4. 9 Grafik Effisiensi removal TSS.....	56

Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi Zat Warna.....57

Gambar 4. 11 Effisiensi Zat Warna.....57

Gambar 4. 12 Grafik jumlah koloni bakteri pada reaktor *Hybrid Construted Wetland*58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sampel murni sebelum disaring hari ke-4.....	72
Lampiran 2 Sampel murni sebelum disaring hari ke -11.....	72
Lampiran 3 Sampel murni sebelum disaring hari ke 18.....	72
Lampiran 4 Sampel yang sudah siap di uji AAS hari ke-4.....	73
Lampiran 5 Sampel yang sudah siap di uji AAS hari ke-11.....	73
Lampiran 6 Sampel yang sudah siap di uji AAS hari ke-18.....	74
Lampiran 7 Sampel yang sudah siap di uji AAS hari ke-25.....	74
Lampiran 8 Nilai kosentrasi Zat Warna.....	75
Lampiran 9 Nilai Effisiensi removal zat warna.....	76
Lampiran 10 Kosentrasi TSS.....	76
Lampiran 11 Effisiensi removal TSS.....	76
Lampiran 12 Kosentrasi TPC.....	77
Lampiran 13 Hasil Uji Logam <i>Vertikal</i> dan <i>Horizontal</i>	77
Lampiran 14 Hasil Uji TSS.....	77
Lampiran 15 Pengujian Logam Menggunakan AAS.....	78
Lampiran 16 Hasil Pengujian <i>Total Plate Count</i> (TPC).....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Troso merupakan sebuah desa yang terletak di Kecamatan Pecangan Kabupaten Jepara. Desa ini terkenal dengan produk tenun ikat Troso (Monografi Desa Troso Tahun 2013). Berdasarkan tradisi lisan menunjukkan bahwa tenun ikat Troso sudah lama eksis dan berkembang hingga sekarang. Bagi masyarakat Desa Troso, menenun merupakan salah satu aktivitas ekonomi yang telah dilakukan secara turun temurun. Pada awalnya usaha kerajinan tenun di Desa Troso merupakan kegiatan sampingan masyarakat yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Dalam perkembangannya, aktivitas menenun ini menjadi mata pencaharian masyarakat (Bappeda Jepara, 2006 : 68).

Industri tenun di desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara merupakan industri yang produktif dan menghasilkan produk setiap hari. Menurut Disperindag Kabupaten Jepara tahun 2017, Tenaga kerja dalam idustri tenun ikat berjumlah 11.332 pekerja dan volume produksi dihasilkan sebesar 37.322.128 meter. Dari banyaknya produksi yang dihasilkan makan air limbah yang dihasilkan juga tinggi, tetapi banyak pengrajin yang belum mengolah dan membuang limbahnya ke sungai dan selokan. Pencemaran dari pembuangan limbah tenun Troso dapat terlihat dari berubahnya warna air sungai sesuai dengan warna limbah buangan industri yang dialirkan khususnya pada daerah pertemuan antara saluran pembuangan dengan saluran air sungai. Pencemaran dari pembuangan limbah cair tenun Troso dapat terlihat dari warna air sungai yang berubah-ubah sesuai dengan warna dan waktu pembuangan limbah cair. Akibat pencemaran yang terjadi melalui saluran irigasi maupun selokan, air limbah tersebut mengalir sampai pada area persawahan. Oleh karena itu, dimungkinkan terjadinya permasalahan kesehatan

karena padi-padi yang ada di sawah menyerap air limbah tenun yang mengandung logam dan dikonsumsi untuk kebutuhan pangan masyarakat. Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam manusia. Beberapa di antaranya bersifat membangkitkan kanker (karsinogen). Efek buruk logam berat juga tergantung pada bagian mana ia terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teragen atau karsinogen bagi manusia (Munir,2008). Teknologi pengolahan limbah tenun yang dapat diterapkan di industri tenun di Indonesia salah satunya sistem *constructed wetland* yang biasa disebut dengan sistem lahan basah buatan, yang mana pengelolaan limbah pada teknologi ini memanfaatkan tanaman air dan mikroorganisme. sistem *constructed wetland* merupakan sistem yang di design dan dibangun untuk proses alamiah yang melibatkan tumbuhan, tanah, dan kumpulan mikroba yang berfungsi untuk proses penguraian dan transformasi *pollutant* oleh mikroorganisme dan tanaman (Abdul gani et al.,2014). Pengolahan air limbah pada umumnya dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya *aerated lagoon, activated sludge, thrickling filter dan constructed wetland*. Pada penelitian ini digunakan alternatif pengolahan limbah cair jumptan dengan *constructed wetland* karena memiliki biaya pembuatan dan operasional yang lebih terjangkau dibandingkan metode lain (Sembiring et a.,2011). Sistem CW merupakan teknologi yang murah dengan sedikit atau tanpa kebutuhan energi dan kebutuhan peralatan sangat minim, sehingga biaya konstruksi menjadi rendah (Elzein,etal.,2016;Mthembu,2013;UN Habitat,2008).

Wetland merupakan area-area transisi antara tanah dan air *wetland* alamiah mencakup antara lain, rawa-rawa, padang rumput basah, lahan yang terkena pasang surut, daratan banjir, dan lahan basah dispeanjang salurang sungai (UN HABITAT,2008). Sedangkan *Constructed wetland* adalah lahan basah buatan,dengan fungsi pemurnian air limbah dengan menggunakan fisik, kimia, dan menggunakan metode biologi dalam sebuah *eco-system* ,

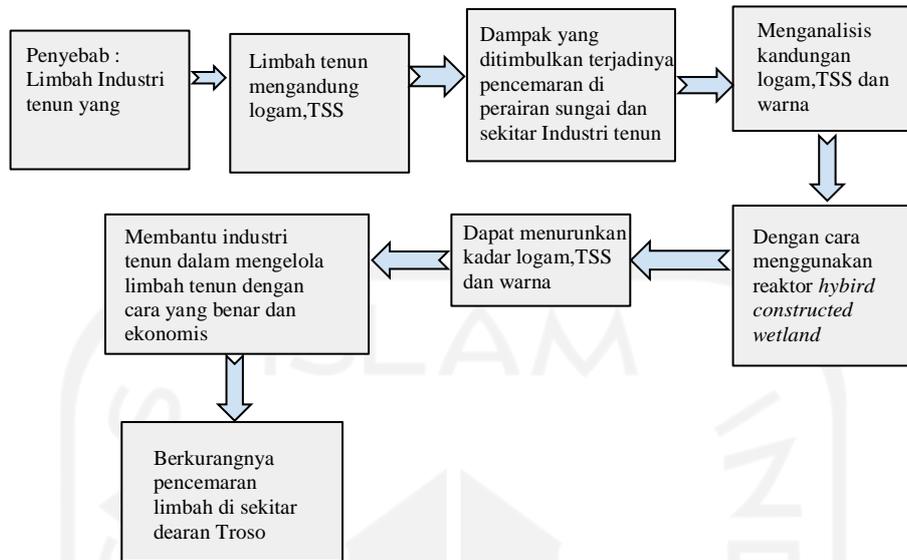
dengan memanfaatkan proses filtrasi, adsorpsi, pertukaran ion dan penguraian dengan mikroba (Tian, 2011). Keuntungan dari sistem *hybrid* ini yaitu: (1) Secara umum sistem *hybrid* memiliki efek pengolahan limbah yang lebih baik daripada sistem tunggal, terutama untuk nitrogen, karena keuntungan dari filter yang berbeda dapat digabungkan, selama tidak ada filter permukaan bebas yang terlibat; (2) Sistem *hybrid* ini tidak menyebabkan peningkatan sarang nyamuk; (3) Memanfaatkan proses alami seperti gravitasi bumi, sinar matahari, proses penyaringan oleh kerikil dan pasir, dan tanaman untuk mereduksi senyawa limbah batik; (4) Daya listrik umumnya hanya diperlukan untuk pompa yang digunakan pada sistem skala yang lebih besar; (5). Sistem *hybrid* juga memiliki laju prosesnya lebih stabil. Sedangkan kelemahannya adalah sangat memakan ruang, membutuhkan pengetahuan dan pengalaman konstruksi ahli, membutuhkan desain dan pengawasan ahli, dan tidak terlalu toleran terhadap iklim dingin (Staufer & Spuhler, 2018).

Tanaman akuatik yang digunakan untuk fitoremediasi memiliki kriteria yaitu bukan merupakan bahan pangan maupun tumbuhan obat (Hidayat et al, 2004). Fitoremediasi merupakan penggunaan tanaman untuk proses dekontaminasi dalam menangani pencemaran lingkungan. Istilah umum fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani yaitu *phyto* (tumbuhan), yang dilekatkan pada akar bahasa Latin *remedium* (untuk memperbaiki atau menghilangkan kejahatan) (Ali et al., 2013). Maka akan digunakan tanaman *Typha latifolia* dalam teknologi ini. Penggunaan *Constructed wetland* sangat efisien untuk industri tenun skala kecil hingga menengah dalam mengelola limbah cair dari proses pembuatan tenun, dikarenakan dalam pembangunan *constructed wetland* ini membutuhkan lahan yang sedikit dan biaya yang rendah, untuk pengoperasian dan perawatan mudah. *Constructed wetland* juga cocok untuk limbah yang mengandung logam berat, maka diperlukan penelitian penggunaan *constructed wetland* dan tanaman *typha latifolia* dalam mengelola industri tenun. Studi sebelumnya menunjukkan senyawa azo di dalam proses anaerob sangat mudah diubah ke amina aromatik, namun amina aromatik menghambat proses degradasi selanjutnya, sehingga proses degradasi

dilanjutkan sebagian besar oleh aerob (Ong et al., 2011)

Pada penelitian sebelumnya memiliki tujuan untuk mengevaluasi kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri dalam mengurangi kadar logam Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Krom(Cr), Kadium(Cd) dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah industri X di Yogyakarta menggunakan metode floating treatment wetland dalam reaktor dengan sistem batch. Menurut Nurtana (2018), penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu menurunkan kadar logam Besi (Fe) sebanyak 15%-93% dan Timbal (Pb) 20%-100%.

Akan tetapi penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri kurang efisien dalam mereduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui kinerja reaktor *Continuous wetland* dengan kombinasi *Floating wetlands* dan *Constructed wetlands* dengan menggunakan rumput *Vetiveria zizanioides* (Akar wangi) dan bakteri dalam mereduksi kandungan Besi(Fe), Timbal(Pb), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah industri Tenun. Limbah Industri Tenun sebagai penyebab utama pada penelitian ini kemudian limbah industri industri tenun tersebut mengeluarkan dampak pada pencemaran di perairan sungai sekitar Industri Tenun, Dampak dari limbah tersebut menyebabkan pada perairan air sungai meningkatkan kadar NH₃, COD dan rusaknya lingkungan sekitar Industri Tenun, akan tetapi pencemaran tersebut dapat dicegah dengan cara mengelola limbah dengan cara yang baik dan benar dengan menggunakan *constructed wetland* dan media nya yaitu tanaman *Vetiveria zizanioides* dengan mengukur parameter nya yaitu NH₃, logam, dan TSS pada daerah perairan Industri Tenun. Dan untuk solusi pada topik TA ini yaitu Studi pengolahan limbah tenun menggunakan *constructed wetland* dengan selected bakteri dan tanaman *Vetiveria zizanioides* untuk mendegradasi parameter Logam, warna dan TSS.



Gambar 1. 1 Skema Kerangka Berfikir Penelitian

1.2 Rumusan Masalah :

Dari latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah yang akan dibahas dalam peneletian lebih lanjut sebagai berikut :

1. Bagaimana analisis penyisihan kandungan Warna, Logam, dan TSS pada air limbah industri tenun dengan menggunakan metode *Hybird constructed wetland* dengan menggunakan tanaman *Vetiver zizanioides* ?
2. Bagaimana kegunaan dan perfoma dari teknologi *Hybird Constructed Wetland*?
3. Bagaimana nilai yang dihasilkan dari logam, warna dan TSS pada sampel air limbah industri tenun baik itu sesudah dan sebelum diolah dengan men gguna-kan *Hybird constructed wetlands* dan *Floating wetland* ?

1.3 Tujuan Penelitian :

Dengan rumusan masalah yang ada, tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian ini adalah untuk menguji kemampuan sistem *Hybrid constructed wetland* kombinasi dengan konsorisum bakteri untuk mengolah limbah cair tenun dengan parameter warna, logam berat (Cd, Cr, Cu, dan Pb) dan *Total Suspended Solid (TSS)*.

1.4 Manfaat Penelitian :

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Sebagai referensi untuk menentukan alternatif pengolahan limbah cair tenun yang sederhana dan ekonomis pada industri tenun Troso sehingga pencemaran lingkungan dapat dikendalikan.
2. Sebagai referensi pembelajaran yang dapat memberikan informasi untuk memperluas wawasan dan pengetahuan mengenai pemanfaatan tanaman *Vetiveria zizanioides*.
3. Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan maupun melaksanakan pengelolaan limbah Industri Tenun menggunakan Teknologi *Hybrid constructed wetland*.

1.5 Sasaran Penelitian :

1. Pengetahuan baru mengenai efisiensi tanaman *Vetiveria zizanioides* dan mikroorganisme pada *Hybrid constructed wetland*.
2. Metode baru dengan melakukan penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan mikroorganisme dalam penurunan kadar logam yang terdapat pada limbah industri tenun.

1.6 Ruang Lingkup :

Parameter yang akan diukur yaitu logam yang terdapat di limbah cair industri tenun. Pembuatan *Hybrid constructed wetland* yang diisi oleh tanaman dan mikroba dan mengukur seberapa besar efisiensi tanaman dan mikroorganisme dalam mendegradasi limbah cair industri tenun. Pengujian analisis kandungan logam dan senyawa azo pada air limbah industri tenun menggunakan tanaman rumput *vetiveria zizanioides* dan bakteri dengan metode *Hybrid constructed wetlands*. Parameter yang diteliti di Limbah Industri Tenun adalah Logam, warna, dan *Total Suspended Solid* (TSS). Pengujian kandungan Logam, warna, *Total Suspended Solid* (TSS). Pedoman teknis Pengambilan sampel air didasarkan pada SNI 6989.58-2008.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Industri Tenun

Pencemaran Industri adalah kegiatan industri yang menyebabkan penurunan kualitas lingkungan karena masuknya zat-zat pencemar yang dihasilkan ke suatu lingkungan, yaitu air atau udara berupa bahan buangan/hasil sampingan dari proses produksi industri yang berbentuk padat/debu, cair atau gas yang dapat menimbulkan pencemaran. Beberapa jenis limbah tidak terlalu menjadi masalah karena dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar atau oleh industri lain. Era globalisasi saat ini pertumbuhan perekonomian negara maupun daerah pada khususnya dipengaruhi oleh peningkatan jumlah penduduk yang semakin tinggi. Peran ini dapat dilihat dalam hal penyediaan kesempatan usaha, lapangan kerja dan peningkatan ekspor, salah satunya yaitu industri tenun ikat yang merupakan sektor industri strategi karena mampu menyerap banyak tenaga kerja, memenuhi kebutuhan sandang dalam negeri. Meski sempat terkena imbas krisis global tahun 2009 lalu, pertumbuhan ekspor tenun Indonesia cukup menggembirakan. Tahun 2011 ekspor tenun Indonesia tercatat mencapai US\$ 1,3 miliar, meningkat 25% dari tahun 2010. Tenun Indonesia dipasarkan ke beberapa Negara, sekitar 50% produk tenun Indonesia dipasarkan ke 5 (lima) negara tujuan.

Proses penting dalam pembuatan tenun yaitu proses pewarnaan, penggunaan pewarna alami atau sintetik merupakan proses yang penting. Penggunaan pewarnaan alami sudah jarang ditemui, pembuatan tenun tradisional pun menggunakan pewarna sintetik. Penggunaan pewarna sintetik akan berdampak buruk bagi lingkungan contohnya pencemaran sungai (Muflihati et al., 2019).

2.1.1 Lokasi Industri Tenun

Salah satu kain tenun yang terkenal di Jepara adalah kain tenun Troso, dimana kain Troso itu diambil dari suatu desa yang ada di Desa Troso, Kecamatan Pacangan, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah.

2.2 Dampak Yang Dihasilkan Dari Limbah industri Tenun Bagi Lingkungan

Salah satu yang menjadi permasalahan lingkungan adalah adanya pencemaran oleh bahan pencemaran oleh bahan pewarna tekstil dan industri-industri tekstil yang makin banyak bermunculan karena permintaan pasar yang dimana tren *fashion* terus berubah mengikuti perkembangan zaman. Industri tekstil tidak banyak menghasilkan limbah padat. Limbah yang lebih banyak dihasilkan secara volume yaitu limbah cair berupa pewarna dalam volume besar ke dalam perairan di Indonesia baik sungai ataupun selokan. Banyak penggunaan Pewarna sintetik oleh industri tenun menyebabkan peningkatan jumlah bahan pencemar dan limbah yang dihasilkan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tenun umumnya limbah yang mengandung senyawa organik yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan terutama perairan.

Limbah industri tekstil berasal dari proses perwarnaan (*dyeing*), pengecap an (*printing*) dan finishing. Bahan yang digunakan dari proses pembuatan umumnya mengandung bahan-bahan kimia yang terdiri dari senyawa organik. Banyaknya senyawa organik sehingga menyebabkan meningkatnya nilai BOD dan COD limbah cair industri tekstil (Irmanto & Suyata, 2008).

Air limbah tenun yang dibuang ke sungai dapat menyebabkan rusaknya kualitas air sungai, merusaknya ekosistem yang ada di perairan sungai. Akan tetapi bukan hanya merusaknya tetapi dapat mengakibatkan kematian pada mahluk hidup di perairan tersebut. Dalam kurun waktu yang lama air limbah tenun dapat meresap ke air sumur warga sehingga air sumur tersebut terkontaminasi dengan senyawa-senyawa organik maupun senyawa anorganik yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

2.3 Parameter Uji

a. *Total Suspended Solid* (TSS)

Total suspended solid (TSS) adalah padatan yang tersuspensi yang dapat membuat air menjadi keruh, tidak terlarut dalam air dan tidak dapat langsung mengendap. TSS di dalam air merupakan partikel organik dan inorganik yang dapat tersaring melalui kerta milipore yang memiliki pori-pori 0,45 nm. *Total suspended solid* merupakan material halus yang ada di air yang mengandung bahan organik, mikroorganisme, limbah industri dan rumah tangga. Nilai TSS yang tinggi dapat menyebabkan terhalangnya aktivitas fotosintesis tumbuhan laut baik mikro ataupun makro sehingga kandungan oksigen di dalam air menjadi berkurang (Sudinno et al., 2015).

b. Logam

Logam berat adalah salah satu polutan beracun yang dapat menyebabkan kematian (*lethal*), dan non-kematian (*sublethal*) seperti gangguan pertumbuhan, perilaku dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik (Effendi et al, 2012). Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam manusia. Beberapa di antaranya bersifat membangkitkan kanker (karsinogen). Efek buruk logam berat juga tergantung pada bagian mana ia terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teragen atau karsinogen bagi manusia (Munir, 2008).

Logam berat yang masuk ke dalam tubuh kemudian mengalami absorpsi. Penyerapan logam dapat terjadi diseluruh saluran pencernaan, tetapi lambung adalah tempat penyerapan yang penting. Tempat utama untuk penyerapan logam disaluran udara adalah alveoli paru-paru. Untuk hewan darat dan insang untuk hewan air. Logam yang diserap akan didistribusikan dengan cepat

keseluruh tubuh. Tingkat distribusi masing-masing organ terkait dengan aliran darah, membran sel, dan afinitas komponen organ terhadap logam. Setelah didistribusikan, logam dapat terakumulasi ditubuh organisme air. Jika manusia mengkonsumsi organisme air yang mengandung logam berat maka akan memberikan dampak merugikan bagi kesehatan manusia seperti radang tenggorokan, nyeri kepala, dermatitis, alergi, anemia, gagal ginjal, pneumonia, dan lain sebagainya (Effendi *et al.*, 2012).

Limbah logam berat paling banyak dihasilkan dari kegiatan proses pewarnaan kain. Dari kegiatan pewarnaan industri tekstil dapat menghasilkan Limbah logam berat seperti : Logam berat Arsen (As) , kadmium(Cd), Krom (Cr) , Timbal (Pb), Tembaga(Cu), Seng (Zn). Zat pewarna mengandung logam berat karena digunakan sebagai katalis selama proses pembuatan zat warna dan sebagian zat warna mempunyai logam didalamnya sebagai bagian dari molekul zat pewarna.

C. Zat Warna

Senyawa Azo merupakan senyawa yang sangat stabil, karena disintesis tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun *photolitik*. Senyawa azo dapat bertahan cukup lama diperairan dan mengalami akumulasi. Senyawa azo dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, keberadaannya dapat menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air, sehingga aktivitas fotosintesis dalam air terganggu. Perombakan senyawa azo menjadi senyawa amina aromatik secara anaerobik dapat membuat menjadi lebih beracun dari pada senyawa azo itu sendiri (Fitriani *et al.*, 2019).

Limbah pewarna sintetis dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan merupakan bahan berbahaya, karena beberapa pewarna dapat terdegradasi menjadi senyawa yang bersifat karsinogenik dan beracun (Widjajanti *et al.*, 2011; Kant, 2012). Selanjutnya Kant (2012) menyatakan bahwa limbah industri tekstil penuh warna dan bahan kimia organik dari zat pewarna sintetis.

Bercampurnya material koloid dengan limbah pewarna, dapat meningkatkan kekeruhan dan menjadikan air berpenampilan buruk, berbau, mencegah penetrasi sinar matahari. Dampak yang ditimbulkan adalah penipisan oksigen terlarut, kualitas perairan menurun dan kematian makhluk hidup yang tinggal didalamnya karena kekurangan oksigen atau terkontaminasi senyawa beracun (Widjajanti *et al.*,2011). Di samping itu ketika limbah dibiarkan mengalir akan menyumbat pori-pori tanah yang berakibat pada hilangnya produktivitas tanah tekstur tanah mengeras dan mencegah penetrasi akar tumbuhan (Kant, 2012).

2.4 Media Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

Tanaman akar wangi atau biasa disebut rumput *Vetiver zizanioides* merupakan jenis tanaman yang berasal dari India dan termasuk golongan *family Poacea*, Tanaman yang termasuk dalam rumpun padi, rumput dan serai ini banyak dikenal karena dapat menjadi sumber wangi-wangian. Salah satu tanaman yang banyak digunakan untuk mengurangi kadar limbah yaitu tanaman Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) yang berasal dari India merupakan rumput beraroma berumbai tinggi dengan batang lurus, daun sempit panjang dan sistem perakaran rendah yang melimpah, kompleks, dan luas. Selanjutnya, ekstraksi CO₂ superkritis mempertahankan karakteristik organoleptik dari bahan tanaman awal dalam ekstrak yang tidak terjadi pada metode ekstraksi tradisional karena akarnya mengandung minyak atsiri yang memiliki aromatis dan Biologis. Menurut Ristianingsih (2018), penggunaan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri mampu menurunkan kadar *oil and grease* sebesar 50-87% dan *oil content* sebesar 22-64. Karakteristik dari fisiologis tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) adalah toleran terhadap cuaca ekstrim -14°C sampai +55°C, toleran terhadap logam berat seperti As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se dan Zn serta mampu tumbuh kembali setelah terkena kondisi lingkungan yang sangat buruk (Truong *et al.*, 2011).



Gambar 2. 1 Tanaman Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*).

Sumber : (Truong,et.al 2008)

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dikenal sebagai hiperakumulator yang mampu menyerap berbagai macam logam seperti Besi (Fe), Timbal (Pb), dan Tembaga (Cu) serta mereduksi pencemar lain seperti *Total Suspended Solid* (TSS), dan Amonia. Selain itu penggunaan tanaman vetiver juga cukup meluas yaitu sebagai bahan untuk industri wewangian, dan juga sebagai tanaman penahan longsor. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui kemampuan tanaman vetiver dalam mereduksi kandungan logam khususnya Besi (Fe), Timbal(Pb), dan Tembaga(Cu), *Total Suspended Solid* (TSS), dan Amonia pada air limbah melalui metode *Constructed wetland*.

2.5 Endophytic Bacteria

Endofit adalah endosimbion, seringkali bakteri atau jamur, yang hidup di dalam tanaman setidaknya selama sebagian dari siklus hidupnya tanpa menyebabkan penyakit yang nyata. Endofit ada di mana-mana dan telah ditemukan di semua spesies tanaman yang dipelajari hingga saat ini; namun, sebagian besar hubungan endofit/tanaman tidak dipahami dengan baik. Beberapa endofit dapat meningkatkan pertumbuhan inang, perolehan nutrisi dan meningkatkan kemampuan tanaman untuk mentolerir cekaman abiotik,

seperti kekeringan, salinitas dan menurunkan cekaman biotik dengan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangga, patogen dan herbivora. Tanaman *Endophytic Bacteria* tumbuh dan berinteraksi dengan satu sama lain dengan saling menguntungkan baik itu untuk mengurangi dampak pencemar pada tanah maupun air. Tanaman *Endophytic Bacteria* ini memiliki nutrisi yang sangat tinggi untuk mematikan suatu bakteri (Shehzad et al, 2016).

Interaksi kompleks diantara tanaman dengan mikroorganisme terjadi di *rizhoper* yang merupakan zona dimana akar dan tanah berada. Populasi mikroba di *rizhoper* akan dipengaruhi oleh pelepasan fotosintat oleh tanaman dalam jumlah besar. Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup mengkolonisasi jaringan tanaman insang tanpa menimbulkan ataupun dampak negatif, bahkan memberikan keuntungan terhadap inangnya, karena berfungsi agen hayati, dan pemicu pertumbuhan tanaman. Mekanisme bakteri endofit dalam mengendalikan pencemaran limbah lingkungan adalah menginduksi ketahanan, kompetisi ruang, dan menghasilkan metabolisme. Prospek pengembangan bakteri endofit untuk mengendalikan parasit pada tanaman karena bakteri endofit sebagai agens lebih unggul dari agens yang lain, dapat diisolasi dari semua bagian tanaman, dan media perbanyakannya murah, aplikasi mudah serta tidak berulang-ulang (Kost et al, 2014).

2.6 Teknologi Constructed Wetland

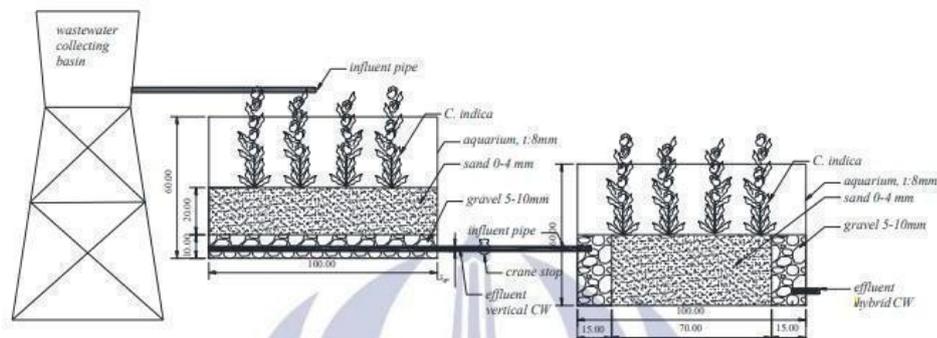
Pentingnya untuk mengolah air limbah sebelum dibuang ke badan air agar tidak menimbulkan pencemaran. salah satu caranya yaitu dengan mengelolaa air limbahnya terlebih dahulu sebelum dibuang. *Constructed wetland* merupakan salah satu teknologi yang dapat diterapkan, yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas air limbah sebelum dibuang ke badan air, serta menyumbang upaya konservasi air. Proses pengolahan yang terjadi di *Constructed Wetland* merupakan proses alami dikarenakan terjadi pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas , adsorpsi, pengolahan kimia dan biologis, terjadi karena adanya interaksi antara mikroorganisme dalam tanah dan pemanfaatan tanaman air (Suswati & Wibisono, 2013). Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan yaitu

konstruksinya yang sederhana, operasional yang murah, perawatannya mudah, tidak membutuhkan peralatan mesin, dan kapasitas buffer yang luas dan lumpur yang dihasilkan stabil.

Pada sistem *Constructed Wetland* tanaman berfungsi untuk membantu mempercepat proses yaitu dengan memberikan lingkungan yang baik bagi pertumbuhan populasi mikroba pada *ryzosphere* serta dapat mentransfer oksigen hingga ke akar dan ke lapisan tanah sehingga terbentuk pergantian aerobik (anoksik dan zona anaerob) yang dapat menghilangkan sebagian besar patogen (Novonty, 2003).

2.6.1 Sistem Kerja Hybrid Constructed Wetland

Hybrid Constructed Wetland merupakan sistem *constructed wetland* yang menggabungkan antara metode *vertical flow* dan *horizontal flow*. Dalam penelitian ini, penulis akan meletakkan reaktor *vertical flow* di awal, lalu diikuti dengan reaktor *horizontal flow* yang terhubung dengan pipa *stop crane*. Tentunya kedua reaktor tersebut diletakkan dengan ketinggian yang berbeda dengan tujuan agar air mampu mengalir dari reaktor VF ke reaktor HF. Masing-masing reaktor akan berisi media berupa pasir, tanah, kerikil, dan zeolite yang akan membantu mendegradasi material organik dalam air limbah (Meng, 2014 ; Otieno, 2017).



Gambar 2. 2 Kinerja dari Reaktor *Hybrid constructed wetland*

(Sumber : Jurnal Teknik Ekologi Vol. 21 (3), 2020)

Media *vertikal flow* diletakkan lebih awal karena karena *vertical flow* merupakan media yang lebih unggul dalam proses nitrifikasi yaitu proses merubah ammonia menjadi nitrat, lalu dilanjutkan dengan proses denitrifikasi pada horizontal CW yaitu merubah nitrat menjadi gas nitrogen dan dilepaskan dari tanah. Masing-masing bak dibuat dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi yaitu 1x0,5x0,6 m. Kerikil berukuran 5-10 mm dan juga pasir sungai dengan ukuran gradasi 0-4 mm digunakan pada vertical dan horizontal CW. Pipa yang digunakan sebagai influent dan effluent adalah pipa dengan ukuran diameter ¾". Free space dari dasar pasir ke mulut bak adalah 30 cm. Tanaman yang digunakan pada kedua unit treatment adalah tanaman Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dengan jumlah 4 tanaman (UN-Habitat, 2008). Debit yang digunakan adalah 6 ml/menit.

2.7 Karakteristik Awal dan Pembuatan Limbah

Limbah cair yang digunakan merupakan limbah artifisial yang mengacu terhadap karakteristik limbah cair tekstil. Karakteristik tersebut didapatkan dari output air limbah yang didapat dari pabrik tekstil. Limbah artifisial dibuat dengan menambahkan Senyawa azo kedalam air kran yang selanjutnya dihomogenisasikan. Wonder Gro merupakan sumber nitrat dan posfat sekaligus menjadi sumber nutrisi bagi tumbuhan uji karena didalamnya terdapat makro dan mikro nutrient yang dibutuhkan untuk perkembangan tumbuhan. senyawa azo di dalam proses anaerob sangat mudah diubah ke amina aromatik, namun amina aromatik menghambat proses degradasi selanjutnya, sehingga proses degradasi dilanjutkan sebagian besar oleh aerob (Ong et al., 2011). Variasi konsentrasi COD dan kromium yang dibuat dalam limbah artifisial berturut-turut adalah 50, 100, dan 150 ppm untuk COD dan 1, 2, dan 3 ppm untuk kromium.

2.8 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Hipotesa
1	<i>Perfomance Analysis of Vertical Flow Constructer Wetland to Treat Domestic Wastewater Using Two Different Filter Media and Canna as a Plant</i>	H.B.Sharma P.R Sinha	2016	Dengan menggunakan Teknologi <i>Constructed Wetland Hybird</i> lebih efektif dalam menghilangkan bahan logam,TSS ,dan Zat Warna
2	Analisis Removal logam pada air limbah Indonesia menggunakan Tanaman <i>Vetiver</i> dan Bakteri dengan metode <i>Constructed Treatment Wetland</i>	Rizqon	2020	Tanaman <i>Vetivera zizanioides</i> dapat digunakan sebagai media <i>consturted wetland</i> dalam mengurangi polutan air limbah tenun pada suatu industri.
3	<i>Wastewater management using Vetiveria zizanioides planted in vertical fow constructed wetland</i>	Badejo,AA Sridhar M	2013	Studi tersebut mengungkapkan bahwa lahan basah yang dibangun secara vertikal menggunakan tanaman <i>Vetiver. zizanioides</i> yang tersedia secara lokal adalah pilihan pengelolaan air limbah yang layak. Persentase efisiensi penyisihan

				<p>COD tertinggi (80,65%), TKN (91,44%), TSS (98,34%), amonia bebas dan garam (98,95%). Hal ini menunjukkan VFCW sesuai dalam pengolahan air limbah dengan atau tanpa pengolahan primer. Komponen yang diperlukan untuk konstruksi tersedia dalam jumlah komersial dan dapat dipertahankan secara memadai. Pengoperasian dan pemeliharaan teknologi ini juga relatif murah, serta ramah lingkungan</p>
4	<p>Analisis Removal Logam Pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia Menggunakan Tanaman Vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>)</p>	Nurtana	2018	<p>Air limbah dimasukkan kedalam box kontainer dan ditambahkan bakteri pada beberapa box kontainer hasil dari ekstraksi tanah di area Balai Yasa Yogyakarta yang tercemar limbah. Dilakukan pemantauan pada hari ke- 0, 7, 14, 21, dan 28 Hasil menunjukkan</p>

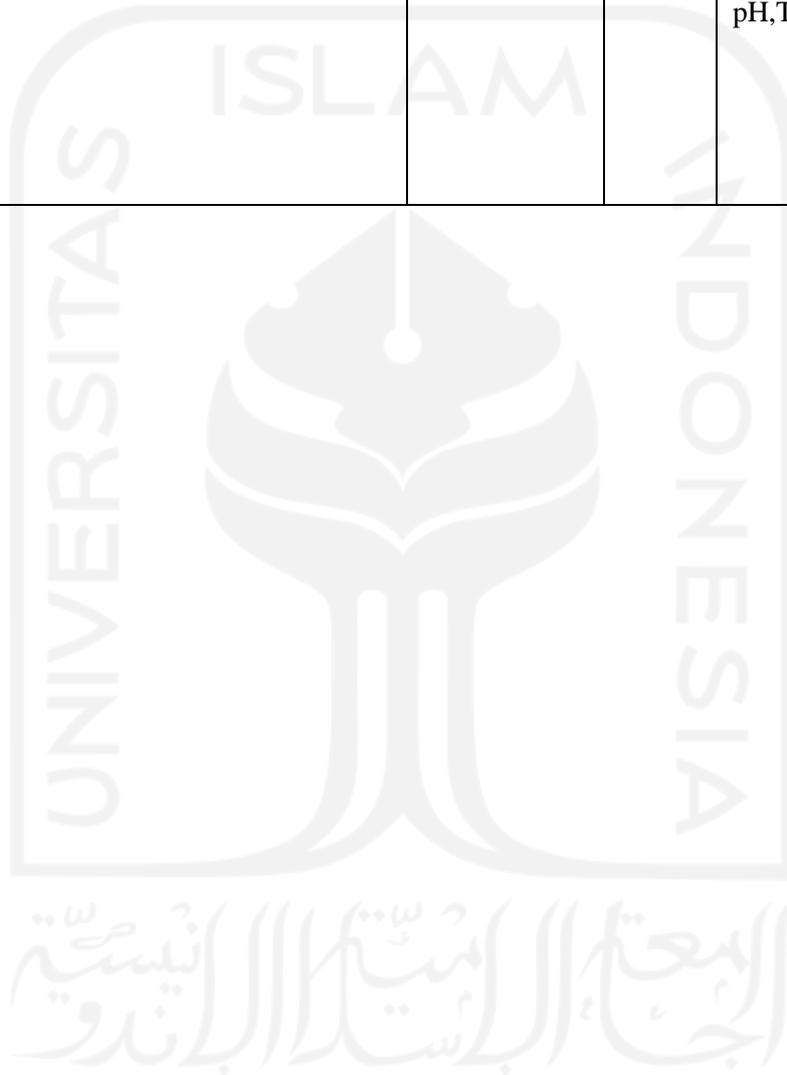
				<p>penggunaan tanaman akar wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i>) dan bakteri mampu menurunkan kadar logam Besi (Fe) sebanyak 15%-93%, Timbal (Pb) 20%- 100%, dan Tembaga (Cu) 18%-93</p>
5	<p><i>Heavy metal removal by combining anaerobic upflow packed bed reactors with water hyacinth ponds</i></p>	Hussein	2018	<p>Sistem <i>vertical flow constructed wetland</i> (VFCW) mampu menghilangkan sebagian besar polutan dari air limbah tekstil, tetapi sistem VFCW dengan augmentasi bakteri dapat meningkatkan efisiensi remediasi.</p>
6	<p><i>Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant-degradation and plant growth-promotion potentials</i></p>	<p>M. Shezadi K. Fatima A. Imran M. S. Mirza Q. M. Khan M. Afzal</p>	2018	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil dari degradasi warna dari bakteri endofit (<i>Pantoea</i> sp.) selama 48 jam yaitu 57%, 72%, dan 78% yang dibandingkan dengan media pengolahan control - Sebanyak 41 bakteri pendegradasi air limbah

				<p>tekstil diisolasi dari 3 jenis tanaman wetland (<i>Typha domingensis</i>, <i>Pistia stratiotes</i>, dan <i>Eichhornia crassipes</i>). Bakteri endofit ini memiliki kemampuan degradasi air limbah tekstil dan mendorong aktivitas pertumbuhan tanaman sehingga meningkatkan produksi biomassa tanaman</p>
7	Perubahan parameter fisika pada proses biodegradasi limbah tenun oleh bakteri endofit	I.N.Pambudi	2020	<p>Penambahan bakteri endofit pada limbah cair tenun tidak memberikan perubahan yang banyak pada parameter suhu, daya hantar listrik, dan TDS, namun pada parameter pH mengalami</p>

				penurunan walau tidak signifikan
8	Efektifitas Bakteri Endofit Dalam mendegradasi warna pada limbah tenun	Ardiyansyah, M.A.	2019	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi removal yang dilakukan oleh bakteri endofit pada konsentrasi limbah 25% mencapai 50,36% sedangkan pada konsentrasi 100% mencapai 39,17% - Diperoleh hasil bahwa bakteri endofit dapat mendegradasi warna dari hasil isolasi akar tanaman yang terkontaminasi oleh limbah tenun
9	<i>Treatment of textile industry effluent in a pilot-scale vertical flow constructed wetland system augmented with bacterial endophytes</i>	Hussain et al,	2018	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem <i>vertical flow constructed wetland</i> (VFCW) mampu menghilangkan Sebagian besar polutan dari air

				limbah tekstil tetapi sistem VFCW dengan augmentasi bakteri dapat meningkatkan efisiensi remediasi
10	<i>Phytoremediating Batik Wastewater Using Vetiver Chrysopogon zizanioides (L)</i>	Tambunan	2018	Fitoremediasi dengan tanaman <i>Vetiver Chrysopogon zizanioides</i> L. untuk menurunkan konsentrasi kromium (Cr) pada air limbah industri pengolahan batik dengan efisiensi removal 40%,
11	<i>Semi-batch operated constructed wetlands planted with Phragmites Australis for treatment of dyeing wastewater</i>	Li-Ngee Ho Yee-Shian Wong Danny leonard	2011	Semi batch wetland menunjukkan potensi mengolah air limbah mengandung azo. Reaktor lahan basa constructed wetland mempunyai dampak yang signifikan dalam menghilangkan bahan organik, AO7, amina aromati, dan NH4-N diatas 94% . Aerated wetland menurunkan kadar COD 95,2% , AO7 99,6% dan NH4-N 86,1 %.

12	Unjuk Kerja Reaktor <i>Continuous wetland</i> menggunakan tanaman <i>Vetivera zizaniodes</i> dan bakteri terhadap Konsentrasi TPC dari Limbah Minyak Industri X Yogyakarta	Yoga Kharisma Prasetya	2019	Penggunaan bakteri pada reaktor kontinuus wetland tidak memberikan banyak perubahan terhadap pH, TDS, DHL dan Suhu
----	--	------------------------------	------	--



13	<i>Constructed Wetland as a Sustainable Wastewater Treatment Method in Communities. Elsevier</i>	A,Abdou Z Elzein I, A Elgawad Abd	2016	Menganalisis kandungan yang ada di teknologi construted wetland menggunakan pendekatan analitis, dengan mempelajari beberapa contoh yang telah menggunakan lahan basah buatan untuk pengolahan air limbah dan menyimpulkan manfaatnya bagi masyarakat
----	--	--	------	---

14	<p><i>Integrated perspectives on the use of bacterial endophytes in horizontal flow constructed wetlands for the treatment of liquid textile effluent: Phytoremediation advances in the field</i></p>	<p>Hussain, Z., dkk</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Kombinasi tanaman dan bakteri endofit menunjukkan efektivitas yang baik dalam proses meremediasi polutan - Penggunaan constructed Wetland dengan kombinasi tanaman bakteri dapat mengolah beban nutrisi tinggi
----	---	-------------------------	--	---

15	<p><i>Enhanced degradation of textile effluent in constructed wetland system using Typha domingensis and textile effluent-degrading endophytic bacteria</i></p>	<p>Shehzadi, Maryam., dkk</p>	<p>2014</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kerjasama antara bakteri endofit dan tanaman dapat meningkatkan efisiensi wetland dalam meremediasi Limbah tekstil - Adanya potensi bahwa bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman
----	---	-------------------------------	-------------	---

BAB III

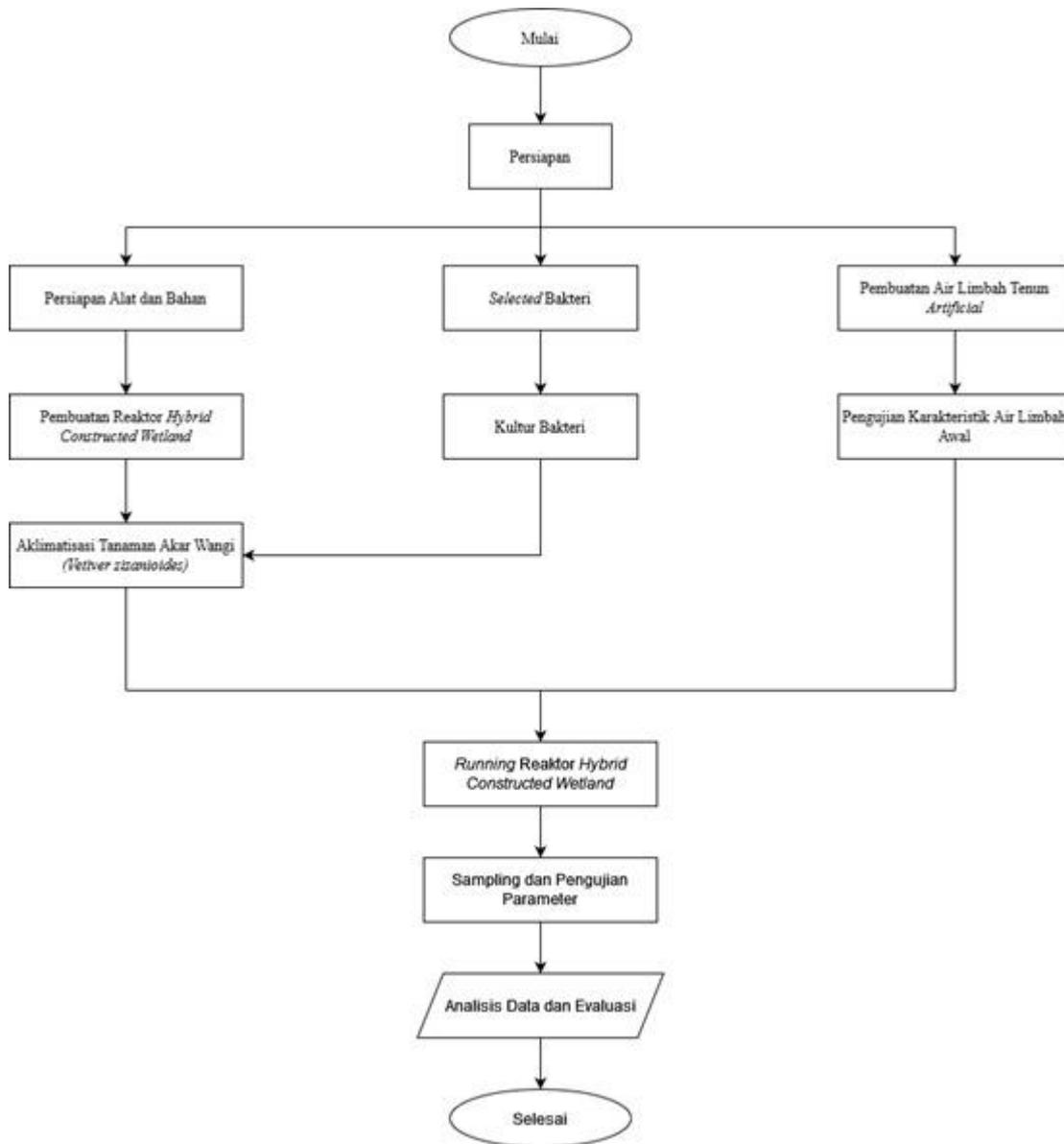
METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian dilakukan di Industri Tenun di Jepara, Sementara itu untuk mengetahui kadar logam, TSS, dan warna, dan pembuatan *constructed wetland* dilakukan di laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik sipil dan perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang km 14,5 Kabupaten Sleman Daerah istimewa Yogyakarta. Waktu penelitian akan dilakukan pada bulan Maret sampai September 2022 hingga selesai. Lokasi penelitian berlokasi di laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Jalan Kaliurang km 14,5 Kabupaten sleman Daerah istimewa Yogyakarta.

3.2 Metode Penelitian

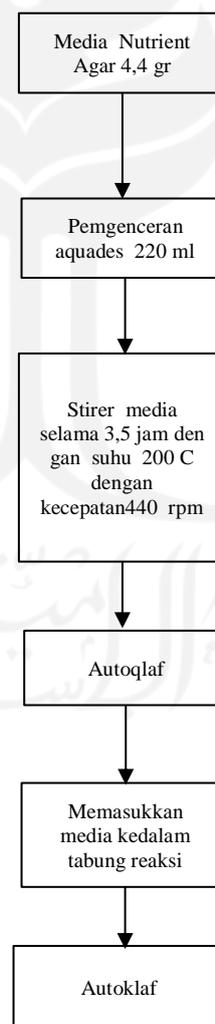
Penelitian ini berguna untuk mengamati dan menganalisis kerja dari teknologi *Hybird Constructed Wetland* dengan menggunakan tanaman rumput akar wangi (*Vetivera zizanioides*) dimana bakteri endofit berguna sebagai removal pada kandungan Logam, TSS, dan Warna pada air limbah Industri Tenun. Tahapan yang akan dilakukan dapat dilihat dari alur penelitian yang akan ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



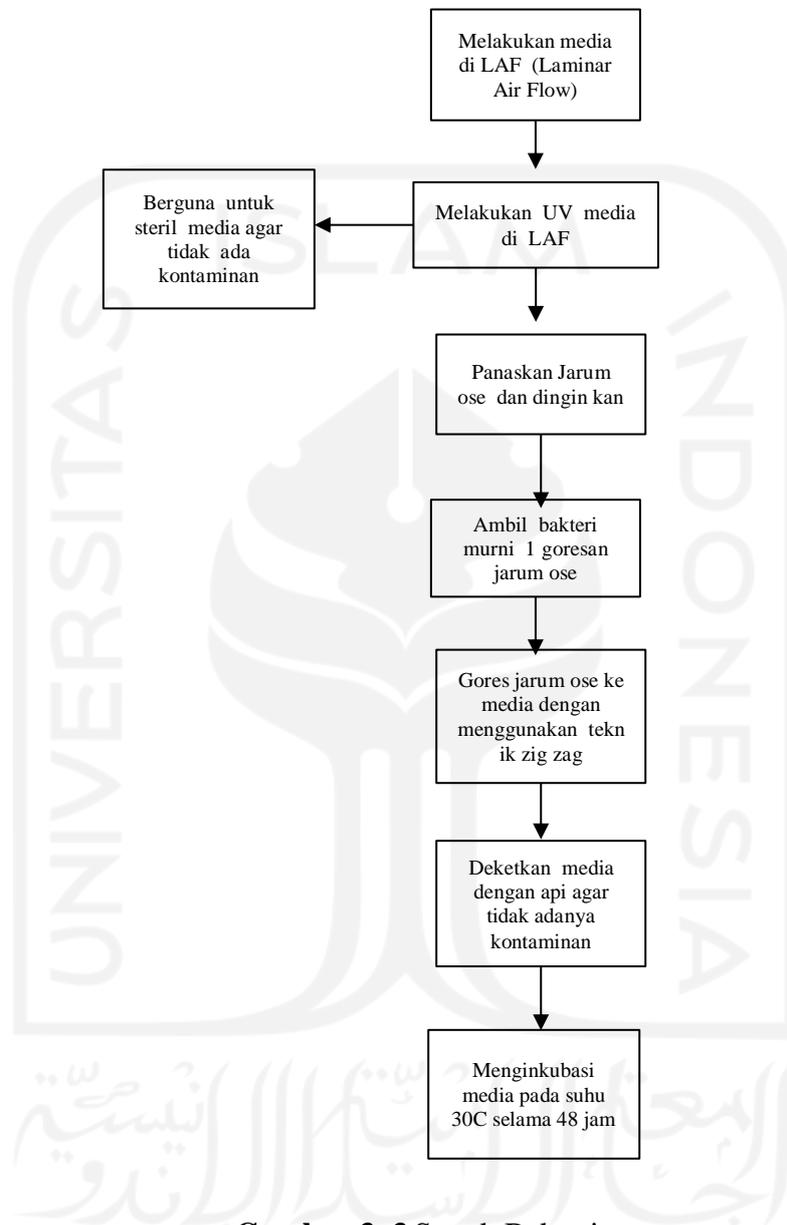
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3. Inokulasi Bakteri

Selected bakteri yang telah teridentifikasi dan memiliki potensi mengolah limbah tenun untuk penelitian ini didapatkan dari penelitian sebelumnya oleh Khalfina (2021) dan Luthfia (2021). Bakteri yang digunakan merupakan penelitian sebelumnya dan bakteri tersebut akan diinokulasi terlebih dahulu ke media baru sebelum digunakan untuk penelitian. Tujuan dari inokulasi bakteri ialah untuk mendapatkan koloni tunggal dengan menggunakan metode *streak plate* untuk mengisolasi bakteri di cawan petri dan hasil yang didapatkan merupakan koloni terpisah dan biakan murni (Irianto, 2012). Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam proses inokulasi bakteri :



Gambar 3. 2 Proses pembuatan media Nutrient Agar (Na)

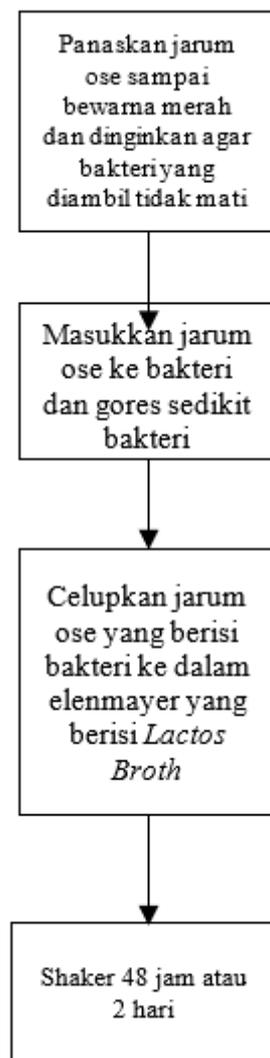


Gambar 3. 3 Streak Bakteri

Sumber : (Khalfina, 2021)

3.4 Kultur Bakteri

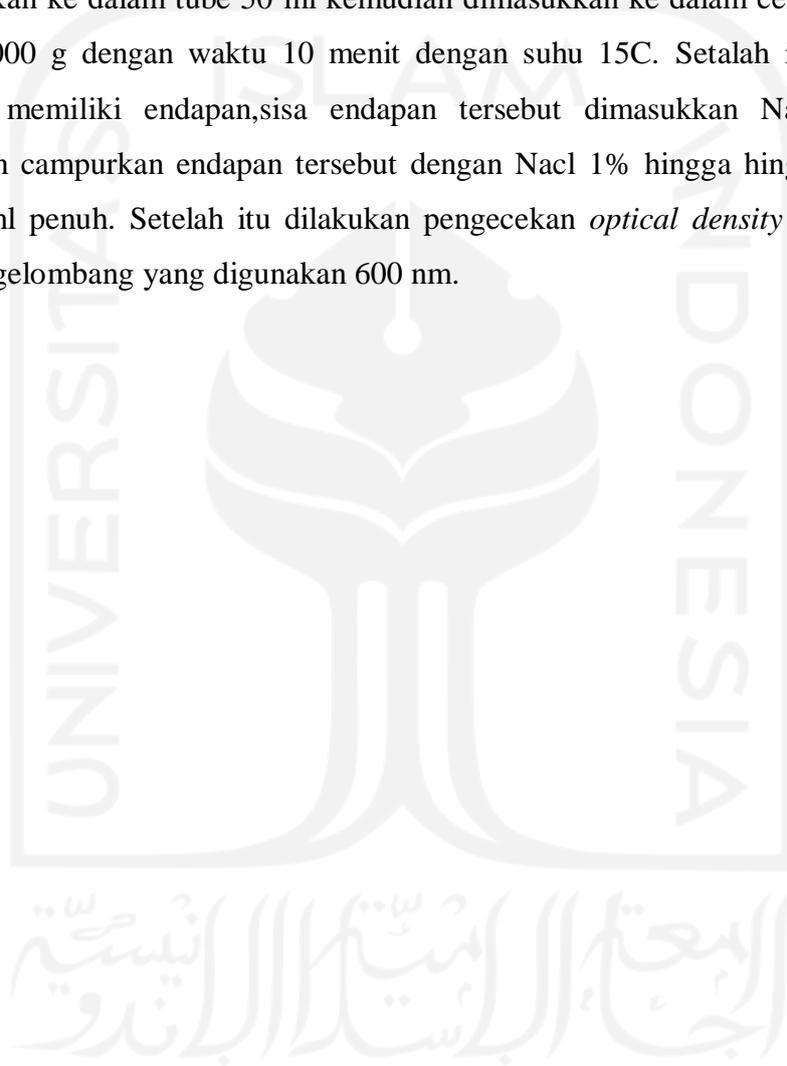
Kultur bakteri yang terpilih dilakukan menggunakan *Lactos Broth* dan dipindahkan ke dalam cawan petri setelah proses sterilisasi. Kemudian, media yang telah siap, bakteri terpilih ditoreskan ke media menggunakan jarum ose yang telah diseterilkan. Media di shaker selama 48 jam pada suhu 30C terjadi kekeruhan pada *Lactos Broth*. Kemudian ialah melakukan pengambilan satu sampel untuk dilakukan pengecekan *optical density* dengan menggunakan panjang gelombang 600 nm dan alat spektrofotometer dengan nilai OD > 0,6, jika nilai OD 0,6 akan diinokulasikan ke dalam hybrid *constructed wetland* (Shehzadi et al., 2015). Berikut tahapan proses dari kultur bakteri :

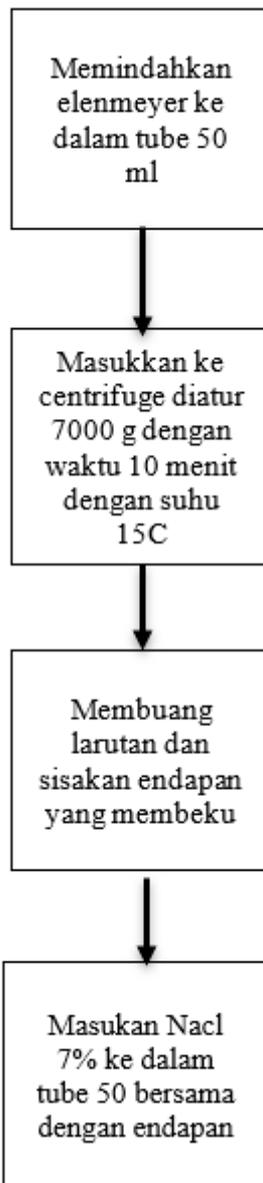


Gambar 3. 4 Kultur Bakteri

Sumber : (Khalfina, 2021)

Setelah di shaker selama 48 jam dengan kecepatan 100 rpm dimasukkan ke dalam tube 50 ml kemudian dimasukkan ke dalam centrifuge diatur 7000 g dengan waktu 10 menit dengan suhu 15C. Setelah itu tube tersebut memiliki endapan, sisa endapan tersebut dimasukkan Nacl 1% kemudian campurkan endapan tersebut dengan Nacl 1% hingga hingga test tube 50ml penuh. Setelah itu dilakukan pengecekan *optical density* dengan panjang gelombang yang digunakan 600 nm.



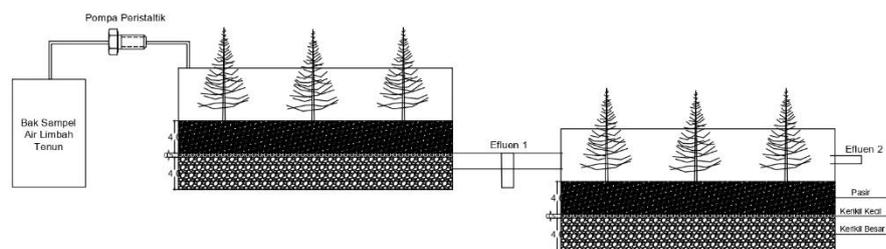


Gambar 3. 5 Kulture Bakteri

3.5 Persiapan Reaktor

3.5.1 Vertikal dan Horizontal wetland

Pembuatan bak pertama yaitu Horizontal menggunakan container box Volume 10 L panjang (33,5cm , lebar 22 cm , dan tinggi 12 cm). Kemudian diperlukan pipa untuk menyambungkan kedua box dan keran air untuk mengambil air atau membuang air yang berlebih. Reaktor *Horizontal* dan *Vertikal Hybrid Constructed Wetland* masing-masing memiliki jumlah tanaman 12 rumpun tanaman dengan masing-masing rumpun terdapat 3 tanaman, berisi pasir dengan ketinggian 3,5 cm , batu dan kerikil 0,5 cm. Debit yang digunakan untuk reaktor yaitu 4,5 ml/menit dengan HRT 2,75 hari. Pompa yang digunakan untuk mengalirkan air limbah dari bak influen ke dalam reaktor yaitu pompa peristaltic. Media didalam reaktor berisi batu kerikil, dan pasir.



Gambar 3. 6 Skema Reaktor *Vertikal* dan *Horizontal* Wetland



Gambar 3. 7 Reaktor Vertikal dan Horizontal Wetland

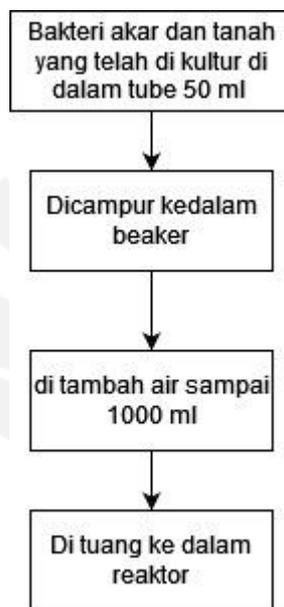
Pada bak yang digunakan sebagai *vertikal* terdiri dari 12 lubang dengan dimensi lubang 7 cm x 7 cm . Masing-masing lubang terdiri dari 3 tanaman akar wangi dan jumlah tanaman sebelum aklimitasi tanaman sebanyak 12 tanaman akar wangi dengan Panjang tanaman berbeda-beda setiap lubang.

3.5.2 Aklimitasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

Aklimatisasi tahapan peralihan dari kondisi *in vitro* kepada kondisi *ex vitro*, sehingga diperlukan perhatian dan kondisi lingkungan yang cukup optimal dalam mendukung pertumbuhan tanaman tersebut. Aklimatisasi ialah melakukan pemotongan daun tanaman dan sekitar pan menyisakan sekitar panjangnya 15 cm, kemudian Aklimitasi dilakukan selama 85 hari dari tanggal 26 Maret 2022-19 Juni 2022 yang berujuan untuk mengadaptasi tanaman tersebut ke media dan lingkungan untuk memaksimalkan akr tanaman sebagai pengimplementasian ke air limbah tenun. Proses aklimitasi pada tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides*) bertujuan untuk membuat tanaman tumbuh dan memiliki akar yang banyak dan bagus .

Pada saat di Aklimatisasi tanaman diberi pupuk selama 2-3 hari sekali pada tanggal 24 Juni 2022 sampai dengan 14 juli 2022, pupuk yang dipakai adalah

hydroponic merek SNN dan proses tersebut halaman terbuka. Untuk pupuk hydroponic merek SNN mengandung P₂O₅, K₂O, Nitrogen, dan memiliki kandungan Cu, Z, B, Co, Mo, Fe, dan Mn. Pada bulan ketiga aklimatisasi pada tanggal 24 Juni 2022 dilakukan penambahan bakteri tanah yaitu Sc1, Sb1, Sb2, dan Sb3 untuk bakteri akar yaitu Ra2, Ra7, Rb2 dan Rb8 ke dalam reaktor.



Gambar 3. 8 Proses pemasukan bakteri kedalam reaktor



Gambar 3. 9 Tanaman Akar Wangi (*Vetivera zizanioides*) Awal Aklimitasi



Gambar 3. 10 Tanaman Akar Wangi (*Vetivera zizanioides*) Setelah Aklimitasi

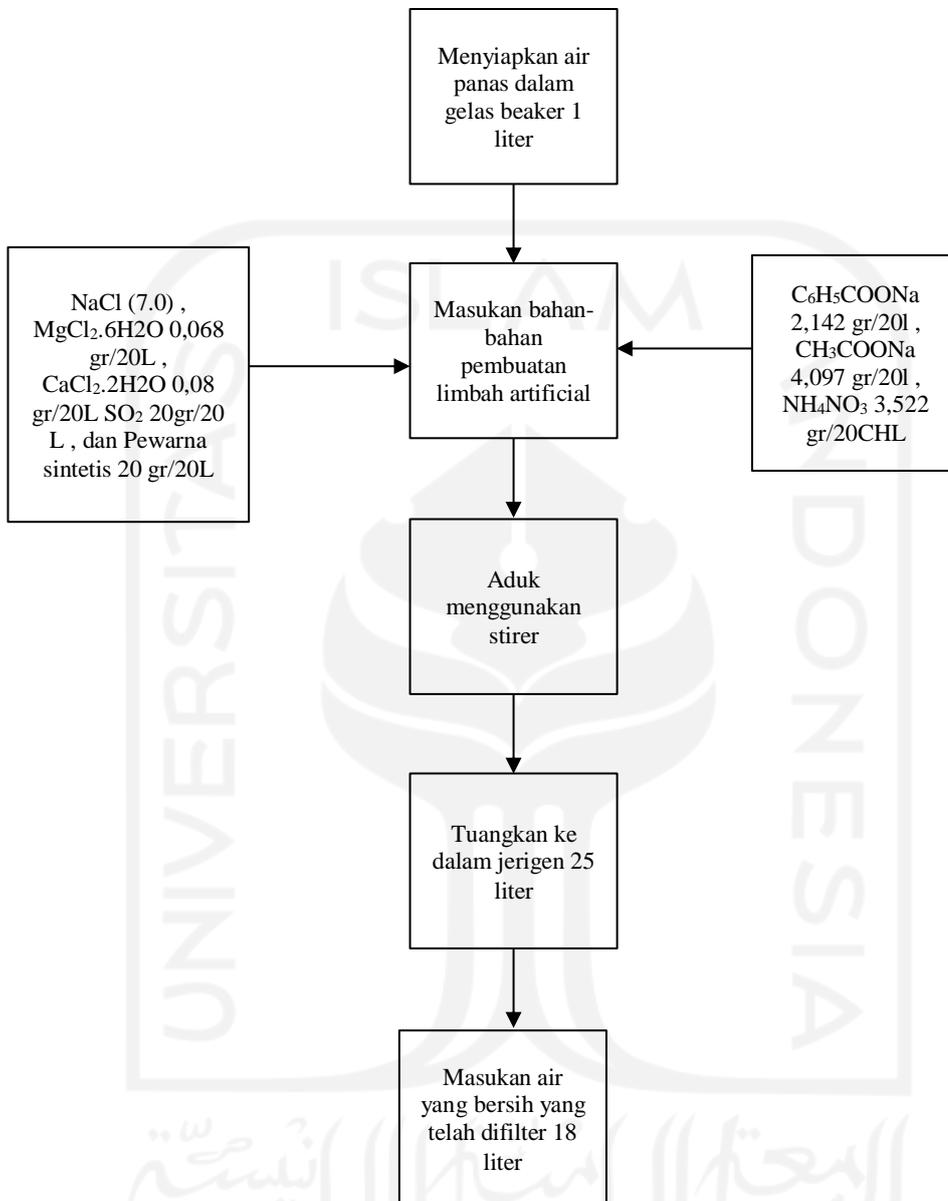
3.5.3 Running reaktor dan sampling

Tahap pengujian running reaktor dilakukan setelah melakukan kultur bakteri dan aklimatisasi tanaman. Running reaktor dapat dilakukan jika telah mengkombinasi bakteri dan tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) yang telah di aklimatisasi. Kemudian reaktor di isi limbah tenun dan letak tangki limbah berada di samping kanan reaktor 1 m diatas reaktor, setelah itu pengisian air limbah tenun dimulai dari kompartemen *horizontal wetland* hingga mengalir ke *vertikal wetland*. Pompa paristaltik dengan volt sebesar 3,68 dan debit 4,5 ml/menit digunakan untuk memompakan air limbah tenun ke reaktor *hybrid constructed wetland*. Running reaktor air limbah dilakukan selama 1 bulan dari 14 juli 2022- 14 Agustus 2022 . Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke 0, 4. 11. 18. 25 pada

2 titik yang sudah ditentukan yaitu *Effluent Horizontal Wetland* dan *Effluent Vertikal Wetland*. Untuk pengambilan sampel volume air limbah yang akan di ambil dari reaktor sebanyak 330 ml pada setiap titiknya.

3.6 Pembuatan Air Limbah Tenun

Air limbah tenun yang telah dibuat ialah air limbah artificial. Pembuatan air limbah dilakukan secara manual dengan menyampurkan beberapa zat kimia. Air limbah yang akan dibuat adalah air limbah artificial. Penggunaan dari limbah artificial itu sendiri disebabkan karena reaktor wetland merupakan *continuous wetland* dan tahapan limbah yang dibutuhkan secara terus menerus dan selalu ada air limbahnya sehingga pembuatan limbah artifisial merupakan salah satu cara agar kebutuhan air limbah terpenuhi. Air limbah sintesis dirancang untuk mensimulasikan karakteristik air limbah yang mengandung zat warna azo. Limbah artificial bertujuan untuk melakukan simulasi terhadap karakteristik air limbah tenun dan memudahkan agar peneliti tidak melakukan kendala pada saat sampling di lapangan. Berikut diagram alir pembuatan limbah air tenun buatan. Air limbah tenun dibuat dalam 20 liter air bersih yang telah di filtrasi dengan menggunakan bahan-bahan sebagai berikut (konsentrasi dalam mg/l) : CH_3COONa 2,142 gr , CH_3COONa 4,097 gr , NH_4NO_3 3,522 gr, NaCl (7.0) , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,068 gr , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,08 gr SO_2 20gr, dan Pewarna sintesis 20 gr. Berikut cara pembuatan limbah artificial :



Gambar 3. 11 Pembuatan limbah tenun buatan

3.7 Specific Bacteria Number

Pengujian kadar *Total Plate Count* mengacu pada SNI 2897 :2008. Langkah yang harus disiapkan yaitu media untuk pengujian TPC yaitu *Luria bertani agar*, media yang masi cair diberi tambahan limbah tenun yang sudah disaring sebanyak 5% dari volume media yang dibuat. Pada TPC ini menggunakan pengenceran 5 kali dikarenakan untuk mengurangi jumlah kandungan mikroba dalam sampel sehingga dapat memudahkan dalam perhitungan jumlah koloni. Pengenceran mikroba dilakukan dengan cara membuat larutan NaCl 1% dan dimasukan kedalam tabung reaksi sebanyak 9 ml kemudian di *autoclaf*. Dari limbah tenun yang sudah disaring kemudian diambil sebanyak 1 ml dan dimasukan kedalam tabung reaksi yang berisi 9 ml NaCl, kemudian di homogenkan. Setelah dilakukan pengenceran, sampel diambil menggunakan mikro pipet dan dimasukan ke media agar dalam keadaan cair di dalam cawan petri, sampel yang dituangkan di dalam cawan petri adalah pengenceran 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} . Kemudian dibiarkan hingga menjadi agar dan koloni selama 48 jam kemudia menghitung jumlah koloni dan amati bakteri dalam cawan petri tersebut.

3.8 Pengujian Karakteristik Limbah Tenun Buatan

Penelitian ini memiliki beberapa analisis yang mana terdiri dari pengujian kadar TSS, Warna dan Kadar logam disebabkan karena limbah tenun mengandung senyawa logam berat yang berasal dari sintetik tenun apabila langsung dibuang ke lingkungan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan sehingga limbah tenun harus diolah terlebih dahulu dan mengetahui kandungan senyawa yang ada pada limbah tenun, Untuk mengetahui senyawa yang ada pada limbah tenun menggunakan metode *Hybrid Constructed Wetland*. Tujuan dari pengujian karakteristik awal limbah berguna untuk mengetahui kosentrasi awal TSS, warna dan logam pada sampel air limbah sebelum di reduksi :

Tabel 3.1 Pengujian Parameter

No	Parameter	Satuan	Metode	SNI
1	Total Suspended Solid (TSS)	mg/l	Gravimetri	SNI 06-6989-3-2004
2	Timbal (Pb)	mg/l	Sepektometri Serapan Atom	SNI 6989.8:2009
3	Kadmium (Cd)	mg/l	Sepektometri Serapan Atom	SNI 06-6989-3-2004
4	Tembaga (Cu)	mg/l	Sepektometri Serapan Atom	SNI 6989.6:2009
5	Krom (Cr)	mg/l	Sepektometri Serapan Atom	SNI 6989.6:2009
6	Zat Warna	nm	Spektrofotometri Sinar Tampak (Visible)	SNI 06-6989-20-2009
7	<i>Total Plate Count</i> (TPC)		<i>Total Plate Count</i> (TPC)	SNI 2897 : 2008

Tabel 3.2 Pengujian Parameter Fisik

No	Parameter	satuan	Metode
1	Ph		Portabel Ph meter

2	Electirc conductivity	uS/cm	Portabel Ph meter
3	TDS	ppm	Portabel Ph meter
4	Temperatur	°C	Portabel Ph meter
5	Oxidation Reducion Potensial	mV	Portabel Ph meter

Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah yang Berlaku

No	Parameter	Kadar Maksimum	Referensi
1	Tembaga (Cu)	0,2 mg/L	PP.No.82/2001
2	Timbal (Pb)	1 mg/L	PP No 82/2001
3	Kadmium (Cd)	0,31 mg/L	PP No 82/2001
4	Khrom (Cr)	1 mg/L	Perda Jateng No.5/2012

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan kandungan TSS, Logam dan warna akan dilakukan monitoring dan dianalisis untuk melihat keberhasilan dalam mengolah limbah tenun. Pada pengujian parameter TSS logam dan Warna dilakukan dengan menganalisis data menggunakan metode persentase removal dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100$$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah

Sebelum melakukan running reaktor dilakukan pengukuran terlebih dahulu karakteristik limbah tujuannya ialah untuk mengetahui kadar logam, TSS, dan warna. Sebelum dilakukan proses running reaktor. Untuk minggu 1 dan minggu 2 menggunakan bahan yang sama, dan untuk minggu 3 memiliki nilai karakteristik berbeda dengan minggu sebelumnya dikarenakan air limbah yang digunakan merupakan limbah effluent dari minggu 2, sehingga pada minggu ke 4 memiliki nilai yang berbeda karena minggu ke 4 menggunakan limbah effluent dari minggu ke 3. Berikut hasil tabel data yang didapatkan dari pengujian karakteristik limbah tenun :

Tabel 4.1 Karakteristik limbah tenun

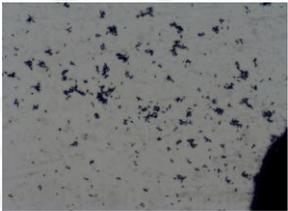
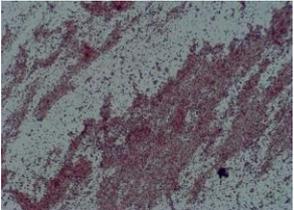
Karakteristik						
Penambahan Limbah Tenun	Logam (mg/L)				Warna (Pt-Co)	TSS (mg/L)
	Cr	Cu	Cd	Pb		
0	0.066	0.0257	-0.0216	-0.1419	4800	376
4	0.066	0.0257	-0.0216	-0.141	4800	376
14	0.0107	0.0019	-0.026	-0.0539	5488.8	464
20	-0.0447	-0.0195	-0.0483	0.03124	62.22	280

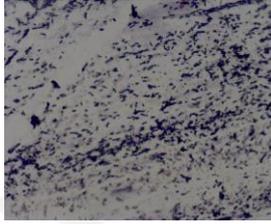
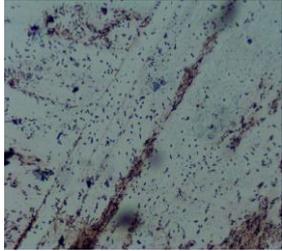
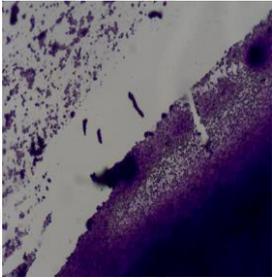
Running reaktor air limbah dilakukan selama 30 hari terhitung dari hari ke 0 yaitu 14 Juli 2022 – hari 30 yaitu 14 Agustus 2022. Sampling dan pengujian dilakukan setiap minggu selama sebulan. Selama running reaktor, debit air limbah yang dipakai pada pompa yaitu 4,5 ml/menit untuk reaktor *hybrid constructed wetland*.

4.2 Kodisi Reaktor

Reaktor *Hybrid Constructed Wetland* sebelum dilakukan running dilakukan proses aklimitasi tanaman terlebih dahulu dengan cara mengecek kondisi tanaman, melakukan pengukuran tanaman dan melakukan penyiraman pupuk selama 3 kali dalam satu minggu selama 90 hari. Sebelum running reaktor dilakukan pemasukan beberapa jenis bakteri ke reaktor guna nya untuk meningkatkan efesiansi removal pada tanaman dan untuk menambahkan daya tahan tanaman *Vetiver zizanioides*. Bakteri yang dimasukkan antara lain Ra2, Ra7, Rb2, Sb-3, Sb-2, sb-4a, sb-6. Berikut merupakan karakteristik bakteri yang digunakan :

Tabel 4.2 Karakteristik Bakteri yang digunakan

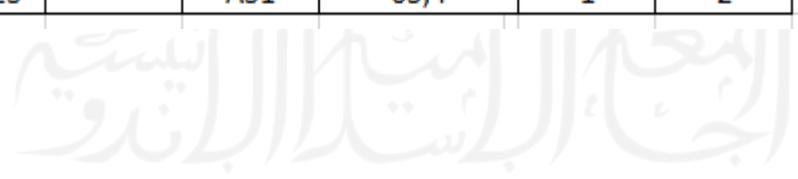
Bakteri	Gram	Cell Shape	Color	Shape	Gambar Bakteri
Ra2	Negatif	Basil	Non-pig	Irregular	
Ra7	positif	Basil	yellow	Circular	
Rb2	Negatir	Coccus	yellow	Circular	

Sb3	positif	Basil	Non-pig	Irregular	
Sb2	negatif	Coccus	Non-pig	Irregular	
Sc1	positif	Basil	Non-pig	Filamentous	
Sb1	positif	Coccus	Non-pig	Filamentous	

Selanjutnya ialah melakukan running reaktor di dalam rumah kaca dengan menggunakan pompa untuk mengalirkan air limbah nantinya. Tujuan dari memasukkan tanaman ke rumah kaca berguna untuk memaksimalkan proses tumbuhnya tanaman dan akar. Bakteri yang digunakan dalam penelitian dan pengujian ini merupakan dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Luthfia, 2021) dan (Khalifina, 2021). Berikut ini merupakan gambar reaktor sebelum dilakukan proses running reaktor :

Tabel 4.3 Tinggi tanaman sebelum proses running reaktor *Hybird construsted wetland*

No	Reaktor	Rumpun	Tinggi Tanaman (cm)	Warna Tanaman	
				Hijau	Kuning
1	VFCW	A11	71,3	3	-
2		A12	-	-	3
3		A13	71,1	2	-
4		A14	80,7	2	1
5		A15	81,7	3	-
6		A16	62,3	2	1
7		A17	63,8	2	1
8		A18	91,9	3	-
9		A19	73	2	1
10		A20	74,8	3	-
11		A21	92,6	2	-
12		A22	73,3	3	-
13	HFCW	A21	61	2	1
14		A22	65,4	1	2
15		A23	59,1	3	-
16		A24	76,5	3	-
17		A25	71,4	2	1
18		A26	80,2	1	2
19		A27	63,9	2	1
20		A28	104,6	2	1
21		A29	86,1	2	1
22		A30	99,4	2	1
23		A31	65,4	1	2





Gambar 4. 1 Reaktor *Hybrid Constructed Wetland* dan proses pertumbuhan tanaman pada hari ke-7



Gambar 4. 2 Reaktor *Hybrid Constructed Wetland* dan tanaman sebelum dilakukan running



Gambar 4. 3 Reaktor *Hybrid Constructed Wetland* dan tanaman pada proses running reaktor dilakukan

Sebelum dilakukan running tanaman pada reaktor *vertikal* memiliki rata-rata panjang 71,7cm dengan maksimum 87 cm dan minimum 50 cm , sedangkan reaktor *horizontal* memiliki rata-rata panjang tanaman 73 cm , dengan panjang maksimum 106 cm dan minimum 35 cm, dan akar tanaman pada *vertikal* memiliki rata-rata panjang 15 cm. Setelah itu akan dilakukan sampling setiap hari ke 0, 4, 11, 18,dan 25.Setelah running tanaman mengalami pertumbuhan dan beberapa yang mati.

4.3 Analisis Parameter

4.3.1 Pengaruh *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri Terhadap Konsentrasi dan Penurunan Logam

Kandungan logam pada limbah tenun yang diuji yaitu Kromium (Cr), Tembaga(Cu), dan Timbal (Pb) dan Cd dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi harus mempunyai produktivitas biomassa yang tinggi, harapan hidup yang pendek, dan toleransi serta kapasitas akumulasi konsentrasi yang tinggi terhadap kontaminan (Raskin et al., 1997). Tanaman *Vetiveria zizanioides* mampu beradaptasi dengan produktivitas biomassa yang besar sehingga dapat tumbuh pada kondisi tanah yang berbeda-beda sehingga banyak konservasi tanah dan air menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* (Ramadhani, 2019). Akar tanaman dapat mengenali logam sebagai unsur toksik sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur tersebut di vakuola atau pada dinding sel (Gupta & Sinha, 2008).

Penelitian yang dilakukan oleh (Roongtanakiat et al., 2007) untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam (Fe, Mn, Zn, Cu, dan Pb) menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides*. Tanaman W1 lebih banyak menyerap Fe dan Zn, sedangkan tanaman W4 lebih banyak menyerap logam Mn dan Cu dan tanaman W2 memiliki serapan logam Pb tertinggi. Tanaman W1 mampu mendegradasi kandungan logam Mn 33,72%, Fe 27,63%, Zn 52,73%, dan Pb 8,94%. Logam Cu paling banyak di degradasi terdapat di tanaman W4 yaitu 87,5%.

Penelitian serupa dilakukan oleh (Nurtana et al., 2018) hasil pemantauan pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28 menunjukkan penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu menurunkan kadar Fe 15%-93%, Pb 20%-100%, dan Cu 18%-93% sedangkan bakteri pada boks kontrol yang berisi air limbah dapat mendegradasi kandungan polutan seperti Fe dan Pb mencapai 100%. Waktu kontak dan panjang reaktor memiliki peranan penting untuk

mendegradasi polutan pada air limbah. Semakin banyak jumlah tanaman dan lama waktu kontak maka semakin besar kemungkinan untuk mendegradasi polutan (Kadlec, 2003).

Menurut penelitian yang pernah dilakukan oleh (Singh et al., 2015) Fe memiliki efisiensi reduksi tertinggi pada panjang akar 10 cm untuk konsentrasi rendah (95%) dan konsentrasi tinggi (97%) setelah 10 hari diikuti oleh Pb (70%), Cu dan Mn, sementara Zn memiliki efisiensi reduksi terendah. Efisiensi antara logam berat dalam air terlepas dari panjang akar dapat diurutkan Fe>Pb>Cu>Mn>Zn untuk kedua perlakuan dalam konsentrasi rendah dan tinggi. Faktor yang mempengaruhi penurunan kadar logam salah satunya waktu kontak tanaman yang lama sehingga akar tanaman mampu menyerap kontaminan secara efektif dengan membentuk suatu zat fitosiderofor dan menyebarkan kontaminan melalui jaringan pengangkut *xylem* dan *floem* (Hardiani et al., 2008). Selain itu, logam berat yang mengalami pengendapan pada perairan akan diserap oleh organisme yang ada pada perairan (Sarjono, 2009).

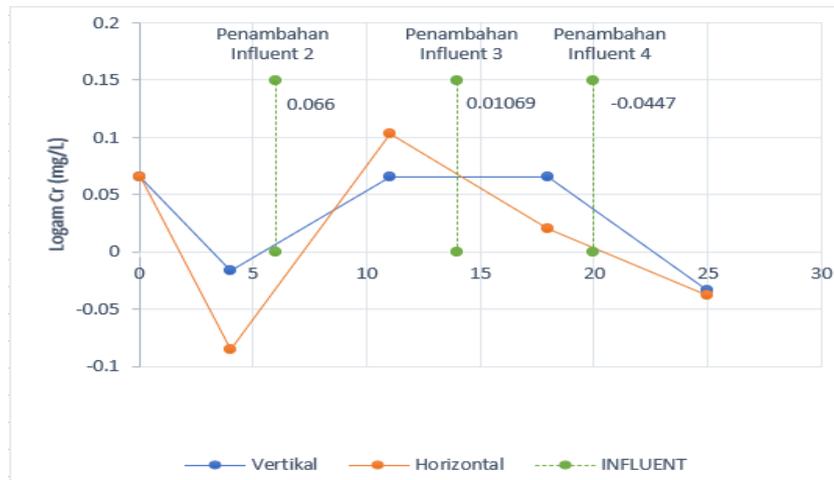
Penelitian yang dilakukan oleh (Tara et al., 2019) nilai konsentrasi rata-rata logam yang tertinggi pada tanaman *Phragmites australis* menunjukkan nilai konsentrasi logam Fe > Cr > Ni > Cd dengan kandungan logam yang dominan terdapat pada akar > daun > batang. Setelah tanaman ditambahkan dengan bakteri menunjukkan penurunan logam Cr dan Fe lebih dari 90%, Ni lebih dari 80%, dan Cd lebih dari 60% pada limbah cair industri tekstil. Penurunan konsentrasi logam dapat disebabkan karena bakteri memiliki kemampuan untuk mendegradasi logam dan akan mengakumulasi logam di dalam dinding sel. Faktor lain yang mendukung kinerja bakteri untuk mengurai limbah adalah pH yang berarti semakin netral pH air maka bakteri akan bekerja lebih optimal untuk mendegradasi kandungan logam (Khoiroh, 2014).

Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Nurullah et al., 2018) mengenai efektivitas penurunan logam Pb, Cu, dan Fe dengan menggunakan tanaman kolonjo (*Brachiaria mutica*) dan bakteri. *Removal* Pb antara 12 – 99% untuk setiap reaktor. *Removal* logam Cu antara 1,72 – 96%. Secara efisien nilai logam

yang mengalami penurunan konsentrasi yaitu $Pb > Cu > Fe$ sedangkan pada bakteri yang ditambahkan pada boks kontrol berisi air limbah 50% mampu mendegradasi 78 – 100% dan bakteri yang telah ditambahkan pada boks kontrol limbah 100% mampu mendegradasi hingga 80 – 100% untuk logam Pb, Cu, dan Fe. Hasil *removal* logam berat dapat meningkat karena faktor luas permukaan yang lebih besar dari pada panjang akar tanaman untuk proses penyerapan logam pada akar tanaman (Darajeh et al., 2014). Selain itu untuk reaktor yang tidak ada pengolahan secara biologis menyebabkan logam mengendap dan diserap oleh mikroorganisme yang ada (Sarjono, 2009) Logam pada air limbah yang diserap bakteri karena reaksi enzimatik dapat dimanfaatkan untuk proses metabolisme di dalam sel sehingga tidak bersifat toksik. Serupa pada penelitian yang dilakukan oleh (Askuroini, 2019) pada sampel kontrol persentase *removal* logam Cr 94%, Cu 53%, Cd 175%, dan Pb - 116%. Sedangkan limbah yang dikombinasikan dengan bakteri *indigenous* Persentase *removal* logam Cr 98%, Cu 87%, Cd 40%. Sedangkan penelitian yang menggunakan bakteri *endofit* menunjukkan bahwa hasil persentase *removal* logam Cr 93%, Cu 65%, serta Pb 34%. Hal ini disebabkan karena bakteri yang memiliki kemampuan untuk mereduksi logam berat karena proses biosorpsi yang menyerap logam secara pasif sehingga struktur sel bakteri tetap utuh dan proses bioakumulasi secara aktif tidak merusak struktur sel bakteri (Chojnacka, 2010).

4.3.2 Analisis Parameter Kromium (Cr) pada Air Limbah Tenun

Kadar kromium (Cr) pada air limbah hasil industri tenun di Troso mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun. Data hasil pengujian kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 30 hari dapat dilihat pada gambar 4.3 sebagai berikut :



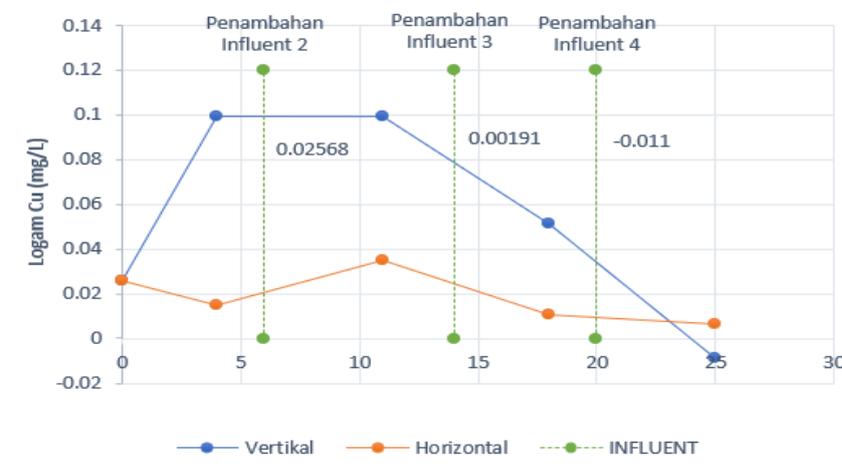
Gambar 4. 4 Grafik Konsentrasi Logam Cr

Pada gambar 4.1 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar kromium (Cr) menggunakan bakteri *Vetivera Zizaniodes* pada sampel air limbah industri tenun. Terdapat penurunan kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari. Konsentrasi awal sampel air limbah pada konsentrasi limbahbakteri menunjukkan konsentrasi logam kromium sebesar -0.02158 mg/L. Hasil dari pengujian logam Cr didapat pada pengujian hari ke 4 pada reaktor *vertikal* dengan konsentrasi 0.000875 mg/L dan pada reaktor *horizontal* sebesar 0.0333 mg/l , pada pengujian hari ke 11 didapat konsentrasi logam Cr pada reactor *horizontal* sebesar -0.022 mg/L dan pada reaktor *vertikal* sebesar -0.0278 mg/L pada hari ke 14 nilai kosentrasi yang didapat adalah -0.041 mg/L, dan pada pengujian hari ke 18 didapat konsentrasi pada raeaktor *horizontal* sebesar -0.003 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar -0.0231 mg/L.Pada pengujian hari ke 18 didapat konsentrasi pada raeaktor *horizontal* sebesar -0.0275 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar -0,0668 mg/L. Didapatkan bahwa kadar logam Cr (kromium) jika dibandingkan dengan peraturan menteri lingkungan hidup no 5 tahun 2014 dengan kadar nilai Cr yaitu 1 mg/l hal ini menunjukkan kadar Cr pada limbah masi dibawah baku mutu. Nilai minus yang didapatkan pada kosentrasi air limbah tersebut disebabkan karena sangat kecil sekali untuk dibaca pada alat AAS dan kadar kosentrasi Cr pada air limbah ini memiliki kosentrasi yang sangat kecil. Hari 0

dan 14 merupakan nilai konsentrasi dari karakteristik limbah yang telah dibuat sebelumnya. Bakteri memiliki nilai toleransi untuk kandungan logam yang dapat diserap sehingga konsentrasi logam yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan, morfologi, aktivitas, biokimia, penurunan biomassa, dan keanekaragaman populasi mikroorganisme (Abdelatey et al., 2011).

4.3.3 Analisis Parameter Tembaga (Cu) pada Air Limbah Tenun

Kadar Tembaga (Cu) pada air limbah hasil industri tenun di Troso mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun. Data hasil pengujian kadar tembaga (Cu) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 30 hari dapat dilihat pada gambar 4.5 sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi Logam Cu

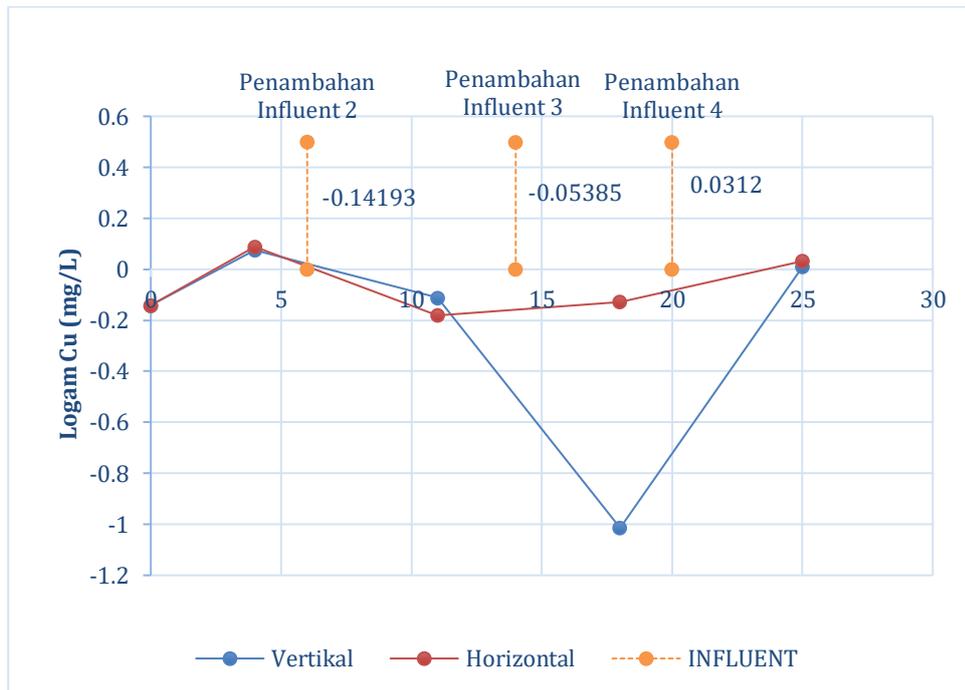
Pada gambar 4.5 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar timbal(Cu) menggunakan bakteri *Vetivera zizanioides* pada sampel air limbah industri tenun. Terdapat penurunan kadar Timbal (Cu) pada air limbah tenun menggunakan *Hybird constructed wetland* selama 30 hari.

Konsentrasi awal sampel air limbah pada konsentrasi limbahbakteri

menunjukkan konsentrasi logam kromium sebesar 0.025685 mg/L. Hasil dari pengujian logam Cu didapat pada pengujian hari ke 4 pada reaktor *horizontal* dengan konsentrasi 0.0147 mg/L dan pada reaktor *vertikal* sebesar 0.0991 mg/l , pada pengujian hari ke 11 didapat konsentrasi logam Cu pada reactor *horizontal* sebesar 0.035 mg/L dan pada reaktor *vertikal* sebesar 0.0991 pada hari ke 14 didapat konsentrasi logam Cu 0.0105mg/L, dan pada pengujian hari ke 18 didapat konsentrasi pada reaktor *horizontal* sebesar 0.0515 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar 0.051mg/L. pada pengujian hari ke 25 didapat konsentrasi pada reaktor horizontal sebesar 0.0067 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar -0.0088 mg/L Didapatkan bahwa kadar logam Cu jika dibandingkan dengan Peraturan menteri lingkungan hidup no 5 tahun 2014 dengan kadar nilai Cu yaitu 1 mg/l hal ini menunjukkan kadar Cu pada limbah masi dibawah baku mutu.Nilai minus yang didapatkan pada kosentrasi air limbah tersebut disebabkan karena sangat kecil sekali untuk dibaca pada alat AAS dan kadar kosentrasi Cu pada air limbah ini memiliki kosentrasi yang sangat kecil.. Hari 0 dan 14 merupakan nilai kosentrasi dari krakteristik limbah yang telah dibuat sebelumnya.

4.3. Analisis Parameter Logam Timbal (Pb) pada Air Limbah Tenun

Kadar Timbal (Pb) pada air limbah hasil industri tenun di Troso mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun.Data hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 30 hari dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut :



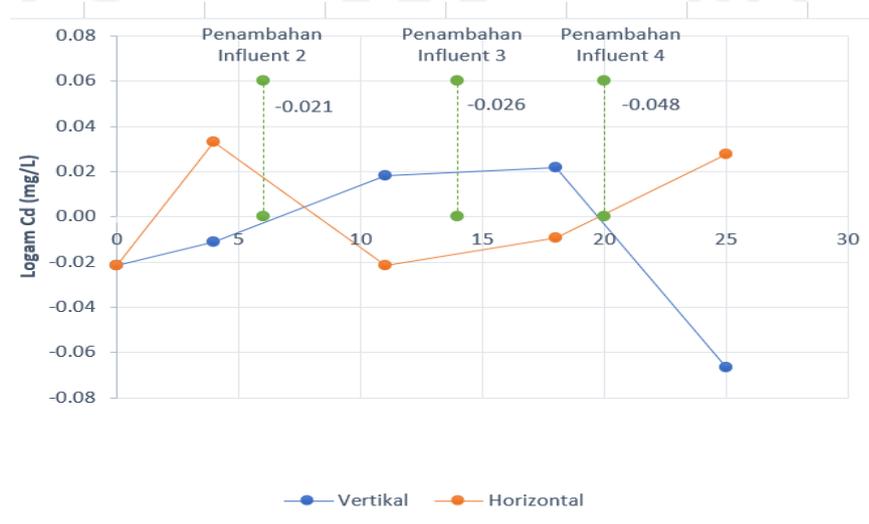
Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi Logam Pb

Pada gambar 4.6 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar Timbal (Pb) menggunakan bakteri *Vetivera zizaniodes* pada sampel air limbah industri tenun. Terdapat penurunan kadar Timbal (Pb) pada air limbah tenun menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari. Konsentrasi awal sampel air limbah pada konsentrasi limbah bakteri menunjukkan konsentrasi logam kromium sebesar -0.0007 mg/L. Hasil dari pengujian logam Timbal (Pb) didapat pada pengujian hari ke 4 pada reaktor *horizontal* dengan konsentrasi 0.0884 mg/L dan pada reaktor *vertikal* 0.0751 mg/l , pada pengujian hari ke 11 didapat konsentrasi logam Pb pada reactor *horizontal* sebesar -0.181 mg/L dan pada reaktor *vertikal* sebesar -0.1114 pada hari ke 14 didapat konsentrasi logam Timbal (Pb)-0.819 mg/L, dan pada pengujian hari ke 18 didapat konsentrasi pada reaktor *horizontal* sebesar -0.128 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar -0.0142 mg/L. pada pengujian hari ke 25 didapat konsentrasi pada reaktor *horizontal* sebesar 0.0331 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar 0.0098mg/L. Didapatkan bahwakadar logam Timbal (Pb) jika dibandingkan

dengan peraturan menteri lingkungan hidup no 5 tahun 2014 dengan kadar nilai Timbal (Pb) yaitu 1 mg/l hal ini menunjukkan kadar Timbal (Pb) pada limbah masi dibawah baku mutu. Nilai minus yang didapatkan pada kosentrasi air limbah tersebut disebabkan karena sangat kecil sekali untuk dibaca pada alat AAS dan kadar kosentrasi Timbal (Pb) pada air limbah ini memiliki kosentrasi yang sangat kecil. Hari 0 dan 14 merupakan nilai kosentrasi dari krakteristik limbah yang telah dibuat sebelumnya.

4.3.5 Analisis Parameter Logam Kadmium(Cd) pada Air Limbah Tenun

Kadar Kadmium (Cd) pada air limbah hasil industri tenun di Troso mengalami kenaikan dan penurunan kosentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Hybird constructed wetland* selama 30 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun. Data hasil pengujian kadar Kadar Kadmium (Cd) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 30 hari dapat dilihat pada gambar 4.7 sebagai berikut :



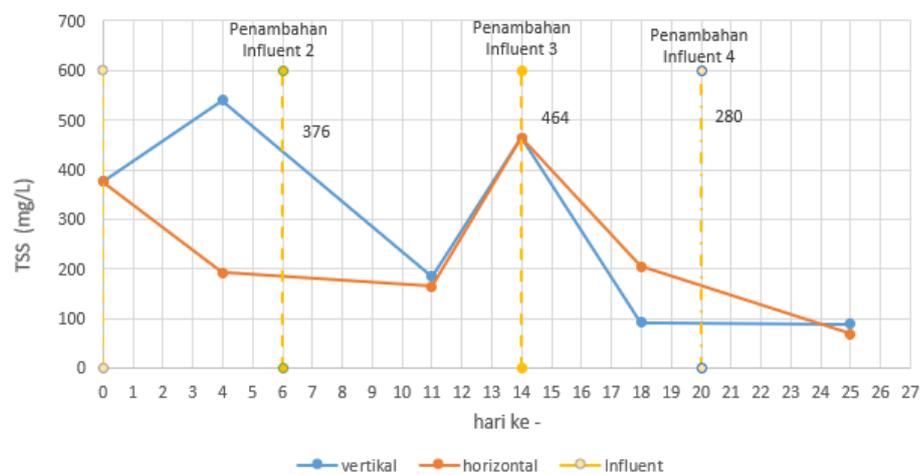
Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi Logam Cd

Pada gambar 4.6 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar Kadmium (Cd) menggunakan bakteri *Vetivera zizaniodes* pada sampel air limbah industri tenun. Terdapat penurunan kadar Kadmium (Cd) pada air limbah tenun menggunakan *Hybird Constructed Wetland* selama 30 hari. Konsentrasi awal sampel air limbah pada konsentrasi limbah bakteri menunjukkan konsentrasi logam kadmium sebesar 0.0106 mg/L. Hasil dari pengujian logam Kadmium (Cd) didapat pada pengujian hari ke 4 pada reaktor *horizontal* dengan konsentrasi -0.085 mg/L dan pada reaktor *vertikal* -0.0165 mg/l , pada pengujian hari ke 11 didapat konsentrasi logam Kadmium (Cd) pada reaktor *horizontal* sebesar 0.1027 mg/L dan pada reaktor *vertikal* sebesar 0.0660 pada hari ke 14 didapat konsentrasi logam Kadmium (Cd) 0.2 mg/L, dan pada pengujian hari ke 18 didapat konsentrasi pada reaktor *horizontal* sebesar 0.0205 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar 0.0660 mg/L. Didapatkan bahwa kadar logam Kadmium (Cd). pada pengujian hari ke 25 didapat konsentrasi pada reaktor *horizontal* sebesar -0.038 mg/L dan reaktor *vertikal* sebesar -0.0337 mg/L jika dibandingkan dengan peraturan menteri lingkungan hidup no 5 tahun 2014 dengan kadar nilai Timbal (Pb) yaitu 1 mg/l hal ini menunjukkan kadar Kadmium (Cd) pada limbah masi dibawah baku mutu. Nilai minus yang didapatkan pada konsentrasi air limbah tersebut disebabkan karena sangat kecil sekali untuk dibaca pada alat AAS dan kadar konsentrasi Kadmium (Cd) pada air limbah ini memiliki konsentrasi yang sangat kecil. Hari 0 dan 14 merupakan nilai konsentrasi dari karakteristik limbah yang telah dibuat sebelumnya.

4.4 Analisis Parameter *Total Suspended Solid* (TSS)

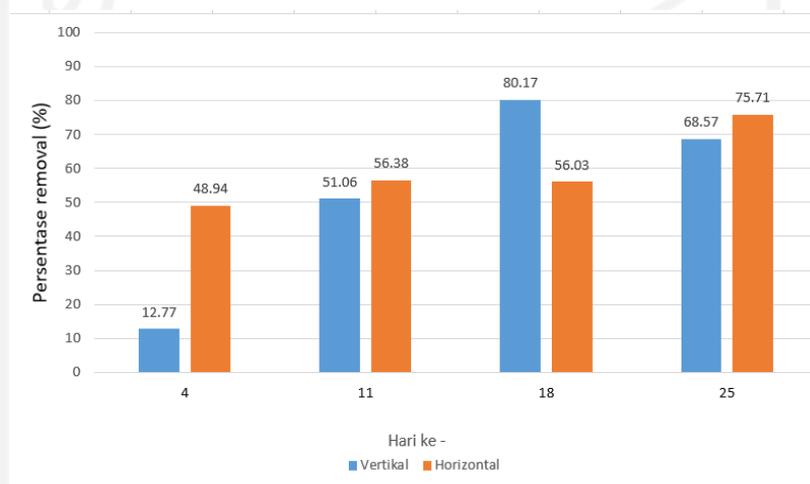
Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan inorganic terdiri dari partikel - partikel yang berat dan ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan sedimen. Zat pada tersuspensi adalah endapan dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 mikrometer. Pada penelitian ini didapatkan bahwa Konsentrasi awal *Total Suspended Solid*

diketahui sebesar 376 mg/l. Pada hari ke 4 dilakukan sampling dan untuk melihat kinerja reaktor dan menguji kadar TSS setelah tinggal di dalam reaktor selama 4 hari, dilihat dari grafik diatas menunjukkan adanya penurunan nilai TSS pada reaktor *horizontal* memiliki konsentrasi 540 mg/l dan *vertikal* sebesar 192 mg/l, untuk hari ke 11 penurunan nilai TSS pada reaktor *horizontal* memiliki konsentrasi 184 mg/l dan *vertikal* sebesar 164 mg/l. Selanjutnya pada hari ke 18 didapatkan bahwa nilai TSS pada reaktor *horizontal* memiliki konsentrasi 92 mg/l dan *vertikal* sebesar 204 mg/l. Dan pada hari ke-25 didapatkan bahwa nilai TSS pada reaktor *horizontal* memiliki konsentrasi 68 mg/l dan *vertikal* sebesar 88 mg/l. Dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah hari air limbah yang diuji untuk TSS semakin turun nilai konsentrasinya dan sesuai dengan baku mutu air limbah. hal ini menunjukkan penggunaan tanaman vetiver dan bakteri pada reaktor *hybrid constructed wetland* cukup efisien dalam mereduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Menurut Syavira (2022). TSS mengalami penurunan karena adanya proses filtrasi, adsorpsi dan pengendapan oleh tanaman. Zat organik akan tersaring akar tanaman dan padatan akan terakumulasi pada akar tanaman. Zat organik yang tidak tersaring akan mengendap pada dasar reaktor.



Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi TSS

Berikut merupakan efisiensi removal warna pada hari ke 4 efisiensi removal reaktor *vertikal* 12,77% dan reaktor *horizontal* 48,94%, untuk hari ke 11 efisiensi reaktor *vertikal* 51,06% dan reaktor *horizontal* 56,38% sedangkan untuk hari ke 18 efisiensi removal pada reaktor *vertikal* 80,17% dan *horizontal* 56,03%. Selanjutnya untuk hari ke-25 efisiensi removal pada reaktor *vertikal* 68,57% dan *horizontal* 75,71%. Dapat dilihat gambar grafik dibawah ini :



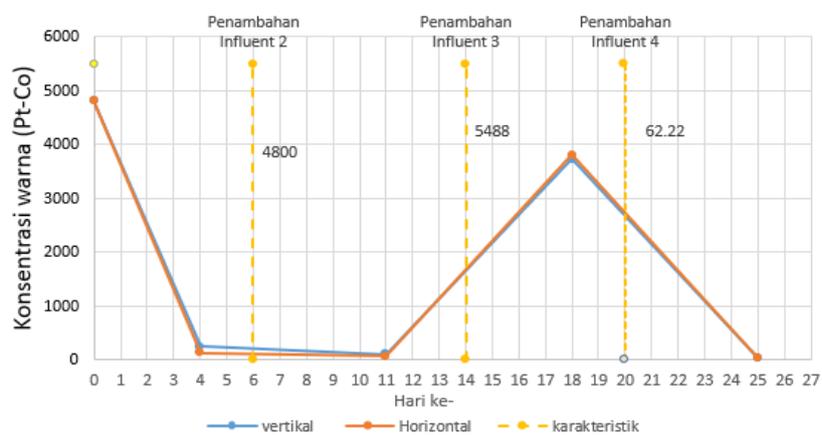
Gambar 4. 9 Grafik Efisiensi removal TSS

4.5 Analisis Parameter Penurunan Zat Warna

Pada minggu pertama diketahui nilai konsentrasi karakteristik zat warna limbah sebesar 4800 Pt-Co. Pada hari ke 4 dilakukan pengambilan sampel dari masing-masing reaktor, terjadi penurunan warna pada reaktor *horizontal* yaitu meningkat menjadi 122 Pt-Co, kemudian di bak reaktor terjadi *vertikal* penurunan zat warna yaitu menjadi 248 Pt-Co. Pada hari ke 7 dilakukan penggantian air limbah di karenakan limbah yang terdapat pada bak air limbah sudah habis, air limbah yang diganti mempunyai karakteristik nilai konsentrasi awal zat warna yaitu 4800 Pt-Co. Kemudian dilakukan sampling kembali pada hari ke 11, pada pengujian sampel hari ke 11 di dapat nilai zat warna pada reaktor *horizontal* yaitu 68 Pt-Co hal ini menunjukkan adanya penurunan

dari nilai karakteristik, kemudian pada reaktor *vertikal* didapat nilai zat warna yaitu 99 Pt-Co hal ini juga menunjukkan adanya penurunan oleh reaktor horizontal sebesar 68 Pt-Co. Pada hari ke 17 dilakukan penggantian limbah kembali dengan nilai karakteristik zat warna yaitu 5488 Pt-Co, pada hari ke 18 dilakukan sampling untuk dilakukan pengujian sampel, pada hari ke 18 nilai zat warna pada *horizontal* sebesar 3811 Pt-Co dan untuk reaktor *vertikal* menunjukkan nilai 3733 Pt-Co, Pada hari ke 24 dilakukan penggantian limbah kembali dengan nilai karakteristik zat warna yaitu 62.22 Pt-Co.

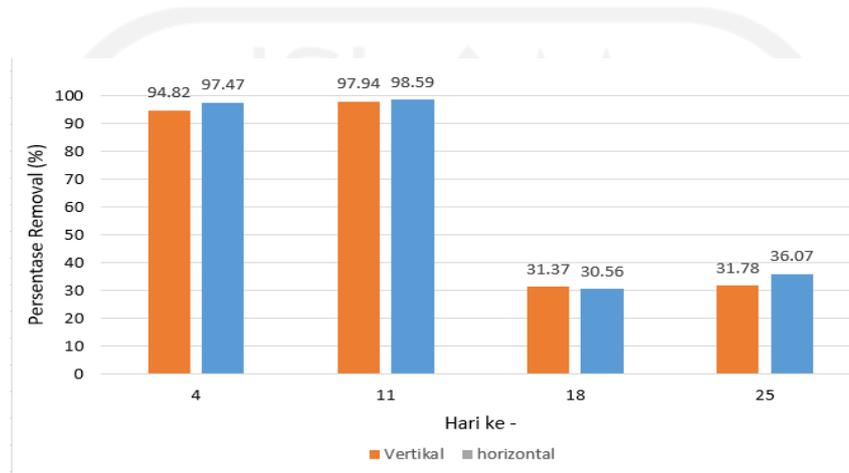
Pada hari ke 25 dilakukan sampling untuk dilakukan pengujian sampel, pada hari ke 25 nilai zat warna pada *horizontal* sebesar 39.78 Pt-Co dan untuk reaktor *vertikal* menunjukkan nilai 42.44 Pt-Co, dilihat dari angka karakteristik hal ini menunjukkan adanya penurunan nilai zat warna pada *reaktor hybrid constructed wetland*. Dapat disimpulkan dari data dibawah ini ialah semakin bertambah hari maka setiap pengujian zat warna akan semakin turun nilai Pt-Co hal ini disebabkan karena reaktor *hybrid constructed wetland* berfungsi dengan baik dalam menurunkan zat warna dalam kandungan limbah tenun. Dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi Zat Warna

Berikut merupakan efisiensi removal warna pada hari ke-4 efisiensi

removal reaktor *vertikal* 94,82% dan reaktor *horizontal* 97,47% ,untuk hari ke-11 efisiensi reaktor *vertikal* 97,92% dan reaktor *horizontal* 98,59% sedangkan untuk hari ke-18 efisiensi removal pada reaktor *vertikal* 31,37% dan *horizontal* 30,56%. sedangkan untuk hari ke-25 efisiensi removal pada reaktor *vertikal* 31,38% dan *horizontal* 36,07%. Dapat dilihat gambar grafik dibawah ini :

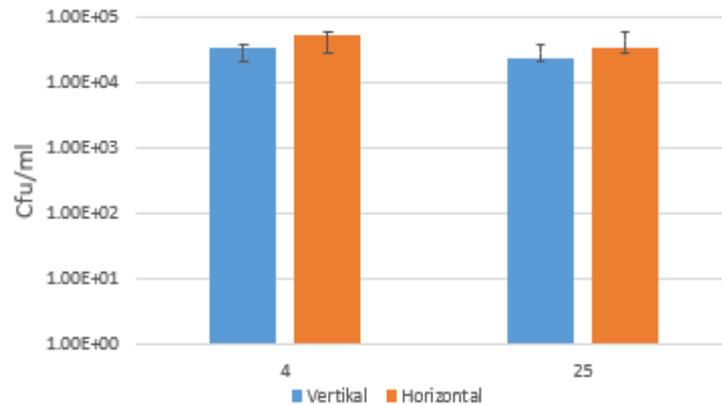


Gambar 4. 11 *Effisiensi Zat Warna*

Dari hasil yang didapatkan selama pengujian bahwa efisiensi konsentrasi zat warna pada reaktor *vertikal* dibanding reaktor *horizontal*, hal ini juga dikarenakan adanya proses reduksi dari titik sebelumnya sehingga nilai konsentrasi warna pada reaktor vertikal menjadi lebih kecil .Ini membuktikan bahwa penggunaan tanaman vetiver dan bakteri pada reaktor *hybrid constructed wetland* cukup efisien dalam mereduksi konsentrasi zat warna. Menurut (Septiara, 2022) penyebab fluktuasi konsentrasi warna dikarenakan isolate bakteri yang masih dalam tahap beradaptasi dan isolate bakteri memiliki perbedaan yang masih dalam tahap beradaptasi dan isolate bakteri memiliki perbedaan interval waktu regenerasi dalam memanfaatkan zat warna menjadi karbonnya.

4.6 Specific Bacteria Number

Proses Pengujian TPC dilakukan dalam hari ke 4,7, dan 18. Dibawah ini merupakan grafik pengujian *Total Plate Count* (TPC) :



Gambar 4. 12 Grafik jumlah koloni bakteri pada reaktor *Hybrid Construted Wetland*

Didapatkan hasil bahwa jumlah koloni bakteri pada reaktor *vertikal* pada hari ke-4 berjumlah 35×10^3 dan untuk reaktor *horizontal* jumlah koloni sebesar 55×10^3 , pada reaktor vertikal pada hari ke-4 berjumlah 23×10^3 dan untuk reaktor horizontal jumlah koloni sebesar 33×10^3 .Dapat disimpulkan bahwa bakteri yang ada pada reaktor *Hybrid Construted Wetland*,nantinya akan dapat menurunkan kadar kosentrasi air limbah yang ada pada logam, TSS, dan, warna.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini banyak sekali yang didapatkan dari reaktor *hybrid constructed wetland* yaitu penggunaan reaktor tersebut dapat menurunkan parameter yang diuji seperti konsentrasi logam, TSS, dan Zat warna dengan menggunakan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dengan kombinasi bakteri endofit untuk menurunkan efisiensi removal. *Constructed wetland* sangat efisien untuk industri tenun skala kecil hingga menengah dalam mengelola limbah cair dari proses pembuatan tenun, dikarenakan dalam pembangunan *constructed wetland* ini membutuhkan lahan yang sedikit dan biaya yang rendah, dan untuk pengoperasian dan perawatan mudah dan murah. *Constructed wetland* juga cocok untuk limbah yang mengandung logam berat, TSS dan warna.
2. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa reaktor *horizontal* kombinasi dengan reaktor *vertikal* menggunakan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri konsorsium mampu mengurangi kadar TSS pada limbah tenun. Efisiensi pada reaktor *vertikal* pada hari ke 4, 11, dan 18 sebesar 94,82%, 97,84% dan 31,37%. Pada reaktor *horizontal* memiliki efisiensi reduksi pada hari ke 4, 11, dan 18 sebesar 97,47%, 98,59% dan 30,56%. Walaupun hasil konsentrasi akhir TSS sebagian belum memenuhi baku mutu, akan tetapi reaktor *hybrid constructed wetland* memiliki efisiensi yang cukup besar dalam mereduksi TSS. Sedangkan untuk warna efisiensi removal pada reaktor *vertikal* pada hari ke 4, 11, dan 18 sebesar 12,77%, 51,06%, 80,17%. Pada reaktor *horizontal* memiliki efisiensi reduksi pada hari ke 4, 11, dan 18 sebesar 48,94%, 56,38%, 56,03%.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian, diperlukan pengolahan limbah lebih lanjut mendegradasi bahan pencemar sehingga angka konsentrasi bahan pencemar berada dibawah baku mutu dan untuk membuat limbah seharusnya menambahkan bahan yang mengandung parameter yang akan diuji misalnya bahan logam agar nanti dapat mengetahui kadarkonsentrasi dari logam limbah yang akan dibuat untuk diuji seberapa pengaruhnya teknologi *hybrid constructed wetland* yang akan dipakai untuk menurunkan kadar *effisiensi removal*.



DAFTAR PUSTAKA

- Aka, H. A., Suhendrayatna, & Syaubari. (2017). Penurunan Kadar Amonia Dalam Limbah Cair Oleh Tanaman Air Typha Latifolia (Tanaman Obor). *Ilmu Kebencanaan (JIKA)*, 4(3), 72–75.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
- Azaman, A., Juahir, H., Yunus, K., Azida, A., Kamarudin, M.K.A., Toriman, M. E., et.al. (2015). *Heavy metal in fish: analysis and human health- A review. Jurnal Teknologi*, 77(1), 61–69. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.4182>
- Azmi, M., Hs, E., & Andrio, D. (2016). *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman Typha latifolia dengan Metode Constructed Wetland. Jom F TEKNIK*, 3(2), 1–5.
- Azizah, M., & Humairoh, M. (2015). *CILEUNGSI Oleh : Nusa Sylva*, 15(82), 47–54.
- Badejo AA., Sridhar MK., Coker AO., Ndambuki JM., Kupolati WK (2015). *Phytoremediation of water using Phragmites karka and Veteveria nigriflora in constructed wetland. Int J Phytorem* 17(9):847–852
- Chandra, Budiman. (2006). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta. EGC
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A.W., Wibowo, S., Hudoyo, K.S et al. (2012). *Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat. Jakarta: Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*
- Earnestly, Femi. 2018. Analisis Kadar Klorida, Amoniak di Sumber Air Tanah Universitas Muhammadiyah Sumbar Padang. *Jurnal Katalisator*, 3 (2) :

Gunawan, G, dan Nanny Kusumaningrum. 2012. Penanganan Erosi Lereng Galian dan Timbunan Jalan dengan Rumput Vetiver. Bandung : *Puslitbang Jalan dan Jembatan*

Hussain, Zahid., dkk. 2018. *Integrated perspectives on the use of bacterial endophytes in horizontal flow constructed wetlands for the treatment of liquid textile effluent: Phytoremediation advances in the field. Journal of Environmental Management* 224. hal 387–395.

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.

Jayaweera, Mahesh W., et al. 2008. Contribution of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) Grown Under Different Nutrient Condition to Fe-removal Mechanisms in Constructed Wetlands. *Elsevier Journal of Environmental Management*, 450-460.

Komala, P. S., Wisjnuaprpto, & Wenten, I. . (2007). *Pengolahan Zat Warna Azo Menggunakan Bioreaktor Membran Konsektif Aerob-Anaerob Pengolahan Zat Warna Azo Menggunakan Bioreaktor Membran Konsektif Aerob-Anaerob I-15-1. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses, July*, 1-15-1-1-15–13.

Patandangan, Alfia. 2014. “Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) terhadap Tanah Tercemar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Lahan TPA Tamangapa Antang”. Makassar : UIN Alauddin Makassar.

Pambudi, I. N. (2020). Perubahan parameter fisika pada proses biodegradasi limbah tenun oleh bakteri endofit. Universitas Islam Indonesia.

Prasetya, Yoga Kharisma. 2019 *Unjuk Kerja Reaktor Continuous Wetland Menggunakan Tanaman Vetiveria Zizanoides dan Bakteri terhadap Konsentrasi TPC dari Limbah Minyak Industri X Yogyakarta. Yogyakarta:Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas IslamIndonesia.*

Shenzadi, Maryam., dkk. 2014. *Enhanced degradation of textile effluent in constructed wetland system using Typha domingensis and textile effluent-degrading endophytic bacteria. Water Research 58. Hal 152-159*

Shenzadi, Maryam., dkk. 2015. *Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant-degradation and plant growth-promotion potentials. Plant Bioterms.*

SNI 6989.2.2009, Air dan Air Limbah – Bagian 2 Cara Total Suspended Solid (TSS).

SNI 6989.72.2009, Air dan Air Limbah – Bagian 72 Cara Uji Logam Besi (Cr,Cu,Pb)

SNI 6989.72.2009, Air dan Air Limbah – Bagian 72 Cara Uji Zat warna

Staufer, B., & Spuhler, D. (2018). *Hybrid Constructed Wetland. Sustainable Sanitation and Water Management Training*

Suswati, A. C. S. P., & Wibisono, G. (2013). Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands) | Suswati | The Indonesian Green Technology Journal. *Indonesian Green Technology*

Journal, 2(2), 70–77.

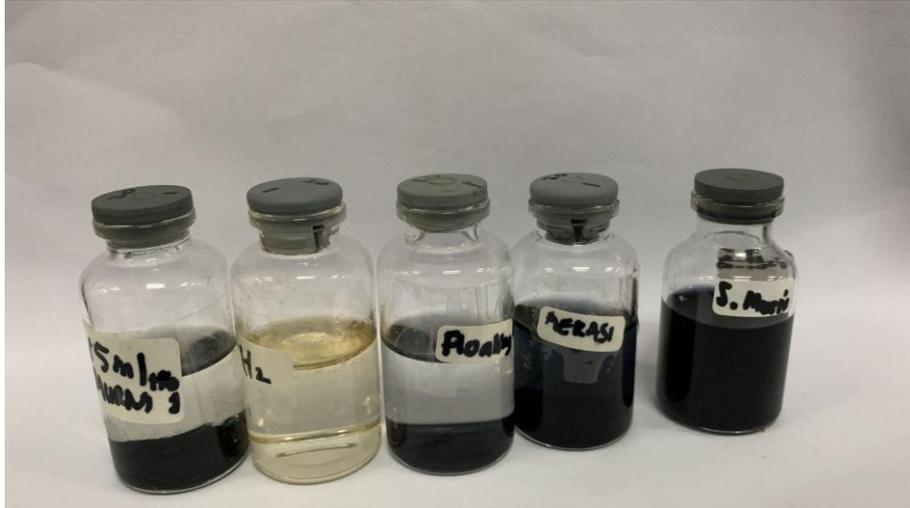
Tambunan, J. A. M., Effendi, H., & Krisanti, M. (2018). Phytoremediating batik wastewater using vetiver chrysopogon zizanioides (L). *Polish Journal of Environmental*

Wiraningtyas, A., Ruslan, R., Sandi, A., & Nasir, M. (2019). Pewarnaan Benang Menggunakan Ekstrak Daun Nila (Indigofera). *Jurnal Redoks : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 3(1), 8–12.
<https://doi.org/10.33627/re.v3i1.242>

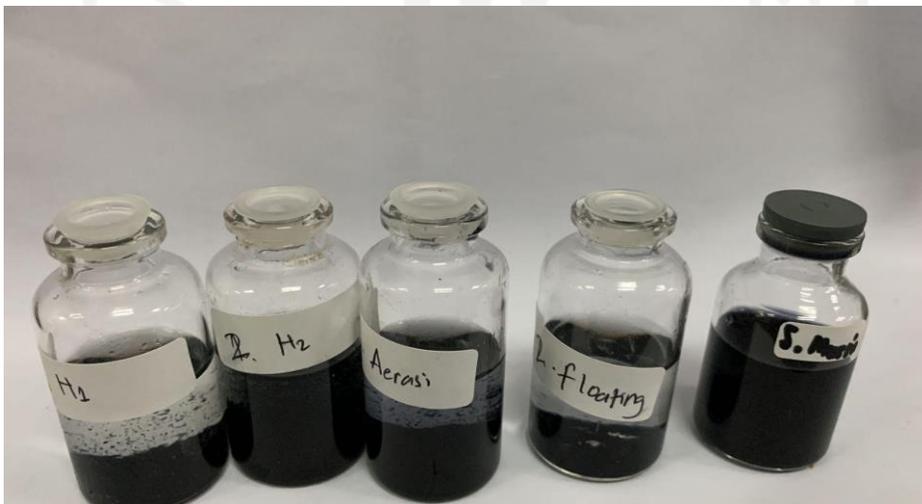


LAMPIRAN

Lampiran 1 Sampel murni sebelum di saring hari ke-4



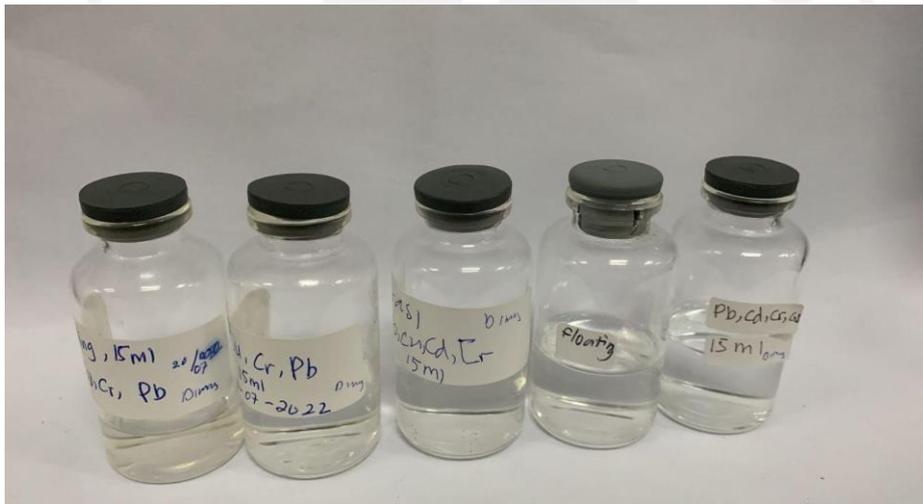
Lampiran 2 Sampel murni sebelum di saring hari ke-11



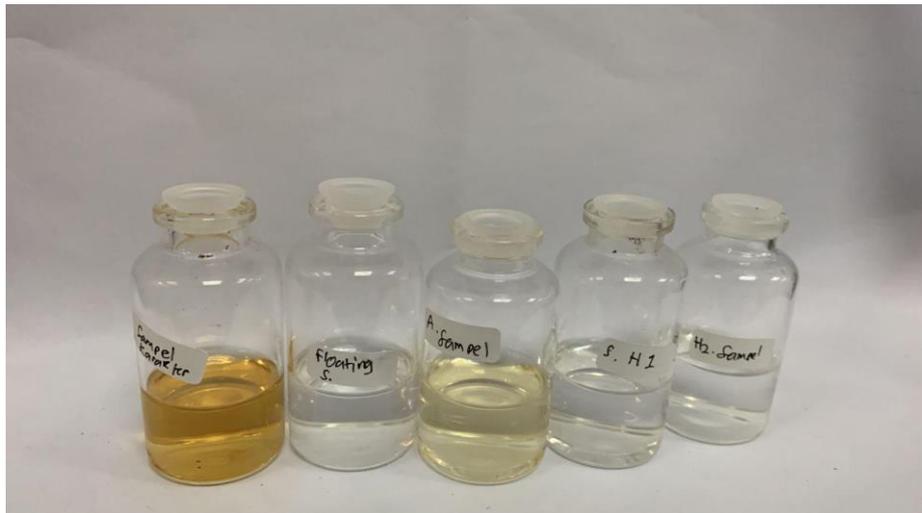
Lampiran 3 Sampel murni sebelum di saring hari ke-18



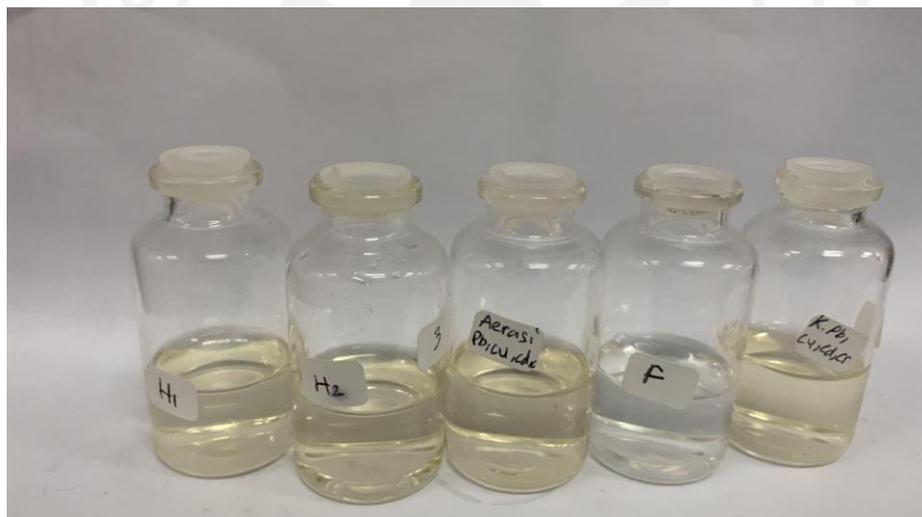
Lampiran 4 Sampel yang sudah siap diujidengan AAS harike- 4



Lampiran 5 Sampel yang sudah siap diujidengan AAS ke-11



Lampiran 6 Sampel yang sudah siap diujidengan AAS hari ke-18



Lampiran 7 Sampel yang sudah siap diujidengan AAS hari ke-25



Lampiran 8 Nilai konsentrasi zat warna

waktu	vertikal	horizontal
0	4800	4800
4	248	122
11	99	68
18	3733	3811
25	42.44	39.78

Lampiran 9 Nilai efisiensi removal zat warna

waktu	Vertikal	Horizontal
4	94.82	97.47
11	97.94	98.59
18	31.37	30.56
25	31.78	36.07

Lampiran 10 konsentrasi TSS

Hari	Vertikal	Horizontal	Karakteristik
0	376	376	376
4	540	192	376
11	184	164	20
14	464	464	464
18	92	204	464
25	88	68	280

Lampiran 11 efisiensi removal TSS

hari	Vertikal	Horizontal
4	12.77	48.94
11	51.06	56.38
18	80.17	56.03
25	68.57	75.71

Lampiran 12 Kosentrasi TPC

Hari	Vertikal	Horizontal
4	35000	55000
25	23000	33000

Lampiran 13 Hasil Uji logam reaktor vertikal dan horizontal

Uji Logam								
Limbah Tenun	Vertikal				Horizontal			
	Cr	Cu	Cd	Pb	Cr	Cu	Cd	Pb
4	- 0.0165	0.0991	-0.011	0.0751	-0.08502	0.01465 7	0.03327 5	0.08835 8
11	0.0660	0.0991	0.018	- 0.1114	0.10270 3	0.03498 9	-0.02158	-0.18089
18	0.0660	0.0515	0.022	- 1.0142	0.02051 5	0.01052 2	-0.0092	-0.12753
25	- 0.0337	- 0.0088	- 0.0668	0.0098	-0.03756	0.00665 1	0.02749 6	0.03310 3

Lampiran 14 Hasil Uji TSS



Lampiran 15 Pengujian logam menggunakan AAS(Atomic Absobtion Spectrophometer).



Lampiran 16 Hasil pengujian Total Plate Count (TPC)

