

TUGAS AKHIR

**UNJUK KERJA *AERATED* dan *FLOATING WETLAND*
KOMBINASI DENGAN KONSORSIUM BAKTERI
UNTUK REMOVAL KANDUNGAN BOD, COD dan
AMONIA PADA AIR LIMBAH TENUN**

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



AMARA MAYORI

18513173

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

TUGAS AKHIR


UNJUK KERJA *AERATED* DAN *FLOATING WETLAND* KOMBINASI DENGAN KONSORSIUM BAKTERI UNTUK REMOVAL KANDUNGAN BOD, COD DAN AMONIA PADA AIR LIMBAH TENUN


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




AMARA MAYORI
18513173

Disetujui,
Dosen Pembimbing :


Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
NIK. 165131306
Tanggal : 9 September 2022


Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
NIK. 185130401
Tanggal : 9 September 2022

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal : 21 Oktober 2022

HALAMAN PENGESAHAN
UNJUK KERJA *AERATED* dan *FLOATING WETLAND*
KOMBINASI DENGAN KONSORSIUM BAKTERI
untuk REMOVAL KANDUNGAN BOD, COD DAN
AMONIA PADA AIR LIMBAH TENUN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 17 Oktober 2022

Disusun Oleh :

Amara Mayori

18513173

Tim Penguji :

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

()

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

()

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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 14 September 2022

Yang membuat pernyataan



Amara Mayori

18513173

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan dengan baik. Judul yang dipilih dalam penelitian ini ialah Unjuk Kerja *Aerated* dan *Floating Wetland* Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri untuk Removal Kandungan BOD, COD dan Amonia pada Air Limbah Tenun.

Peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang membantu kelancaran dalam penyusunan laporan ini baik dukungan moril maupun materil. Sehingga pada kesempatan ini, peneliti ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga mempermudah kelancaran proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua peneliti, Mamah Kenwi Hamiroh dan Papah Taswanto, saudara kandung Gesti Palupi dan Yuha Bani Firdaus, serta keponakan tersayang Alfarezi Abrisam yang tanpa lelah senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa demi kelancaran tugas akhir ini.
3. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku pembimbing 2 yang telah membimbing selama proses penelitian dan Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan waktu dan berkenan memberi masukan selama proses penyusunan laporan tugas akhir.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang sudah membagikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi peneliti untuk proses penelitian tugas akhir ini.

6. Rekan tugas akhir peneliti, Alma, Carisa dan Dimas yang telah berjuang bersama-sama, saling membantu dan memberikan semangat selama proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Kepada Rezha, Husna, Andifa, Ega dan Syahrina yang sudah menemani masa-masa perkuliahan dan memberikan dukungan tak terhingga hingga peneliti menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Keluarga Besar Teknik Lingkungan Angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian.
9. Seluruh keluarga, teman dan pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Peneliti berharap semoga seluruh amal baik dari semua pihak yang terlibat dan membantu dalam kelancaran proses tugas akhir ini mendapat balasan berupa pahala dari Allah SWT. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 14 September 2022



Amara Mayori



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

AMARA MAYORI. Performances of Aerated and Floating Wetland Combination with Consortium Bacteria to Degradate BOD, COD and Amonia Content in Weaving Wastewater. Supervised by Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. and DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

The weaving industry which disposes of its waste into water bodies such as ditches and rivers without prior treatment, causes contamination in water bodies that become as dumping grounds. One way that can be used in the treatment of weaving wastewater is bioremediation by involving plants to degrade pollutants in the water with the help of microorganisms. The research aims to analyze aerated systems capabilities and floatation wetland combines with endophyte bacteria and vetiver plants (*Vetiveria zizanioides*) to magnify the buildup of BOD, COD and Ammonia in the industrial woven wastewater. The method used is the plant will be acclimatized in the reactor with the addition of a consortium of bacteria after acclimatization, and the artificial weaving wastewater is added into the aerated and floating reactor for further running of wastewater and parameter testing. Test runs on days 0, 4, 11, 18 and 25. The result of the weaving wastewater sample for one month testing show that the BOD removal efficiency is 6,49% -94,15%, ammonia is 37,79% - 100% and COD is 2,17% - 95,16%. This research shows that the method of treating weaving wastewater using aerated and floating reactors with the help of vetiver plants (*Vetiveria zizanioides*) and a consortium of bacteria can reduce the pollutant load contained in the weaving wastewater.

Key Words: *Aerated wetland, continuous wetland, floating wetland, Vetiveria zizanioides, weaving wastewater*

ABSTRAK

AMARA MAYORI. Unjuk Kerja *Aerated* dan *Floating Wetland* Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri untuk Removal Kandungan BOD, COD dan AMONIA pada Air Limbah Tenun. Dibimbing oleh Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. and DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Industri tenun yang membuang limbahnya ke badan air seperti selokan dan sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu menyebabkan pencemaran di badan air yang menjadi tempat pembuangan. Salah satu cara yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair tenun yaitu bioremediasi dengan melibatkan tanaman untuk mendegradasi polutan yang ada di dalam air dengan bantuan mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan sistem *aerated* dan *floating wetland* kombinasi dengan konsorsium bakteri dan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) untuk mendegradasi kandungan BOD, COD dan Amonia dalam air limbah industri tenun. Metode yang digunakan yaitu tanaman akan diaklimatisasi di dalam reaktor dengan penambahan konsorsium bakteri setelah aklimatisasi, dan air limbah tenun buatan dimasukkan ke dalam reaktor *aerated* dan *floating* untuk selanjutnya dilakukan running air limbah dan pengujian parameter. Pengujian sampel dilakukan pada hari ke-0, 4, 11, 18 dan 25. Hasil pengujian sample air limbah tenun selama satu bulan pengujian menunjukkan efisiensi removal BOD sebesar 6,49% -94,15%, Amonia sebesar 37,79% - 100% dan COD sebesar 2,17% - 95,16%. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode pengolahan air limbah tenun menggunakan reaktor *aerated* dan *floating* dengan bantuan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan konsorsium bakteri dapat mengurangi beban pencemar yang terdapat dalam air limbah tenun.

Kata Kunci: *Aerated wetland*, *continuous wetland*, *floating wetland*, limbah tenun, *Vetiveria zizanioides*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	xii
PERNYATAAN	xiii
KATA PENGANTAR.....	xiv
ABSTRACT	xvii
ABSTRAK.....	xviii
DAFTAR ISI.....	xx
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Cair Tenun.....	4
2.2 Bioremediasi	6
2.3 Fitoremediasi.....	8
2.4 Bakteri Endofit	10
2.5 BOD.....	10
2.6 COD.....	11
2.7 Amonia.....	12
2.8 Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	13
2.9 <i>Aerated Constructed Wetland</i>	14
2.10 <i>Floating Treatment Wetland</i>	15
2.11 Penelitian Terdahulu	17
BAB III METODE PENELITIAN	25

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2 Metode Penelitian	25
3.3 Inokulasi Bakteri	26
3.4 Kultur Bakteri.....	28
3.5 Persiapan Reaktor.....	29
3.5.1 <i>Aerated</i> dan <i>Floating Wetland</i>	29
3.5.2. Aklimatisasi	30
3.5.3. Running Reaktor dan Sampling	31
3.6. Pembuatan Air Limbah Tenun	32
3.7. Pengujian Parameter	33
3.8 Analisis Removal Polutan.....	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	35
4.1 Karakteristik Air Limbah.....	35
4.2. Kondisi Reaktor.....	36
4.3. Analisis Parameter.....	41
4.3.1. DO (Dissolved Oxygen)	41
4.3.2. BOD (Biochemical Oxygen Demand)	42
4.3.3. COD (Chemical Oxygen Demand)	44
4.3.4. Amonia (NH ₃).....	46
4.4. Efisiensi Removal Parameter	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	60



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1 Komposisi Bahan-Bahan Pembuatan Limbah Tenun Artifisial.....	32
Tabel 3.2 Pengujian Parameter	33
Tabel 4.1 Morfologi dan Presentasi Removal Bakteri Berdasarkan Penelitian Sebelumnya.....	35
Tabel 4.2 Karakteristik Air Limbah	35
Tabel 4.3 Tinggi Tanaman Sebelum Pengujian.....	37
Tabel 4.4 Tinggi Tanaman Diakhir Pengujian.....	38





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aerated Constructed Wetland	15
Gambar 2.2 Floating Treatment Wetland	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Pembuatan Media NA	27
Gambar 3.3 Streak Bakteri.....	27
Gambar 3.4 Kultur Bakteri	28
Gambar 3.5 Skema Reaktor Aerated dan Floating Wetland.....	29
Gambar 3.6 Proses Penambahan Konsorsium Bakteri ke Dalam Reaktor Aerated dan Floating Wetland	30
Gambar 3.7 Kondisi Tanaman Akar Wangi Awal Aklimatisasi.....	31
Gambar 3.8 Kondisi Tanaman Akar Wangi Setelah Aklimatisasi.....	31
Gambar 3.9 Pembuatan Limbah Cair Tenun Artifisial	32
Gambar 4.1 Reaktor dan Air Limbah Tenun	36
Gambar 4.2 Akar Pada Reaktor Floating Sebelum Running	38
Gambar 4.3 Akar Pada Reaktor Floating Sebelum Running	39
Gambar 4.4 Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor Aerated dan Floating Sebelum Running	39
Gambar 4.5 Akar Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor Floating Setelah Running	40
Gambar 4.6 Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor Setelah Running	40
Gambar 4.7 Grafik Pengujian DO Pada Reaktor Aerated dan Floating Wetland Menggunakan Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian.....	41
Gambar 4.8 Grafik Pengujian BOD Pada Reaktor Aerated dan Floating Wetland Menggunakan Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian.....	42
Gambar 4.9 Grafik Pengujian COD Pada Reaktor Aerated dan Floating Wetland Menggunakan Tanaman <i>Vetiveria Zizanioides</i> dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian.....	44

Gambar 4.10 Grafik Pengujian Amonia Pada Reaktor Aerated dan Floating Wetland Menggunakan Tanaman Vetiveria zizanioides dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian.....	46
Gambar 4.11 Grafik Persentase Efisiensi Removal BOD Pada Reaktor Aerated dan Floating	48
Gambar 4.12 Grafik Persentase Efisiensi Removal COD Pada Reaktor Aerated dan Floating	49
Gambar 4.13 Grafik Presentase Efisiensi Removal Amonia Pada Reaktor Aerated dan Floating.....	50





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1 Pengujian Karakteristik COD	60
Tabel Lampiran 2 Pengujian COD Reaktor <i>Aerated</i>	60
Tabel Lampiran 3 Pengujian COD Reaktor <i>Floating</i>	61
Tabel Lampiran 4 Pengujian Karakteristik BOD	61
Tabel Lampiran 5 Pengujian BOD Reaktor <i>Aerated</i>	62
Tabel Lampiran 6 Pengujian BOD Reaktor <i>Floating</i>	62
Tabel Lampiran 7 Pengujian Karakteristik Amonia	63
Tabel Lampiran 8 Pengujian Amonia Reaktor <i>Aerated</i>	63
Tabel Lampiran 9 Pengujian Amonia Reaktor <i>Floating</i>	64
Tabel Lampiran 10 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil	65
Gambar Lampiran 1 Tahapan Pengujian BOD	66
Gambar Lampiran 2 Tahapan Pengujian COD	67
Gambar Lampiran 3 Tahapan Pengujian Amonia	67
Lampiran Alat dan Bahan 1	68
Lampiran Dokumentasi 1	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, industri tekstil di Indonesia berkembang sangat cepat seiring dengan perkembangan zaman. Industri tenun di Desa Troso, Jepara merupakan salah satu industri yang menghasilkan produk tenun setiap hari. Volume produksi yang dihasilkan pada tahun 2017 adalah sekitar 37.322.128 meter. Sejalan dengan hasil produksi yang banyak, maka air limbah yang dihasilkan juga banyak. Namun, industri tenun Troso in masih membuang limbahnya ke badan air seperti selokan dan sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu. Air limbah yang dihasilkan merupakan hasil dari proses pewarnaan menggunakan zat warna sintetik yang memiliki senyawa kompleks dan sulit terurai di lingkungan, sehingga menyebabkan pencemaran di badan air yang menjadi tempat pembuangan.

Pencemaran dari pembuangan limbah cair tenun Troso juga dapat terlihat dari warna air sungai yang berubah-ubah, kekeruhan pada air sungai dan timbulnya bau yang menyengat. Air limbah tersebut bisa mengalir sampai area persawahan jika pencemaran yang terjadi melewati saluran irigasi maupun selokan. Hal tersebut dapat menyebabkan permasalahan kesehatan karena padi-padi yang ada di sawah akan menyerap air limbah tenun yang mengandung logam dan menjadi konsumsi untuk kebutuhan pangan masyarakat. Logam berat menjadi berbahaya jika terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh. Logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen dan karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya bisa melalui kulit, pernafasan atau pencernaan (Samawaty, 2004).

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair tenun yaitu pengolahan secara biologi. Bioremediasi ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk penanganan limbah cair. Bioremediasi dapat dilakukan melalui proses degradasi polutan secara aerobik ataupun anaerobik. Metode pengolahan ini dipilih karena biayanya yang relatif murah dan ramah lingkungan

(Saratele et al 2009). Bioremediasi juga melibatkan tanaman untuk mendegradasi polutan yang ada di dalam air dengan bantuan mikroorganisme. Tanaman yang akan digunakan yaitu rumput vetiver/tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Rumput vetiver dipilih karena karakter morfologis, fisiologis dan kemampuannya dalam mendegradasi polutan di air limbah seperti BOD, COD dan logam berat.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tara et al, 2019, pengolahan limbah tenun menggunakan *floating treatment wetland* dengan memanfaatkan tumbuhan di media apung dan bakteri dapat meningkatkan kinerja degradasi polutan dimana BOD berkurang sebesar 92% dan COD sebesar 91%. *Floating treatment wetland* memanfaatkan tanaman yang ditanam secara artifisial diatas media apung. Sistem pengolahan lain yang dapat diterapkan untuk mengolah limbah cair tenun ini yaitu *aerated constructed wetland*. *Aerated constructed wetland* dilakukan dengan menambahkan proses aerasi dalam sistem lahan basah agar ketersediaan oksigen untuk proses degradasi polutan oleh mikroorganisme dapat berjalan optimal (Wu et al, 2017).

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai jenis bakteri serta efektifitas bakteri tersebut dalam proses degradasi kandungan BOD, COD dan Amonia pada limbah cair tenun dengan menggunakan sistem pengolahan air limbah *aerated constructed wetland* dan *floating treatment wetland*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan di atas, maka perumusan masalah yang didapat dalam penelitian ini yaitu:

1. Apa jenis bakteri yang mampu mendegradasi kandungan BOD, COD dan Amonia pada limbah cair tenun?
2. Bagaimana performa teknologi *aerated* dan *floating wetland* mampu mengolah limbah Tenun?
3. Bagaimana efektifitas dari bakteri tersebut dalam mendegradasi kandungan BOD, COD dan Amonia pada limbah cair tenun dengan sistem *aerated* dan *floating wetland*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah menganalisis kemampuan sistem *aerated* dan *floating wetland* kombinasi dengan konsorsium bakteri bakteri dan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) untuk mendegradasi kandungan BOD, COD dan amonia dalam air limbah industri tenun.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan studi literatur di bidang teknik lingkungan khususnya tentang pengolahan limbah cair tenun.
2. Memberikan informasi mengenai kemampuan bakteri dan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dalam sistem *aerated* dan *floating wetland* untuk mendegradasi kandungan BOD, COD dan amonia pada air limbah industri tenun.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi:

1. Isolasi bakteri untuk digunakan dalam pengolahan limbah cair tenun.
2. Pengolahan limbah cair tenun menggunakan *aerated constructed wetland* dan *floating wetland*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Tenun

Di Indonesia, salah satu permasalahan besar yang dihadapi masyarakat sampai sekarang yaitu masalah pencemaran lingkungan oleh pembuangan air limbah yang tidak ditangani dengan baik. Air limbah sendiri merupakan air yang telah digunakan dalam kegiatan manusia setiap harinya. Air limbah tersebut dapat berasal dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, pertokoan, fasilitas umum, industri dan lain-lain (Supriyatno, 2000). Industri menjadi penyumbang air limbah terbesar setelah limbah domestik, salah satunya yaitu industri tekstil. Industri tekstil di Indonesia sangat beragam mulai dari skala kecil sampai besar. Beberapa pabrik tekstil tersebut hanya melakukan sebagian proses, tetapi ada juga yang melakukan proses dari awal pembuatan benang sampai penyempurnaan produk. Sehingga, permasalahan pencemaran oleh limbah industri tekstil terhadap lingkungan sangat dipengaruhi oleh bahan baku, teknologi, proses, bahan pewarna dan jumlah produk yang dihasilkan (Moertinah, 2010).

Industri tenun menjadi salah satu industri dibidang tekstil yang menghasilkan banyak air limbah. Limbah tenun merupakan limbah cair yang dominan dihasilkan dari proses pewarnaan benang (dyeing) dimana proses tersebut memanfaatkan penggunaan bahan kimia serta air sebagai pelarutnya. Limbah cair pada proses pencelupan zat warna biasanya memiliki pH tinggi, warnanya gelap dan juga memiliki kandungan COD yang tinggi. Kandungan pH nya yang tinggi disebabkan karena penggunaan alkali untuk proses fiksasi warna. Warna limbah yang gelap dan pekat disebabkan karena banyak zat warna yang digunakan tidak menyerap kedalam serat benang. Sementara kandungan COD yang tinggi disebabkan karena banyaknya sisa zat warna, zat pembasah dan zat pembantu sehingga kandungan bahan organik dalam limbah cair tenun tersebut tinggi (Hidayat, 2014).

Jenis zat warna yang paling sering digunakan dalam pewarnaan kain tenun adalah zat warna sintesis seperti sulfur, direct, naftol, dan lain-lain. Zat warna naftol digunakan karena mempunyai warna yang kuat dan dapat dipakai untuk proses pencelupan secara cepat. Zat warna ini merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan memiliki komponen dasar berupa golongan naftol AS (Anilis acid) dan komponen pembangkit warna, yaitu golongan diazonium atau garam. Jika sudah dilarutkan maka kedua komponen tersebut akan bergabung menjadi senyawa berwarna. Senyawa dalam zat warna naftol mempunyai gugus azo yang menyebabkan zat warna ini tidak larut dalam air (Laksono, 2012). Pewarna azo merupakan salah satu pewarna sintesis yang paling dominan digunakan dalam industri tekstil. Pewarna azo dan produknya yang terdegradasi di reservoir alami menjadikan penyebab munculnya permasalahan lingkungan dan Kesehatan (Tara et al, 2019).

Limbah cair yang dihasilkan dari proses di dalam industri tenun mengandung bahan-bahan kimia yang ditambahkan pada proses penyempurnaan, atau yang terlepas secara kimia dan mekanik selama berjalannya proses produksi tenun. Salah satu penyebab terjadinya pencemaran lingkungan disebabkan karena adanya pencemar yang berasal dari limbah cair tenun yang dibuang sembarangan (Enrico, 2019). Beberapa dampak negatif dari limbah cair yang dibuang tanpa pengolahan yang benar yaitu seperti mengganggu ekosistem perairan, menyebabkan pencemaran di air permukaan dan badan air yang digunakan oleh manusia, menghasilkan lumpur yang menjadi penyebab penyumbatan yang menyebabkan banjir serta menghasilkan bau dari hasil proses dekomposisi zat anaerobik dan anorganik (Chandra, 2006).

Salah satu zat warna berbahaya yang sering digunakan dalam proses pewarnaan benang tenun yaitu pewarna jenis azo. Pewarna azo termasuk limbah yang sulit untuk diuraikan atau didegradasi dan pada kadar tertentu pewarna ini bersifat toxic dan karsinogenik (Dewi & Lestari, 2010). Limbah pewarna azo yang dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan yang benar terlebih dahulu dapat mempengaruhi transparansi warna air sungai sehingga sinar matahari akan terhalang masuk sampai ke dasar sungai, menyebabkan kadar oksigen berkurang dan

mutagenic terhadap organisme yang hidup di dalam sungai. Pewarna azo juga menjadi penyebab berkurangnya efisiensi germinasi benih dan pertumbuhan tumbuhan. Dalam kadar yang lebih tinggi mampu menghambat pertumbuhan tunas dan akar (Sudha, 2014).

2.2 Bioremediasi

Bioremediasi adalah upaya menurunkan kadar polutan di suatu lingkungan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme. Saat berlangsungnya proses bioremediasi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme akan merubah struktur polutan beracun menjadi tidak kompleks sehingga menjadi zat yang tidak beracun dan berbahaya (Priadie, 2012). Mikroorganisme mampu mendekolorisasi pewarna tekstil dengan mensekresikan enzim-enzim seperti *azoreductase*, *laccase* atau *peroxidase*. Enzim-enzim tersebut dapat mendegradasi struktur kimia dari pewarna tekstil seperti dalam limbah tenun dan menjadikannya produk yang tidak berwarna, sifat toxicnya menurun dan aman jika dibuang ke badan air dengan berbagai mekanisme, tergantung pada struktur kimia masing-masing pewarna tersebut (Sudha et al, 2014).

Faktor yang menjadi kontrol dan optimalisasi proses bioremediasi antara lain, adanya populasi mikroba yang mampu mendegradasi bahan pencemar, kemampuan memanfaatkan kontaminan untuk populasi mikroba, faktor lingkungan (jenis tanah, suhu, pH, keberadaan oksigen atau akseptor elektron dan nutrisi). Karena keefektifan bioremediasi bergantung pada kondisi lingkungan yang memungkinkan pertumbuhan dan aktivitas mikroba, dalam penerapannya sering kali dilakukan penyesuaian parameter lingkungan untuk memungkinkan pertumbuhan dan degradasi oleh mikroba berlangsung lebih cepat (Vidali, 2001). Saat ini, penggunaan bioremediasi sudah meningkat pada pengolahan air limbah yang mengandung senyawa-senyawa yang sulit didegradasi, seperti logam berat, petroleum, hidrokarbon, dan senyawa-senyawa organik terhalogenasi seperti pestisida dan herbisida (Tortora, 2010).

Mikroorganisme dapat beradaptasi di hampir semua kondisi lingkungan, mulai dari suhu dibawah nol hingga panas yang ekstrem, kondisi gurun, dalam air, dengan

kelebihan oksigen, dan dalam kondisi anaerobik, dengan adanya senyawa berbahaya ataupun limbah dibadan air. Persyaratan pentingnya adalah adanya sumber energi dan sumber karbon. Karena kemampuan inilah mikroba dapat digunakan untuk memulihkan bahaya di lingkungan. (Vidali, 2001).

Teknologi bioremediasi diklasifikasikan menjadi 2 yaitu *ex situ* dan *in situ*. Teknologi *ex situ* adalah pengolahan untuk menghilangkan kontaminan di fasilitas pengolahan terpisah. Sementara itu, bioremediasi *in situ* melibatkan pengolahan penghilangan kontaminan di tempat itu sendiri. Kelebihan teknologi *in situ* dibandingkan *ex situ* yaitu :

1. Dapat dilakukan ditempat itu sendiri.
2. Tidak membutuhkan biaya transportasi.
3. Mengurangi limbah secara permanen.
4. Gangguan di tempat pengolahan dapat diminimalkan.
5. Berlaku untuk kontaminan cair dan tersebar luas.
6. Terjangkau (Iwamoto, 2001).

Mikroba memiliki kapasitas dalam mendegradasi senyawa sintetis. Oleh karena itu, bioremediasi dapat diterapkan pada tempat yang terkontaminasi oleh berbagai polutan. Proses bioremediasi secara *in situ* yang digunakan saat ini diklasifikasikan dalam tiga kategori berikut ini :

1. Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi ini merupakan metode pemantauan kemajuan alami dari degradasi untuk memastikan bahwa konsentrasi dari kontaminan akan menurun seiring dengan waktu pada poin pengambilan sampel yang relevan. Bioremediasi ini banyak digunakan sebagai metode pembersihan tempat penyimpanan tangki bawah tanah dengan tanah dan air yang terkontaminasi minyak bumi di Amerika Serikat (Dojika, 1998).

2. Biostimulasi

Jika degradasi alami tidak terjadi atau degradasi terlalu lambat, lingkungan harus diatur sedemikian rupa untuk merangsang biodegradasi dan laju reaksi meningkat. Langkah yang harus diambil inilah yang disebut biostimulasi,

termasuk memenuhi kebutuhan nutrisi lingkungan seperti nitrogen dan fosfor dengan akseptor elektron seperti oksigen dan dengan substrat seperti metana, fenol dan toluena. Bahan kimia fenol dan toluena yang digunakan sebagai substrat, dikenal sebagai bahan kimia beracun. Sehingga konsentrasi bahan kimia ini harus dipantau secara teliti selama biostimulasi (Yagi, 1997).

3. Bioaugmentasi

Pilihan ketiga dalam pengolahan bioremediasi secara *in situ* adalah bioaugmentasi. Ini merupakan cara untuk meningkatkan kapasitas biodegradatif dari tempat yang terkontaminasi oleh inokulasi bakteri dengan kemampuan katalitik yang diinginkan. Teknologi ini dianggap sebagai pengolahan yang efektif dalam kasus bahan kimia yang sangat susah untuk diolah dimana bioremediasi intrinsik dan biostimulasi tidak bekerja. Tetapi, penerapan bioaugmentasi harus diberikan banyak perhatian karena efeknya yang tidak diketahui pada lingkungan. Karena bakteri degradatif dalam jumlah besar di tambahkan ke tempat terkontaminasi itu, efek dari bakteri pada manusia dan lingkungan harus diketahui sebelumnya (Iwamoto, 2001).

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in-situ* atau secara langsung di lapangan pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Subroto, 1996). Fitoremediasi didefinisikan juga sebagai penyerap polutan yang dimediasi oleh tumbuhan termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney dkk., 1995).

Ada beberapa metode fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu metode berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*). Kemampuan akar menyerap kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*)

juga digunakan dalam strategi fitoremediasi. Fitoremediasi juga berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikrobia yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney dkk., 1995).

Menurut Corseuil dan Moreno (2000), mekanisme tumbuhan dalam menghadapi bahan pencemar beracun adalah :

1. Penghindaran (*escape*) fenologis. Apabila pengaruh yang terjadi pada tanaman musiman, tanaman dapat menyelesaikan daur hidupnya pada musim yang cocok.
2. Eksklusi, yaitu tanaman dapat mengenal ion yang bersifat toksik dan mencegah penyerapan sehingga tidak mengalami keracunan.
3. Penanggulangan (*ameliorasi*). Tanaman mengabsorpsi ion tersebut, tetapi berusaha meminimumkan pengaruhnya. Jenisnya meliputi pembentukan khelat (*chelation*), pengenceran, lokalisasi atau bahkan ekskresi.
4. Toleransi. Tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim.

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney dkk., 1995).

2.4 Bakteri Endofit

Endofit merupakan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang tumbuh didalam endosfer tanaman selama siklus hidupnya tetapi tidak menjadi penyebab kerusakan pada tanaman inang yang ditumpanginya (Kandel et al, 2017). Interaksi antara tumbuhan dan mikroba khususnya bakteri endofit, dapat dimanfaatkan dalam proses peningkatan remediasi lingkungan khususnya air dan tanah yang tercemar. Bakteri endofit akan menurunkan toksisitas dan evapotranspirasi dari polutan yang ada di tanaman dengan melakukan aktifitas degradasi oleh bakteri itu, sementara tanaman akan menyediakan nutrisi untuk digunakan oleh bakteri endofit. Tanaman kemudian mengambil dan melakukan akumulasi polutan organik yang berada di akar, daun dan pucuknya. Bakteri akan memainkan peran penting selama pertumbuhan tanaman di lingkungan yang tercemar dalam semua aktifitas tanaman seperti fiksasi nitrogen, produksi siderofor, dan pelarutan fosfor (Shehzadi et al, 2016).

Interaksi kompleks diantara tanaman dengan mikroorganisme terjadi di rizhomer yang merupakan zona dimana akar dan tanah berada. Populasi mikroba di rizhomer akan dipengaruhi oleh pelepasan fotosintat atau eksudat oleh tanaman dalam jumlah besar. Perekrutan bakteri endofit dari rizhomer akan melibatkan eksudat akar termasuk asam organik, asam amino dan protein. Eksudat akar mengandung substrat dimana komunikasi awal antara tanaman inang dan bakteri endofit dimulai sehingga mengarah ke proses kolonisasi. Bukti keterlibatan oksalat dalam perekrutan strain bakteri menguntungkan (*Burkholderia phytofirmans*) oleh tanaman inang sudah dilaporkan adanya (Kost et al, 2014).

2.5 BOD

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah massa oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme di dalam air untuk melakukan dekomposisi bahan organik dalam kondisi anaerobik (Metcalf & Eddy, 1991). Bahan organik yang terurai oleh BOD merupakan bahan organik yang siap terdekomposisi atau disebut juga *readily decomposable organic matter* (Boyd, 1990). BOD juga diartikan sebagai ukuran dari banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme di

perairan sebagai bentuk respon terhadap kandungan bahan organik yang dapat diurai (Mays, 1966).

Metode pengukuran BOD dilakukan secara analitik dengan mengukur kandungan oksigen terlarut awal (*Do_i*) dan oksigen terlarut setelah inkubasi (*DO₅*) menggunakan cara titrasi atau dengan alat yang disebut DO meter dengan *probe* khusus. Oksigen terlarut awal diukur segera setelah pengambilan sampel, sementara *DO₅* diukur pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari dalam kondisi gelap (agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen) di suhu tetap (20°C). Pada inkubasi tersebut terjadi penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai *DO₅*. Kemudian selisih dari *Do_i* dan *DO₅* inilah yang menjadi nilai jumlah BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L) (Atima, 2015).

Perlu ketelitian dalam pengukuran BOD dikarenakan sampel atau perairan yang bervariasi, sehingga kemungkinan diperlukan perlakuan seperti penambahan populasi bakteri, penetralan pH, pengenceran ataupun aerasi. Pengenceran atau aerasi berguna agar masih cukup tersisa oksigen pada hari ke lima. Temperatur 20°C saat inkubasi merupakan temperatur standar dari nilai rata-rata temperatur sungai beraliran lambat di daerah iklim sedang (Metcalf & Eddy, 1991). Untuk daerah Indonesia yang beriklim tropik, temperatur perairan dan untuk inkubasi umumnya berkisar antara 25°C-30°C supaya aktivitas mikroorganisme pengurai lebih optimal (Atima, 2015).

2.6 COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah konsentrasi massa oksigen terlarut yang diperlukan untuk mengurai semua bahan organik yang terkandung di dalam air (Boyl, 1990). COD merupakan parameter penting untuk mengetahui kualitas air. COD menjadi salah satu parameter yang mewakili seberapa besar tingkat pencemaran zat organik di badan air (Li et al, 2018). Metode pengukuran COD dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan khusus reflux dan titrasi kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) atau menggunakan metode spektrofotometri.

Metode titrasi $K_2Cr_2O_7$ dinilai tidak terlalu banyak memakan waktu dan lebih hemat biaya. Namun, keakuratan hasil pengujian COD dapat dipengaruhi oleh kemampuan oksidasi untuk membiaskan zat organik menggunakan oksidan ($K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$). Selain itu, pencemaran sekunder yang disebabkan oleh garam kromium tidak dapat dihilangkan (Li et al, 2018). Kelemahan lain yaitu senyawa kompleks anorganik yang tersebar di badan air juga bisa teroksidasi dalam reaksi tersebut (De Santo, 1978).

Metode pengukuran COD menggunakan spektrofotometri UV-Vis pertama kali digunakan pada tahun 1965 (Ogura, 1965). Metode ini merupakan metode penentuan COD secara tidak langsung karena tidak memerlukan digesti sampel dengan reagen kimia, hanya didasarkan pada regresi model standar yang disediakan oleh metode kimia. Sehingga dapat terhindar dari proses oksidasi yang lama di badan air (Li et al, 2018).

2.7 Amonia

Salah satu indikator parameter pencemar air adalah amonia (NH_3). Di perairan, amonia terdapat dalam 2 bentuk yaitu berupa amonia bebas yang tidak dapat terionisasi (NH_3) dan amonium yang dapat terionisasi (NH_4^+). Amonia bebas (NH_3) bersifat toksik bagi hampir semua organisme di perairan. Penurunan kadar oksigen terlarut, pH dan suhu akan meningkatkan toksisitas amonia di perairan (Effendi, 2003). Beberapa sifat senyawa amonia (NH_3) diantaranya yaitu memiliki titik didih $33,3^\circ C$, tidak bereaksi dengan sebagian besar logam kecuali tembaga jika dicampur dengan air, mempunyai tingkat kelarutan yang tinggi di perairan dan aromanya yang tajam (Afrianto, 1989).

Batas standar amonia dalam kualitas air bersih maksimum adalah 2 mg/L pada pH yang sama atau pH lebih besar dari 8. Konsentrasi amonia bebas (NH_3) pada pH tersebut di air sungai dengan suhu $20^\circ C$ adalah 0,074 mg/L (Alaerts, 1986). Amonia juga akan bersifat toksik dalam tubuh manusia jika jumlah yang masuk melebihi batas yang bisa didetoksifikasi. Beberapa akibat dari masuknya amonia ke dalam tubuh manusia yaitu seperti iritasi pada kulit, mata dan saluran pernafasan hingga resiko tertingginya bisa menyebabkan kematian (Azizah & Humairoh, 2015).

Perlu adanya pengolahan awal pada air limbah sebelum dibuang ke badan air atau perairan agar konsentrasi amonia yang terkandung dalam air limbah tersebut dapat berkurang. Beberapa metode pengolahan yang dapat dilakukan untuk menurunkan konsentrasi amonia yang terkandung dalam air limbah yaitu dengan metode fisik/kimiawi, biologis maupun bisa gabungan dari kedua metode (Sedlak,1991). Metode yang paling sering digunakan untuk menurunkan besarnya kadar amonia di dalam air limbah adalah metode pengolahan secara biologis. Pengolahan secara biologis pada air limbah dilakukan dengan memperhatikan waktu tinggal, kondisi dan konsentrasi polutan tersebut adar mikroorganisme dapat secara maksimal mereduksi polutan yang ada di air limbah tersebut (Ningtias et al, 2015).

2.8 Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

Tanaman akar wangi atau rumput vetiver 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. Secara morfologi, tanaman akar wangi memiliki akar serabut dengan warna kuning pucat atau abu-abu sampai kemerahan (Dwityaningsing et al, 2019). Akar rumput vetiver memiliki sistem yang panjang dan masif secara vertikal, dapat mencapai 2 - 3 meter ditahun pertama dengan diameter 0,5 – 1 mm. Hal ini menjadikan area permukaan yang luas di dalam rizofe untuk pertumbuhan bakteri (Darajah et al, 2019). Karakteristik fisiologis tanaman ini yaitu toleran terhadap cuaca ekstrim dari -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 buruk (Truong et al, 2011).

Di Indonesia, akar wangi dimanfaatkan sebagai penghasil minyak atsiri yang diperoleh dari proses ekstraksi tanaman tersebut, tetapi di luar negri vetiver digunakan untuk memperbaiki lingkungan yang tercemar seperti fitoremediasi di tanah dan air, rehabilitasi lahan bekas pertambangan, stabilisasi tebing dan lain sebagainya (Gunawan dan Kusumaningrum, 2012). Darajah et al. (2014) menyebutkan bahwa dalam beberapa tahun terakhir, peran rumput vetiver menjadi

semakin besar di bidang pengolahan air limbah khususnya dalam mengurangi kandungan BOD, COD dan logam berat karena karakteristik morfologi dan fisiologisnya yang toleran terhadap kondisi lingkungan yang buruk. Alasan lain pemanfaatan rumput vetiver dalam mengatasi permasalahan air limbah yaitu karena kapasitasnya yang besar dalam menyerap zat organik dan logam berat. Pertumbuhan yang cepat dan hasil yang tinggi pada tanaman vetiver juga meningkatkan kemungkinan lebih besarnya pengurangan zat organik dan logam berat dari air dan tanah yang terkontaminasi (Truong et al, 2011).

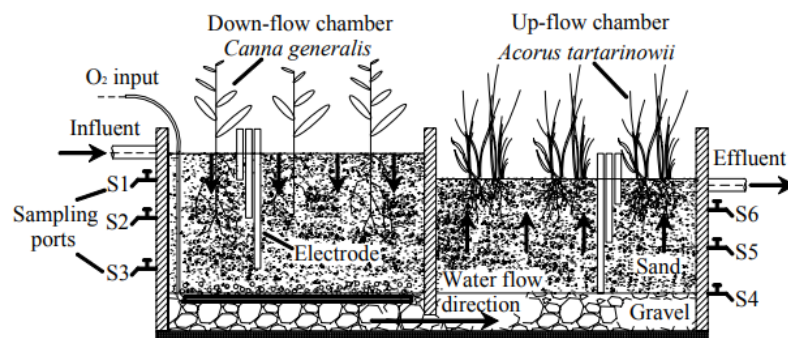
2.9 Aerated Constructed Wetland

Wetland secara garis besar merupakan suatu kondisi lingkungan berupa tanah jenuh air yang ditumbuhi oleh tanaman air tertentu dan pada permukaannya terdapat suatu kelompok mikroorganisme (Cowardin dkk, 1979 dalam Siswoyo, 2002). Sementara itu, CW (*constructed wetland*) diartikan sebagai suatu jenis pengolahan limbah dengan variabel-variabel yang direncanakan, meliputi debit yang mengalir, beban organik tertentu, kedalaman media tanah, air serta bagaimana proses pemeliharaan tanaman selama proses pengolahan. Pengolahan limbah dengan metode CW memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Aktivitas pengolahan yang terjadi yaitu berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan pengolahan biologis yang dihasilkan dari aktivitas mikroorganisme, juga terdapat aktivitas tanaman untuk proses fotosintesis, fotooksida dan *plant uptake* (Metcalf & Eddy, 1993 dalam Siswoyo, 2002).

Ketersediaan oksigen menjadi hal penting, yang mendukung sistem pengolahan pada CW. Sehingga, untuk meningkatkan ketersediaan oksigen, CW sudah dikembangkan menjadi pengolahan air limbah yang lebih efektif dengan memasang sistem aerasi yang mampu memberikan kebutuhan oksigen yang cukup untuk melakukan proses aerobik. Faktor penting lain yang mempengaruhi kinerja CW yaitu seperti jenis aliran, karakteristik substrat, jenis tanaman, HLR (*Hydraulic Loading Rate*) dan temperatur. HLR terkait dengan ketersediaan ruang agar air mengalir melewati CW, menjadi parameter utama dalam mendesain dan mengoperasikan CW. Pengurangan polutan limbah dalam CW ditingkatkan dengan

menurunkan HLR saat HRT (*Hydraulic Retention Time*) atau waktu retensi berkisar antara 4-15 hari (Pascual, 2018).

Pada penelitian Oktober 2006 – September 2007, dioperasikan 4 unit CW (APCW, PCW, ACW dan CW) dengan dimensi yang sama pada semua unit yaitu panjang 3 m, lebar 0,7 m dan kedalaman 1 m. Aerasi diaktifkan ketika konsentrasi oksigen dalam CW dibawah 0,2 mg/L dan berhenti ketika konsentrasi oksigen diatas 0,6 mg/L. Nilai pH basa yang lebih stabil ditemukan pada unit aerasi daripada unit non aerasi. Aerated Planted CW menghasilkan efisiensi removal BOD, NH4 dan TN masing-masing sebesar 94,4%, 89,1% dan 86,0%. Unit ini lebih efektif menghilangkan polutan daripada 3 unit lainnya (Zhang, 2010).



Gambar 2.1 Aerated Constructed Wetland

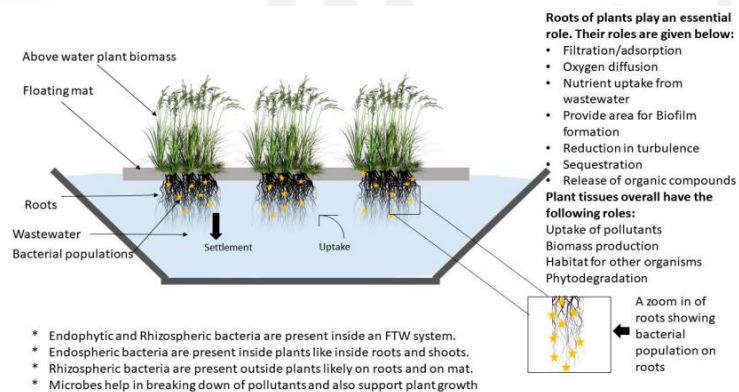
(Sumber : Tao et al, 2010)

2.10 Floating Treatment Wetland

FTW (*Floating Treatment Wetland*) merupakan teknologi pengolahan air limbah yang efektif dan berkelanjutan. Dalam sistem FTW, tanaman ditanam di atas platform yang mengambang di permukaan air, sementara akarnya memanjang ke dalam air yang tercemar dan bertindak sebagai filter biologis. Logam atau elemen yang menjadi pencemar di dalam air akan diserap oleh akar tanaman, sedangkan bahan organik akan didegradasi oleh mikroorganisme membentuk biofilm di akar dan permukaan platform (Shahid et al, 2019).

FTW secara tradisional digunakan untuk mengolah berbagai air limbah seperti limbah cair industri, limbah cair kota, limbah asam tambang dan lain-lain. Tetapi, sistem FTW terbatas dalam beberapa konteks seperti stabilitas yang buruk dan kinerja pemurnian yang kurang efisien. Masalah lain yang muncul yaitu bakteri asli kurang optimal dalam proses degradasi senyawa organik beracun dan kemampuan metabolisme tanaman yang rendah. Maka dari itu dilakukan pendekatan tambahan sebagai upaya meningkatkan efisiensi pengolahan dalam sistem FTW, seperti inokulasi *plant growth promoting* (PGP) atau pemacu pertumbuhan tanaman dan bakteri pendegradasi polutan (Tara et al, 2019).

Daya apung di FTW harus dipertahankan, baik dengan menggunakan kepadatan tanaman yang rendah pada material ataupun dengan menggunakan tanaman yang memiliki paerenchymatous. Struktur terapung dapat dibuat dengan material konstruksi, seperti lembaran poliester, pipa PVC, dan anyaman bambu. Di sisi lain, tanaman helofit lebih baik digunakan dalam merancang FTW karena mereka memiliki kemampuan alami untuk menyerap udara di dalam akarnya, membuatnya mengapung di atas permukaan air. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam merancang struktur terapung yaitu daya tahan, fungsionalitas, berat, sensitivitas lingkungan, penahan, fleksibilitas dan biaya (Shahid et al, 2019).



Gambar 2.2 Floating Treatment Wetland

(Sumber : Wei et al, 2020)

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai pengolahan air limbah menggunakan sistem *aerated constructed wetland* dan *floating treatment wetland* dengan bantuan bakteri dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tahun	Penulis	Hasil Penelitian
1	<i>The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment</i>	2007	Tjasa G. Bulc, Alenka Ojstrsek	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi removal pengolahan limbah cair tekstil dengan sistem constructed wetland untuk parameter COD yaitu sebesar 84%, BOD 66%, TSS 93% dan warna 90% - Penurunan parameter ini disebabkan karena aktivitas biokimia mikroorganismenya dan tanaman. Namun bergantung juga pada komposisi air limbah, desain sistem dan waktu retensi.
2	<i>Bacterial augmented floating treatment wetlands for efficient treatment of synthetic textile dye wastewater</i>	2020	Neeha Nawaz, Shafaqat Ali, Ghulam Shabir, Muhammad Rizwan, Muhammad Bilal Shakoor, Munazzam Jawad	<ul style="list-style-type: none"> - Bakteri yang digunakan untuk mendorong pertumbuhan tanaman dalam FTW yaitu <i>Acinetobacter junii</i>, <i>Rhodococcus sp</i>, and <i>Pseudomonas indoloxydans</i>. - Bakteri menunjukkan populasi pertumbuhan tertinggi dalam air

			<p>Shahid, Muhammad Afzal, Muhammad Arslan, Abeer Hashem, Elsayed, Fathi Abd_Allah, Mohammed Nasser Alyemeni, Parvaiz Ahmad</p>	<p>limbah dibandingkan dengan di akar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengolahan air limbah dalam sistem FTW dengan tanaman <i>P. australis</i> and bacterial consortium menghasilkan efisiensi removal EC, TSS, TDS, COD, BOD dan warna sebesar 83%, 79%, 85%, 90%, 83% dan 85%.
3	<p><i>On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dye-degrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater</i></p>	2019	<p>Nain Tara, Muhammad Arslan, Zahid Hussain, Mazhar Iqbal, Qaisar Mahmood Khan, Muhammad Afzal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - FTW yang bervegetasi dengan tanaman menghilangkan sebagian besar polutan organik dan anorganik dibandingkan dengan FTW yang tidak bervegetasi. Kombinasi antara tanaman dan bakteri juga meningkatkan penurunan kandungan polutan COD sebesar 91%, BOD 92% dan warna 86%. - Persistensi bakteri yang diinokulasi dalam air limbah dan tanaman dihitung dengan metode <i>viable plate count</i>. - Pemeliharaan sistem meliputi pemanenan tanaman dan inokulasi

				bakteri setiap 3 bulan selama masa percobaan, termasuk pemantauan parameter kualitas air limbah.
4	<i>Application of bioremediation process for textile wastewater treatment using pilot plant</i>	2007	A. Idris, R. Hashim, R. Abdul Rahman, W.A. Ahmad, Z. Ibrahim, P.R. Abdul Razak, H. Mohd Zin, I. Bakar	<ul style="list-style-type: none"> - Dalam kondisi aerobik, bakteri mengoksidasi senyawa organik yang terkandung dalam air limbah untuk pertumbuhan sel dan pemeliharaan sel. - Persentase efisiensi removal parameter COD, warna, NH₃-N dan TSS berturut-turut adalah sebesar 98%, 92%, 98,8% dan 89%.
5	<i>Pengolahan limbah cair tenun dengan sistem floating treatment wetland menggunakan kombinasi tanaman vetiver dan bakteri endofit</i>	2020	Nurun Nailis Sa'adah	<ul style="list-style-type: none"> - Reaktor FTW dengan inokulasi bakteri lebih baik dalam meningkatkan efisiensi penurunan limbah. - Penggunaan FTW kombinasi dengan tanaman dan bakteri dapat mereduksi parameter COD sampai 65%, TSS 78% dan warna 94%.
6	<i>Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater</i>	2009	Lie-yu Zhang, Lan Zhang, Yong-ding Liu, Yin-wu Shen, Hao	<ul style="list-style-type: none"> - Terdapat 4 CW yang dioperasikan yaitu aerasi dan tanam (APCW), tanam (PCW), aerasi (ACW) dan CW biasa. Semua

			Liu, Ying Xiong	<p>unit memiliki dimensi yang sama .</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aerasi diaktifkan ketika konsentrasi oksigen dalam unit lebih rendah dari 0,2 mg/L dan berhenti ketika oksigen di CW lebih tinggi dari 0,6 mg/L. - CW aerasi dan tanam (APCW) lebih efektif dalam menghilangkan polutan dari pada tiga jenis lainnya, dengan efisiensi removal BOD 94,4%, NH4-N 89,1 % dan TN 86%.
7	<i>Biodegradation of textile dye effluent through indigenous bacteria</i>	2020	Neha Vishnoi, Sonal Dixit, Yamini Gupta	<ul style="list-style-type: none"> -Bakteri bersifat adaptif dan dapat mendegradasi kontaminan pewarna. Kemampuan ini dipilih untuk menghilangkan pewarna azo dalam pengolahan limbah tekstil. - Semua spesies bakteri yang terisolasi menunjukkan potensi yang signifikan untuk degradasi kandungan limbah. - Penghapusan warna maksimum adalah sekitar 88% pada 668 nm dalam 48 jam dengan isolat bakteri.

8	<p><i>A review of constructed wetland on type, treatment, and technology of wastewater</i></p>	2021	<p>Divyesh Parde, Aakash Patwa, Amol Shukla, Ritesh Vijay, Deepak J.Killedar, Rakesh Kumar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CW dengan HLR rendah memiliki kinerja sangat baik dalam pengolahan air limbah dengan penghilangan BOD sebesar 80%-91%, COD 60%-85% dan TSS 80%-95%. - CW membutuhkan operasi dan perawatan yang sangat rendah dibanding sistem pengolahan yang lain.
9	<p><i>Bioremediation of local textile wastewater using indigeneous bacteria isolater from soil contaminated with dye effluent</i></p>	2018	<p>Zulkarnain Bolaji Sulugambri</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Strain bakteri yang menunjukkan kapasitas removal warna tertinggi disaring dan diidentifikasi sebagai <i>Bacillus licheniformis</i>. - Bakteri tersebut berhasil mereduksi sifat fisiokimia air limbah tekstil seperti BOD, COD, TSS, TDS dan adsorpsi ion logam dibawah batas regulasi dengan enzim Laccase dan Azoreductase dalam biodegradasi pewarna azo. - Efisiensi removal yang dihasilkan adalah 75%, 78%, 60% dan 65% untuk masing-masing BOD, COD, TSS, TDS sedangkan logam Pb, Cd, Cr, Ni maning-masing

				mengalami reduksi 80%, 60%, 67%, 72%.
10	<i>Unjuk kerja reaktor continuous wetland menggunakan tanaman vetiver (Vetivera zizanioides) & bakteri untuk mendegradasi kandungan ammonia, BOD dan COD dari air limbah di industri X Yogyakarta</i>	2019	Dino Rinaldi	<p>- Reaktor continuous dengan menggabungkan sistem floating dan constructed wetland menggunakan rumput vetiver (Vetiveria Zizanioides) dan bakteri mampu mengurangi kandungan Ammonia, COD dan BOD pada air limbah.</p> <p>- Reaktor continuous wetland menggunakan tanaman rumput vetiver serta bakteri dapat mengurangi kandungan Ammonia sebesar 2,69-95.02%, COD 20,55-65,38% dan BOD 1-59,60%.</p>
11	<i>Bioremediation of textile dyes wastewater: Potential of bacterial isolates from a mining soils and wetlands</i>	2018	K. Seifpanahi-Shabani, A. Eyvazkhani, P. Heidari	-Bakteri alami yang tersedia secara lokal menunjukkan efisiensi untuk menghilangkan pewarna, kandungan organik dan pencemar air lainnya dari limbah cair tekstil.
12	<i>Implementation of Floating Treatment Wetlands for textile wastewater management: A review</i>	2020	Fan Wei, Munazzam Jawad Shahid, Ghalia S. H. Alnusairi, Muhammad Afzal, Aziz	-FTW dapat secara efisien menghilangkan partikel padat, bahan organik, pewarna, dan logam berat. FTW hemat biaya namun membutuhkan perawatan dan

			<p>Khan, Mohamed A. El- Esawi, Zohaib Abbas, Kunhua Wei, Ihsan Elahi Zaheer, Muhammad Rizwan, Shafaqat Ali</p>	<p>pemeliharaan yang tepat untuk kinerja jangka panjang.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efek cuaca serta pemilihan jenis tanaman harus diamati untuk menganalisis kinerja FTW di bawah perubahan suhu, curah hujan dan kondisi lingkungan lainnya.
13	<p><i>Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant degradation and plant growth promotion potentials</i></p>	2015	<p>M. Shezadi, K. Fatima, A. Imran, M.S.Mirza, Q.M. Khan, M. Afzal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pada penelitian ini sebanyak 41 bakteri pendegradasi air limbah tekstil diisolasi dari 3 jenis tanaman wetland. - Bakteri endofit ini memiliki kemampuan dalam mendegradasi air limbah tekstil dan meningkatkan aktifitas tanaman sehingga meningkatkan produksi biomassa tanaman.
14	<p><i>Bioremediation of textile effluent for degradation and decolorization of synthetic dyes : A review</i></p>	2018	<p>Pratistha Dwivedi, Rajesh Singh Tomar</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Bakteri mendegradasi pewarna tekstil karena memiliki beberapa enzim pendegradasi pewarna yang penting seperti azoreductase. - Strain bakteri yang menunjukkan hasil yang sangat baik untuk penghilangan pewarna

				mono dan di-azo yang biasa digunakan dalam produksi tekstil yaitu genus <i>Acinetobacter</i> dan <i>Klebsiella</i> .
15	Identifikasi bakteri indigeneous untuk meningkatkan degradasi COD pada pengolahan limbah tenun menggunakan sistem FTW	2021	Khalfina Maharani	<p>- Bakteri <i>indigeneous</i> mempunyai efektifitas yang berbeda-beda dalam mendegradasi parameter COD.</p> <p>- Dari 9 isolat terdapat 5 bakteri yang sangat efektif dalam mendegradasi parameter COD sebesar 83% untuk 2 bakteri, 81%, 79% dan 69%.</p> <p>- 4 bakteri dengan tingkat degradasi COD yang rendah yaitu mendegradasi COD sebesar 54%, 48%, 44% dan 25%.</p>

BAB III

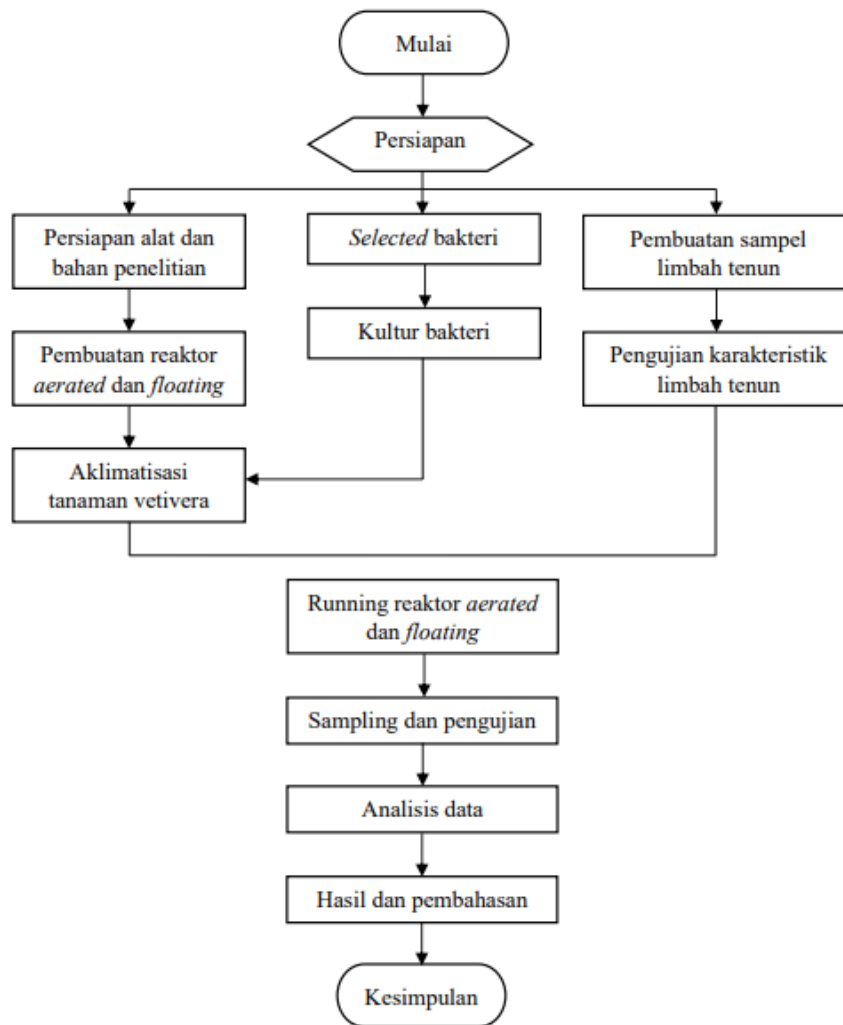
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi yang digunakan sebagai tempat penelitian secara keseluruhan adalah Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan greenhouse. Penelitian ini dilaksanakan pada Maret 2022 sampai September 2022.

3.2 Metode Penelitian

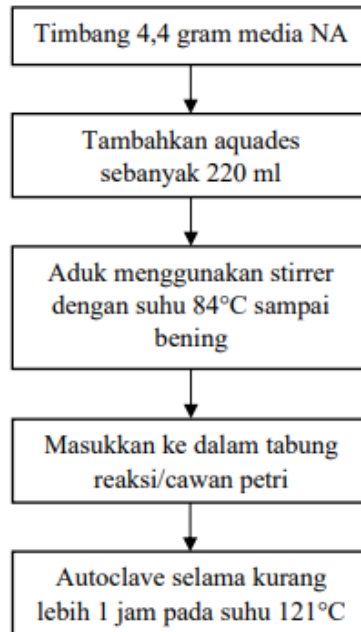
Penelitian ini dilakukan untuk menguji kemampuan sistem *aerated* dan *floating wetland* dengan bakteri endofit dan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) untuk mendegradasi kandungan BOD, COD dan amonia dalam air limbah industri tenun. Metode penelitian dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

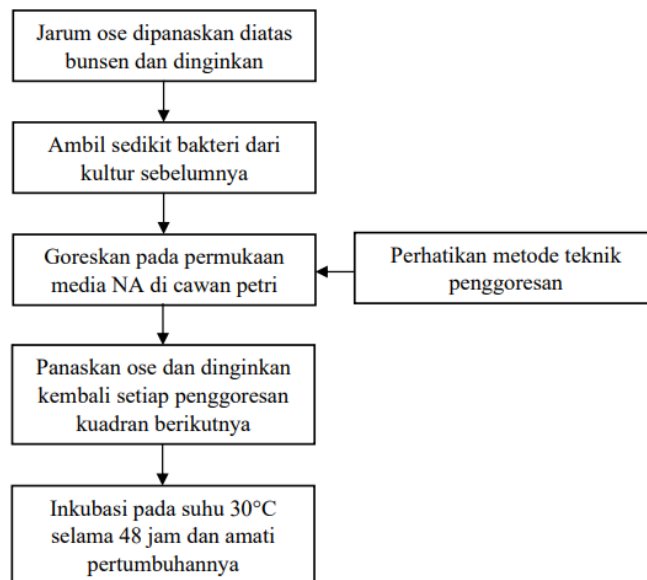
3.3 Inokulasi Bakteri

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 dari penelitian sebelumnya akan diinokulasi terlebih dahulu ke media baru sebelum digunakan untuk penelitian. Inokulasi bakteri dilakukan untuk mendapatkan koloni tunggal dengan menggunakan metode gores atau *streak plate* untuk mengisolasi bakteri di cawan petri sehingga diperoleh koloni terpisah dan biakan murni (Irianto, 2012). Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan dalam proses inokulasi bakteri :



Gambar 3.2 Pembuatan Media NA

(Sumber : Atlas, 2010)

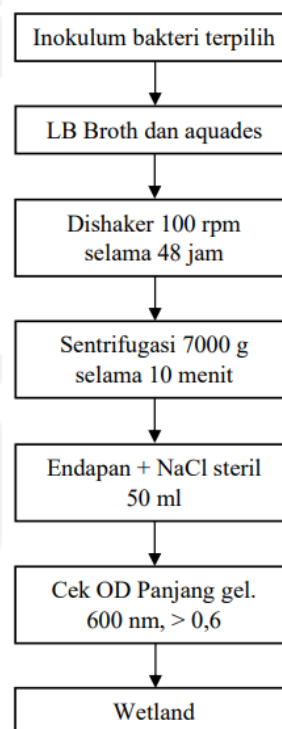


Gambar 3.3 *Streak* Bakteri

(Sumber : Khalfina, 2021)

3.4 Kultur Bakteri

Selanjutnya, inokulum bakteri terpilih dimasukkan ke erlenmeyer yang berisi media (LB) (*Lactose Broth*) dan aquades steril lalu di waterbath dan atau shaker selama 48 jam. Isolat bakteri yang telah diinokulasikan pada media LB menunjukkan terdapat peningkatan kekeruhan. Pemisahan agar dan padatan dilakukan secara centrifuge 7000 g selama 10 menit dan akan terjadi pemisahan antara air agar dan endapan bakteri. Centrifuge digunakan untuk memisahkan cairan atau senyawa yang kepadatannya serta berat molekulnya berbeda. Air agar kemudian dibuang dan endapannya ditambahkan larutan NaCl sebanyak 50 ml lalu dihomogenkan. Kemudian mengambil satu sampel dan dilakukan pengecekan optical density dengan panjang gelombang 600 nm menggunakan spektrofotometer dengan nilai OD >0,6, jika nilai OD 0,6 akan diinokulasikan ke dalam floating treatment wetland (Shehzadi et al, 2015).



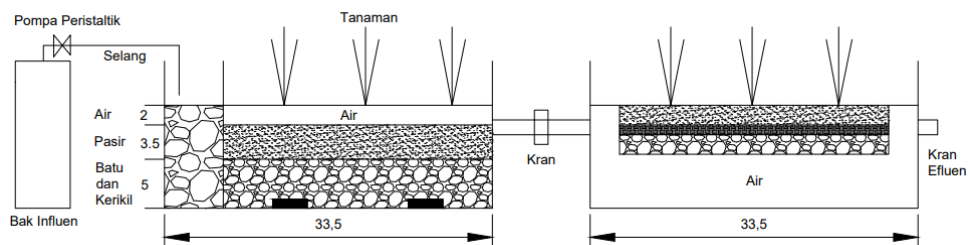
Gambar 3.4 Kultur Bakteri

(Sumber : Khalfina,2021)

3.5 Persiapan Reaktor

3.5.1 Aerated dan Floating Wetland

Reaktor yang digunakan untuk *aerated* dan *floating wetland* terbuat dari box container berbahan dasar plastik dengan volume 10 L (33,5 cm x 22 cm x 15 cm) sedangkan volume air dan media 8,84 L (33,5 cm x 22 cm x 12 cm). Terdapat 2 reaktor dimana reaktor pertama berfungsi sebagai *aerated* dan reaktor kedua berfungsi sebagai *floating wetland*. Diantara kedua reaktor tersebut dipasang pipa dan kran sebagai tempat keluar efluen pertama dan di reaktor *floating* pada ujungnya dipasang kran sebagai tempat keluar efluen terakhir. Debit yang digunakan untuk reaktor yaitu 4,5 ml/menit dengan HRT 2,73 hari. Pompa yang digunakan untuk mengalirkan air limbah dari bak influen ke dalam reaktor yaitu pompa peristaltic. Media didalam reaktor berisi batu kerikil, pasir, dan tanah. Pada volume reaktor 8,84 L, 70% merupakan volume media berisi batu kerikil, pasir dan tanah, sementara 30% merupakan volume air. Berarti volume media adalah 6,2 L dan volume air adalah 2,64 L. Berikut ini merupakan skema reaktor *aerated* dan *floating wetland*:



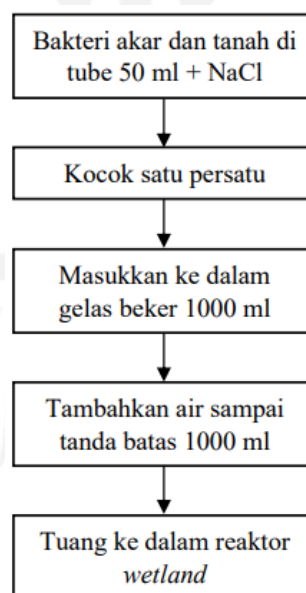
Gambar 3.5 Skema Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland*

Pada bak yang digunakan sebagai *floating wetland* terdiri dari 9 rumpun dengan dimensi lubang 7 cm x 7 cm. Masing-masing rumpun terdiri dari 3 tanaman akar wangi yang diapungkan menggunakan keranjang plastik setebal 6 cm. Jumlah tanaman yang ditanam sebelum aklimatisasi yaitu 54 buah. Tanaman tersebut ditanam dengan komposisi media tanam yaitu kerikil 2 cm, ijuk 1 cm tanah 2 cm, di bagian atasnya.

3.5.2. Aklimatisasi

Sesudah persiapan reaktor *aerated* dan *floating wetland*, selanjutnya tanaman vetiver (*Vetiveria z.*) di aklimatisasi selama 85 hari dari tanggal 26 Maret 2022 – 19 Juni 2022 yang bertujuan untuk mengadaptasi tanaman tersebut ke media dan lingkungan untuk memaksimalkan akar tanaman sebagai pengimplementasian ke air limbah industri tenun. Menurut Rehman et al (2018), proses aklimatisasi pada tanaman vetiver (*Vetiveria z.*) bertujuan untuk membuat tanaman tumbuh dan memiliki akar yang lebih banyak.

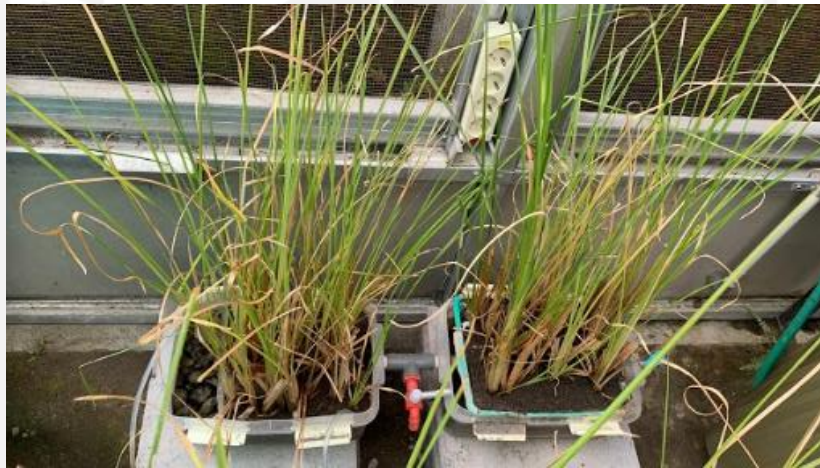
Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan memotong batang tanaman sehingga menyisihkan panjang tanaman sekitar 15 cm. Selain itu aklimatisasi tanaman vetiver dilakukan dengan penambahan pupuk hidroponik setiap 2-3 hari sekali. Pada bulan ketiga aklimatisasi yaitu tanggal 24 Juni 2022 dilakukan penambahan bakteri tanah dan akar yang didapatkan dari penelitian sebelumnya oleh Khalfina (2021) dan Luthfia (2021). Bakteri akan ditambahkan disetiap reaktor dan limbah cair tenun artifisial sebanyak 1000 mL.



Gambar 3.6 Proses Penambahan Konsorsium Bakteri ke Dalam Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland*



Gambar 3.7 Kondisi Tanaman Akar Wangi Awal Aklimatisasi



Gambar 3.8 Kondisi Tanaman Akar Wangi Setelah Aklimatisasi

3.5.3. Running Reaktor dan Sampling

Reaktor *aerated* dan *floating wetland* dijalankan setelah proses kultur bakteri diberikan dan aklimatisasi selesai dilakukan. Pompa peristaltik dengan volt sebesar 3,68 dengan HRT 2,73 hari dan debit 4,5 ml/ menit digunakan untuk memompakan air limbah tenun ke reaktor *aerated* dan *floating wetland*. Running reaktor air limbah dilakukan selama 1 bulan dari 14 Juli 2022 - 14 Agustus 2022. Sampel limbah tenun diambil dari masing-masing kran pada 2 reaktor. Setiap sampling volume air limbah yang diambil pada masing-masing kran yaitu sebanyak 350 ml menggunakan botol sampel berukuran 500 ml. Masing-masing efluen dari kran

akan diuji secara triplo atau menggunakan 3 sampel, sehingga untuk 1 kali pengujian parameter terdapat 6 sampel. Pengujian dilakukan sebanyak 4 kali dan total sampel yang akan diambil yaitu sebanyak 24 sampel.

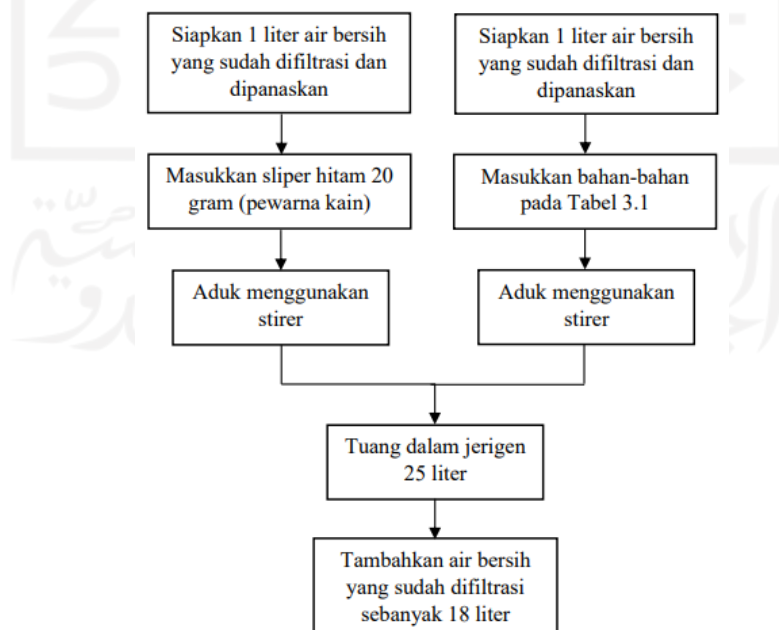
3.6. Pembuatan Air Limbah Tenun

Limbah cair tenun yang akan digunakan dalam penelitian ini didapatkan dengan membuat limbah tersebut secara artifisial dengan bahan utama sliper hitam pewarna benang atau kain. Air limbah tenun buatan dibuat dengan menggunakan bahan-bahan berikut dalam 20 L air bersih yang sudah difiltrasi.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan-Bahan Pembuatan Limbah Tenun Artifisial

No.	Nama Bahan	Satuan	Jumlah
1	Sliper hitam (pewarna kain)	g	20
2	Sodium sulfida (Na_2S)	g	20
3	Natrium benzoat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$)	g	2,143
4	Natrium asetat (CH_3COONa)	g	4,098
5	Amonium nitrat ($\text{NH}_4.\text{NO}_3$)	g	1,8
6	Magnesium klorida ($\text{MgCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$)	g	0,068
7	Kalsium klorida ($\text{CaCl}_2. 2\text{H}_2\text{O}$)	g	0,08

(Sumber : Ong et al, 2010)



Gambar 3.9 Pembuatan Limbah Cair Tenun Artifisial

Alasan penggunaan limbah cair secara artifisial dibandingkan dengan melakukan sampling secara langsung ke industri tenun adalah karena penelitian ini dilakukan secara continuous selama satu bulan. Debit sampel perhari yang dibutuhkan adalah sekitar 6,48 liter per hari untuk 2 reaktor yaitu *aerated* dan *floating wetland*. Sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan sampling karena limbah yang dibutuhkan sangat banyak untuk waktu satu bulan. Selain itu alasan lain dikarenakan tidak adanya industri tenun disekitar wilayah penelitian. Karakteristik air limbah tekstil sendiri memiliki nilai BOD mencapai 80-6000 mg/L dan COD 150-12000 mg/L (Azbar, 2004).

Limbah cair tenun artifisial menggunakan pewarna azo dibuat dengan konsentrasi 50 mg/L, dengan pH limbah sekitar 7,7 (Ong, 2010). Senyawa azo merupakan senyawa organik yang memiliki ikatan azo (-N=N-). Senyawa azo dapat berupa senyawa alifatik atau aromatik. Pada senyawa azo alifatik, kenaikan suhu atau iradiasi selama reaksi mengakibatkan ikatan C-N pecah secara simultan melepaskan gas nitrogen dan radikal (Fessenden, 1984). Sedangkan senyawa azo aromatik lebih stabil akibat perpanjangan konjugasi atom N dengan elektron benzena, mempunyai warna menyala, dan sulit terdegradasi (Adegoke, 2012)

3.7. Pengujian Parameter

Pengujian parameter COD akan dilakukan menggunakan metode refluks tertutup secara spektrofotometri, parameter BOD menggunakan metode dilusi, dan parameter amonia menggunakan metode spektrofotometri secara fenat. Sebelum dilakukan pengujian parameter, terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik air limbah tenun untuk mengetahui konsentrasi awal pada air limbah. Pengujian parameter BOD, COD dan amonia akan dilakukan sebanyak 4 kali pada hari ke 4, 11, 18 dan 25. Untuk parameter harian seperti pH, temperatur, EC, TDS, ORP akan diuji setiap hari selama 1 bulan running reaktor tersebut dan untuk DO akan diuji setiap 1 minggu sekali saat sampling air limbah. Sebelum diuji air limbah tenun hasil sampling akan disaring terlebih dahulu menggunakan membran asetat 0,45 μm . Selain itu hasil pengujian parameter akan dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Permen LHK No. 5 Tahun 2015 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Tabel 3.2 Pengujian Parameter

No.	Parameter	Satuan	Metode	Acuan
1	DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	mg/l	Portable meter	
2	BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	mg/l	DO meter	SNI 6989.72:2009
3	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	mg/l	spektrofotometri refluks tertutup	SNI 6989.02:2009
4	Amonia (NH ₃)	mg/l	spektrofotometri secara fenat	SNI 6989.06:2005
5	pH		Portable pH meter	
6	EC (<i>Electrical Conductivity</i>)	uS/cm		
7	TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	ppm		
8	Temperatur	°C		
9	ORP (<i>Oxidation Reduction Potential</i>)	mV		

3.8 Analisis Removal Polutan

Analisis efisiensi removal pada masing-masing parameter polutan air limbah tenun artifisial dilakukan untuk melihat potensi keberhasilan dari konsorsium bakteri dan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dalam reaktor *aerated* dan *floating wetland* untuk mengolah limbah cair tenun. Setelah dilakukan pengujian parameter BOD, COD dan amonia pada air limbah tenun kemudian akan dilakukan perhitungan efisiensi removal parameter menggunakan rumus berikut ini :

$$\% \text{ Removal Efluen 1} = \left(\frac{\text{Konsentrasi Infuen} - \text{Konsentrasi Sampel}}{\text{Konsentrasi Infuen}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Removal Efluen 2} = \left(\frac{\text{Konsentrasi Efluen 1} - \text{Konsentrasi Sampel}}{\text{Konsentrasi Efluen 1}} \right) \times 100$$

(Sumber : Khalfina, 2021)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Karakteristik Air Limbah

Sebelum dilakukan running reaktor air limbah, tanaman dalam reaktor sudah aklimatisasi selama kurang lebih 3 bulan dengan pemberian pupuk setiap 2-3 hari sekali. Setelah dilakukan aklimatisasi kemudian ditambahkan bakteri akar dan bakteri tanah ke dalam reaktor. Bakteri yang akan digunakan dalam reaktor ini dipilih karena memiliki presentase removal yang paling besar berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Khalфина (2021) dan Luthfia (2021).

Tabel 4.1 Morfologi dan Presentasi Removal Bakteri Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

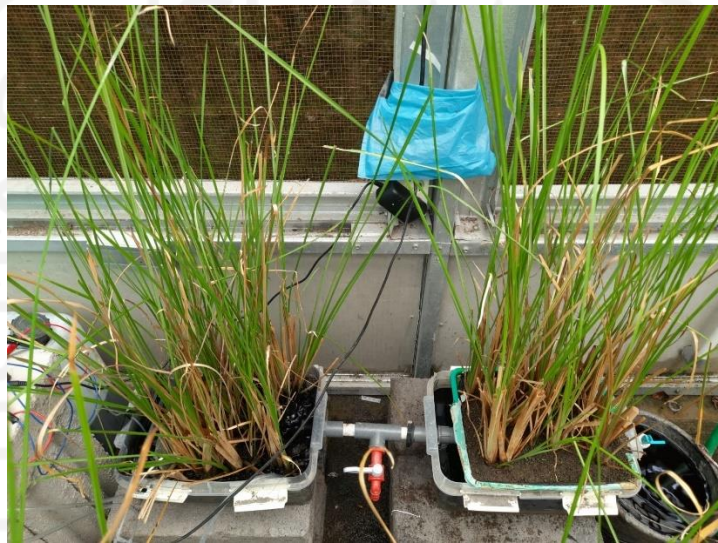
No.	Bakteri	Jenis Gram	Bentuk Sel	Persentase Removal
1	Ra-2	Negatif	<i>Bacillus</i>	91%
2	Ra-7	Positif	<i>Bacillus</i>	79%
3	Ra-8	Positif	<i>Bacillus</i>	65%
4	Rb-2	Negatif	<i>Coccus</i>	83%
5	Sb-1	Positif	<i>Coccus</i>	81%
6	Sb-2	Positif	<i>Coccus</i>	83%
7	Sb-3	Positif	<i>Bacillus</i>	83%
8	Sc-1	Positif	<i>Bacillus</i>	69%

Pengujian karakteristik influen awal sebelum running dilakukan setelah pembuatan limbah artifisial dan penambahan bakteri ke dalam reaktor. Berdasarkan pengujian karakteristik influen didapatkan konsentrasi parameter air limbah tenun sebagai berikut :

Tabel 4.2 Karakteristik Air Limbah Tenun Artifisial

Hari ke-	Konsentrasi Parameter			Satuan
	BOD	COD	Amonia	
0	51,33	31.477,78	3,07	mg/l
6	51,33	22.033,33	2,75	mg/l
14	36,5	1.056,11	2,98	mg/l
20	6,83	1.072,78	5,35	mg/l

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



Gambar 4.1 Reaktor dan Air Limbah Tenun

4.2. Kondisi Reaktor

Pada saat pengujian reaktor diletakkan di rumah kaca untuk menjaga kondisi lingkungan sehingga pertumbuhan tanaman dan akar dapat maksimal. Sinar matahari dapat masuk ke dalam rumah kaca secara optimal untuk membantu tanaman melakukan proses fotosintesis. Proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen akan membantu bakteri dalam pendegradasian kandungan organik dalam air limbah.

Sebelum dilakukan proses running reaktor air limbah tenun menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dilakukan pengukuran tanaman dan akar terlebih dahulu. Tinggi tanaman rata-rata sebelum pengujian pada reaktor *aerated* yaitu 71,7 cm dengan panjang minimum 50 cm dan maksimum 87 cm. Untuk reaktor *floating* panjang rata-ratanya yaitu 73 cm dengan panjang minimum 35 cm dan maksimum 106 cm. Panjang akar pada reaktor *floating* sebelum running yaitu rata-rata 15,4

cm. Tinggi tanaman rata-rata setelah pengujian pada reaktor *aerated* yaitu 88,5 cm dengan panjang minimum 58 cm dan maksimum 131 cm. Untuk reaktor *floating* panjang rata-ratanya yaitu 85,2 cm dengan panjang minimum 40 cm dan maksimum 131 cm. Panjang akar pada reaktor *floating* setelah pengujian yaitu rata-rata 18,8 cm. Keberadaan mikroorganisme di akar dapat membantu mempercepat pertumbuhan tanaman (Cakmaci et al, 2006). Total tanaman mati sebelum dan sesudah pengujian yaitu 11 buah.

Tabel 4. 3 Tinggi Tanaman Sebelum Pengujian

No.	Reaktor	Rumpun	Tinggi Tanaman	Panjang Akar	Warna	
					Hijau	Kuning
1	<i>Aerated</i>	B11	78,5	-	2	1
2		B12	80		3	-
3		B13	64		2	1
4		B14	71,5		2	1
5		B15	71		2	1
6		B16	69		3	-
7		B17	72,7		3	-
8		B18	74,5		2	1
9		B19	65		3	-
10	<i>Floating</i>	B21	70	15,4	2	1
11		B22	65		2	1
12		B23	86		2	1
13		B24	85,7		3	-
14		B25	60		1	2
15		B26	81		3	-
16		B27	57,5		2	1
17		B28	54,7		3	-
18		B29	90,5		2	1

Tabel 4. 4 Tinggi Tanaman Diakhir Pengujian

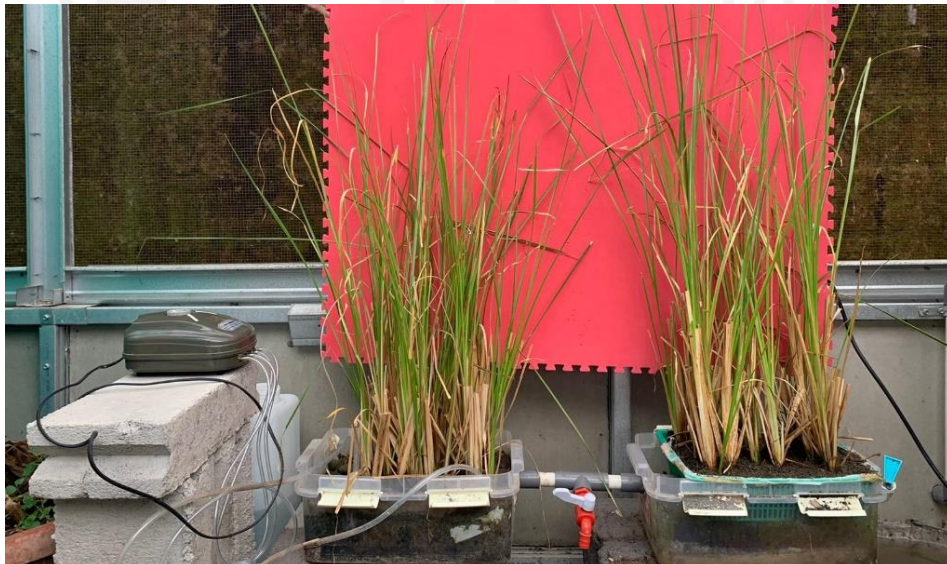
No.	Reaktor	Rumpun	Tinggi Tanaman	Panjang Akar	Warna	
					Hijau	Kuning
1	<i>Aerated</i>	B11	86	-	2	1
2		B12	92		3	-
3		B13	74		2	1
4		B14	80,5		2	1
5		B15	80,5		2	1
6		B16	75,7		3	-
7		B17	79,7		3	-
8		B18	82,5		2	1
9		B19	80		3	-
10	<i>Floating</i>	B21	79	18,8	2	1
11		B22	68,5		2	1
12		B23	89		2	1
13		B24	83		3	-
14		B25	93		1	2
15		B26	115		3	-
16		B27	59,5		2	1
17		B28	68,3		3	-
18		B29	109		2	1



Gambar 4.2 Akar Pada Reaktor *Floating* Sebelum *Running*



Gambar 4.3 Akar Pada Reaktor *Floating* Sebelum *Running*

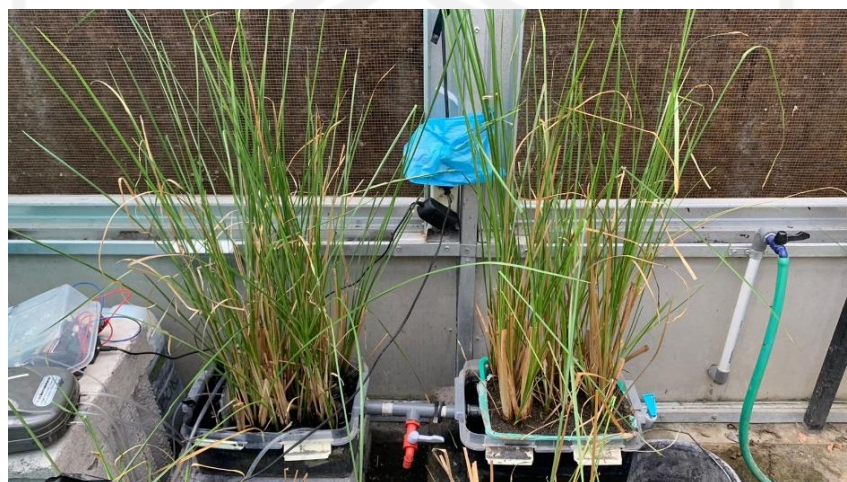


Gambar 4.4 Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating* Sebelum *Running*

Pertumbuhan tanaman dan akar ini disebabkan karena proses aklimatisasi. Menurut Rehman et al (2018), proses aklimatisasi pada tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) bertujuan untuk membuat tanaman tumbuh dan memiliki akar yang lebih banyak. Akar pada tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dapat meningkatkan proses degradasi bahan organik di dalam air limbah sehingga dapat menurunkan kadar BOD, COD dan Amonia. Bahan organik yang menempel pada akar tanaman akan didegradasi oleh bakteri yang ada (Ristianingsih, 2018).



Gambar 4.5 Akar Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor *Floating* Setelah *Running*

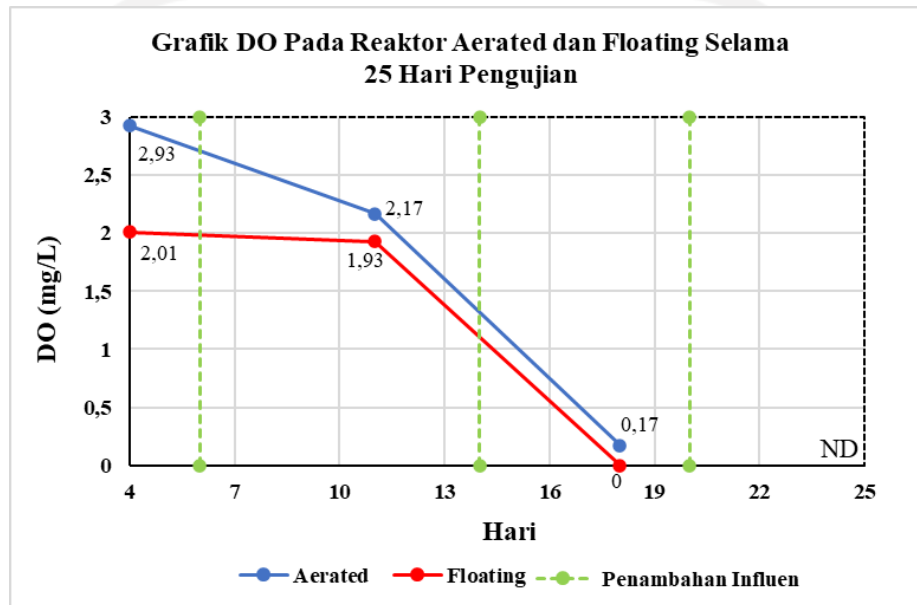


Gambar 4.6 Tanaman Akar Wangi Pada Reaktor Setelah *Running*

4.3. Analisis Parameter

4.3.1. DO (Dissolved Oxygen)

Data hasil pengujian parameter oksigen terlarut (DO) pada air limbah tenun menggunakan bantuan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dan bakteri dalam reaktor *aerated* dan *floating wetland* selama 25 hari dapat dilihat dalam grafik dibawah ini:



Gambar 4.7 Grafik Pengujian DO Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian

Keterangan : ND = *Not Detected*

Berdasarkan data grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi DO pada minggu pertama yaitu sebesar 2,93 mg/l pada reaktor *aerated* dan 2,01 mg/l pada reaktor *floating*. Pada minggu kedua terjadi penurunan kadar DO menjadi 2,17 mg/l pada reaktor *aerated* dan 1,93 mg/l pada reaktor *floating*. Sementara pada minggu ketiga penurunan nilai DO secara signifikan terjadi pada reaktor *aerated* dan *floating* menjadi hanya sebesar 0,17 mg/l sementara untuk reaktor *floating* kadar DO sudah tidak terbaca karena nilainya 0.

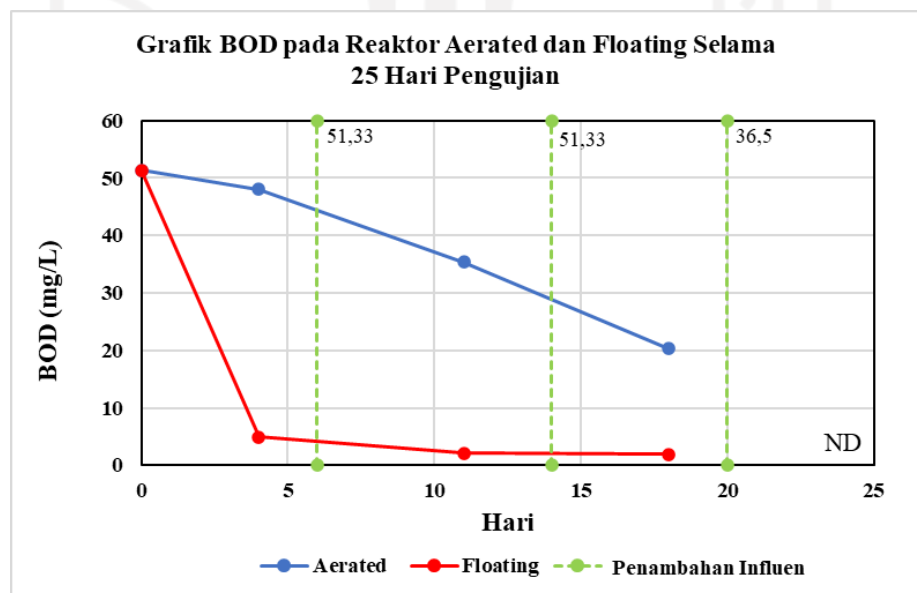
Pada penelitian yang dilakukan oleh Boonsang dan Monchai (2008) menyebutkan bahwa nilai DO yang tinggi terjadi jika tidak ada yang menghalangi

cahaya matahari dan udara masuk ke dalam kolam air. Tinggi rendahnya nilai DO juga dipengaruhi oleh faktor tanaman, karena semakin banyak tanaman maka nilai DO semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh berbagai mikroorganisme yang hidup di akar tanaman menggunakan oksigen untuk mendegradasi kandungan bahan organik (Omokeyeke et al, 2013).

Menurut penelitian oleh Swingle (1968) kandungan oksigen terlarut minimal dalam perairan adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh polutan yang beracun atau senyawa toksik. Jumlah oksigen terlarut tersebut sudah cukup untuk mendukung kehidupan organisme. Sementara itu penelitian oleh Huet (1970) menyebutkan bahwa kandungan DO tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan 70%.

4.3.2. BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Data hasil pengujian parameter BOD pada air limbah tenun menggunakan bantuan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dan bakteri dalam reaktor *aerated* dan *floating wetland* selama 25 hari dapat dilihat dalam grafik dibawah ini :



Gambar 4.8 Grafik Pengujian BOD Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa pada minggu pertama (hari 4) kadar BOD pada reaktor *aerated* mengalami penurunan konsentrasi dari influent awal sebesar 51,33 mg/L menjadi 48 mg/L. Sementara itu, kadar BOD pada efluen dari reaktor *floating* juga mengalami penurunan menjadi 4,90 mg/L. Pada minggu kedua (hari 11) kadar BOD pada reaktor *aerated* masih mengalami penurunan konsentrasi dari influent awal sebesar 51,33 mg/L menjadi 35,33 mg/L. Untuk effluent dari reaktor *floating* mengalami penurunan konsentrasi menjadi 2,07 mg/L. Penurunan nilai BOD disebabkan karena aktivitas tanaman dan mikroorganisme yang terjadi di dalam reaktor. Tanaman menghasilkan oksigen yang akan dimanfaatkan oleh bakteri didalam limbah sehingga beban organik dan konsentrasi BOD akan menurun (APHA, 1992). Selain itu penurunan konsentrasi BOD juga disebabkan karena proses lain yang terjadi di dalam reaktor, seperti oksidasi, predasi, adsorpsi, filtrasi, asimilasi nutrien dan penyinaran UV (Ranti et al, 2020).

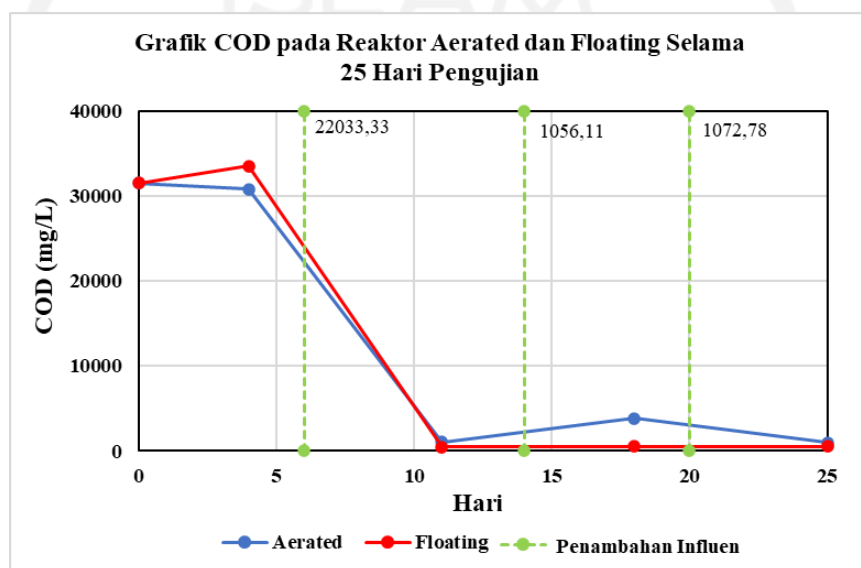
Pada minggu ketiga (hari 14) dilakukan penambahan influen air limbah ke dalam reaktor. Limbah influen yang dipakai pada minggu ke 3 merupakan limbah yang berasal dari efluen reaktor minggu ke 1 dan 2. Pengujian pada minggu ke-3 (hari ke 18) didapatkan penurunan konsentrasi BOD pada reaktor *aerated* menjadi sebesar 20,33 mg/L dan BOD effluent dari reaktor *floating* menjadi 1,93 mg/L. Konsentrasi BOD pada reaktor *aerated* dan *floating* ini mengalami penurunan jika dibandingkan dengan karakteristik BOD pada limbah influen minggu ke-3 yaitu sebesar 36,5 mg/L. Nilai BOD minggu ke 4 (hari 25) sudah tidak terbaca salah satunya disebabkan karena influen minggu ke 4 yang dipakai merupakan hasil efluen reaktor pada minggu ke 1-3 sehingga saat diuji nilainya sudah tidak terdeteksi karena sudah mengalami beberapa kali proses di dalam reaktor. Menurut Ristianingsih (2018) sistem *floating wetland* dapat mendegradasi kandungan polutan dalam air limbah sehingga dapat mencapai nilai baku mutu.

Berdasarkan hasil pengujian BOD pada limbah tenun diatas, bila dicocokkan dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Permen LHK No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah kadar maksimum BOD yaitu sebesar 60 mg/L. Dari hasil pengujian sampling didapatkan nilai BOD terbesar yaitu 51,33 mg/L dan nilai

efluen BOD terkecil yaitu 1,93 mg/L, hal ini berarti air limbah tenun masih berada dibawah nilai baku mutu dan masih sesuai dengan peraturan.

4.3.3. COD (Chemical Oxygen Demand)

Data hasil pengujian parameter COD pada air limbah tenun menggunakan bantuan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dan bakteri dalam reaktor *aerated* dan *floating wetland* selama 25 hari dapat dilihat dalam grafik dibawah ini :



Gambar 4.9 Grafik Pengujian COD Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria Zizanioides* dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa pada minggu ke-1 (hari 4) kadar COD pada reaktor *aerated* mengalami penurunan konsentrasi dari influent awal sebesar 31.477,78 mg/L menjadi 30.794,44 mg/L. Tetapi kadar COD pada effluent dari reaktor *floating* mengalami kenaikan menjadi 33.516,67 mg/L. Penurunan kadar COD pada reaktor *aerated* menunjukkan bahwa bakteri didalam reaktor memiliki kemampuan dalam melakukan proses metabolisme dengan memanfaatkan senyawa yang berada dalam air limbah (Patria, 2011). Kenaikan nilai COD pada reaktor *floating* dapat dipengaruhi oleh perkembangbiakan bakteri yang memicu kompetisi sehingga menyebabkan proses degradasi kandungan COD

menjadi menurun, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Miwada et al (2006).

Pada hari ke 6 terjadi penambahan influent dengan konsentrasi COD sebesar 22.033,33 mg/L. Pengujian sampel air limbah tenun pada minggu kedua (hari 11) didapatkan konsentrasi sebesar 1065,55 mg/L pada reaktor *aerated* dan 514,16 mg/L pada reaktor *floating*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD dari influent ke efluen reaktor *aerated* dan *floating*. Penurunan kadar COD ini dipengaruhi karena adanya kombinasi mekanisme fisik dan bakteri dalam air limbah dengan memanfaatkan tanaman akar wangi. Mekanisme yang dilakukan oleh tanaman akar wangi yaitu filtrasi oleh akarnya sehingga memungkinkan padatan yang terjebak dalam akar tanaman mengalami proses degradasi kandungan organik yang lebih maksimal (Darajah et al, 2016).

Pada hari ke 14 terjadi penambahan influent dengan konsentrasi COD sebesar 1056,11 mg/L. Pengujian sampel air limbah tenun minggu ketiga (hari 18) terjadi kenaikan nilai COD pada reaktor *aerated* yaitu menjadi sebesar 3875 mg/L. Hal ini dapat disebabkan karena kondisi bakteri yang mulai jenuh sehingga mengakibatkan pendegradasian air limbah oleh akar tanaman dan bakteri tidak terlalu baik, selain itu jumlah populasi mikroba yang semakin banyak juga dapat memicu kompetisi antar mikroorganisme dan kondisi ini dapat dipengaruhi juga oleh waktu tinggal bakteri pada akar tanaman (Miwada et al, 2006). Namun efluen pada reaktor *floating* mengalami penurunan konsentrasi COD menjadi 555,83 mg/L. Penurunan nilai COD disebabkan karena secara alamiah terdapat proses penguraian senyawa organik dan penyerapan oleh tanaman terhadap limbah (Rachmawan, 2019). Selain itu, akar pada tanaman juga menjadi peran utama dalam mengurangi kandungan COD (Gunawan, 2009).

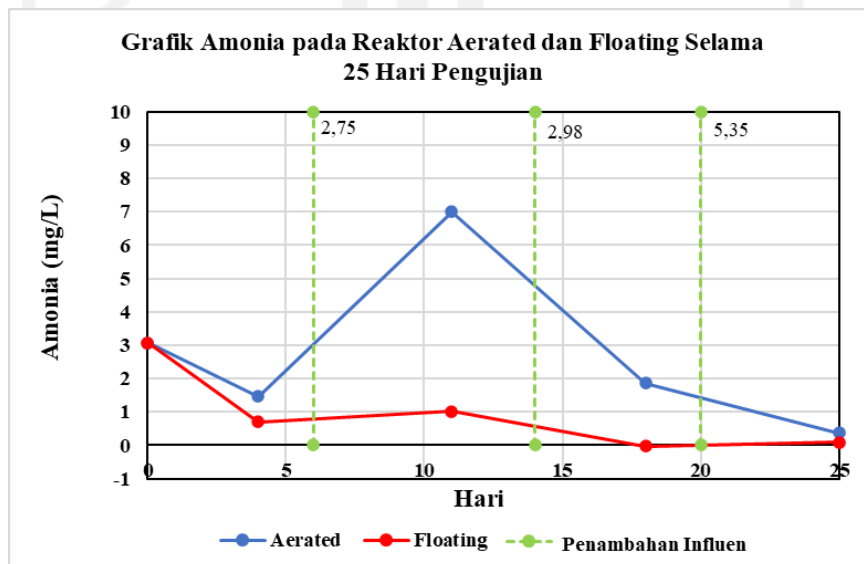
Pada hari ke 20 terjadi penambahan influent dengan konsentrasi COD sebesar 1072,77 mg/L. Pengujian sampel air limbah tenun minggu keempat (hari 25) terjadi sedikit penurunan nilai COD pada reaktor *aerated* yaitu menjadi sebesar 1011,66 mg/L serta penurunan nilai COD secara signifikan terjadi pada reaktor *floating* yaitu menjadi sebesar 564,16 mg/L. Hal ini membuktikan bahwa pengolahan limbah dengan menggunakan kombinasi antara bakteri dan tanaman vetiver dapat bekerja

secara optimal dalam mendegradasi zat organik yang terkandung dalam limbah tenun. Penurunan ini dapat disebabkan oleh aktivitas enzimatik gabungan dari bakteri dan tanaman untuk mengubah bahan organik menjadi metabolit sederhana seperti yang dijelaskan pada penelitian oleh (Kabra et al, 2012 dan Khandare et al, 2013).

Berdasarkan hasil pengujian COD pada limbah tenun diatas, bila dicocokkan dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Permen LHK No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah kadar maksimum COD yaitu sebesar 150 mg/L. Dari hasil pengujian sampling didapatkan nilai COD terbesar yaitu 33.516,67 mg/L dan nilai COD terkecil pada efluen yaitu 514,16 mg/L, hal ini berarti air limbah tenun tidak memenuhi baku mutu yang ada.

4.3.4. Amonia (NH₃)

Data hasil pengujian parameter Amonia pada air limbah tenun menggunakan bantuan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dan bakteri dalam reaktor *aerated* dan *floating wetland* selama 25 hari dapat dilihat dalam grafik dibawah ini :



Gambar 4.10 Grafik Pengujian Amonia Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri Selama 25 Hari Pengujian

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa pada minggu ke-1 (hari 4) kadar Amonia pada reaktor *aerated* mengalami penurunan konsentrasi dari influen awal sebesar 3,0722 mg/L menjadi 1,46 mg/L. Konsentrasi Amonia juga menurun pada reaktor *floating* menjadi 0,697 mg/L. Faktor yang mempengaruhi penurunan konsentrasi amonia dalam air limbah di reaktor yaitu salah satunya waktu kontak dan bakteri (Nurtana, 2018). Pada minggu ke-2 (hari 11) konsentrasi amonia mengalami peningkatan dibagian reaktor *aerated* dari kadar influen sebesar 2,7497 mg/L mengalami kenaikan menjadi 6,9950 mg/L. Namun mengalami penurunan saat di reaktor *floating* dengan kadar amonia menjadi 1,0140 mg/L. Peningkatan dan penurunan kadar amonia dapat disebabkan karena penambahan influen pada hari ke 6.

Pada minggu ke-3 (hari 18) terjadi penambahan influen air limbah ke dalam reaktor, konsentrasi amonia pada reaktor *aerated* mengalami penurunan dari konsentrasi influen ke 3 sebesar 2,9862 menjadi 1,8577 mg/L. Pada reaktor *floating* konsentrasi amonia turun dengan hasil dibawah standar yaitu -0,0243 mg/L. Hal ini dapat disebabkan karena influen yang dipakai pada minggu ke-3 merupakan hasil gabungan effluent reaktor pada minggu ke 1 dan 2 sehingga nilai amonia pada reaktor *floating* tidak terbaca. Hasil grafik yang tidak seimbang dalam pembacaan efisiensi penurunan kadar amonia juga dapat disebabkan karena beban pencemar pada air limbah selalu berubah (Kholif & Sugito, 2020).

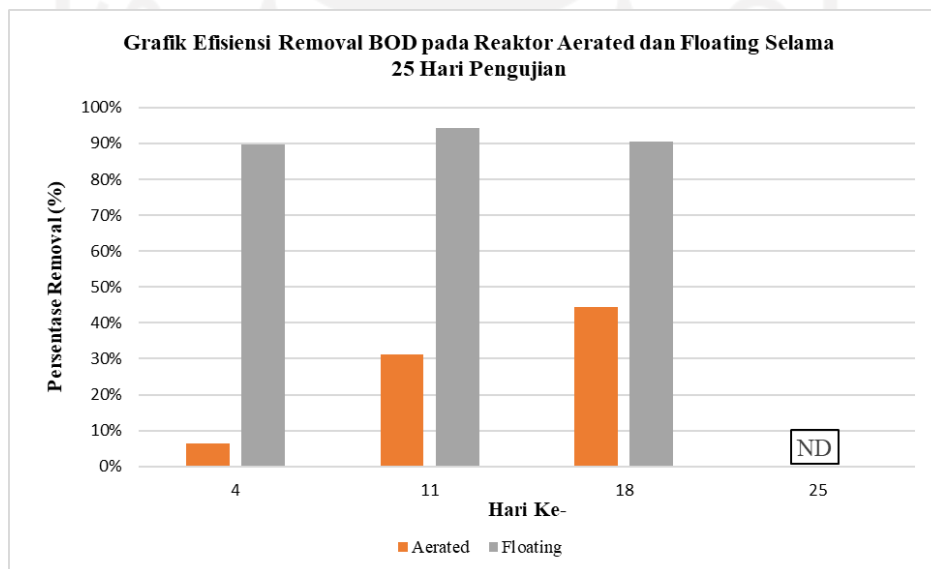
Pada minggu ke-4 (hari 25) terjadi penambahan influen air limbah ke dalam reaktor. Konsentrasi awal influen tersebut yaitu sebesar 5,3506 mg/L dan mengalami penurunan kadar pada reaktor *aerated* menjadi 0,3782 mg/L. Penurunan konsentrasi ini juga terjadi di reaktor *floating* dengan konsentrasi menjadi 0,096 mg/L. Jika dibandingkan diantara keempat minggu tersebut maka removal amonia paling baik terletak di minggu terakhir atau minggu ke-4 (pengujian hari 25). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Masturah dkk (2014) menyebutkan jika penyerapan senyawa organik dapat lebih maksimal jika masa tumbuhan tinggal didalam reaktor semakin lama.

Berdasarkan hasil pengujian Amonia pada limbah tenun diatas, bila dicocokkan dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Permen LHK No. 5 Tahun

2014 tentang Baku Mutu Air Limbah kadar maksimum Amonia yaitu sebesar 8 mg/L. Dari hasil pengujian sampling didapatkan nilai Amonia terbesar yaitu 5,3506 mg/L, hal ini berarti air limbah tenun masih berada dibawah nilai baku mutu dan masih sesuai dengan peraturan.

4.4. Efisiensi Removal Parameter

Perhitungan presentase removal dari parameter BOD, COD dan Amonia pada reaktor *aerated* dan *floating wetland* digunakan sebagai perbandingan efektifitas pengolahan air limbah tenun atau sebagai perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Dari presentase removal dapat diketahui efektifitas dari tanaman vetiver (*Vetiveria z.*) dan bakteri dalam mereduksi kandungan parameter pada air limbah tenun dalam sistem lahan basah buatan metode *aerated* dan *floating*.

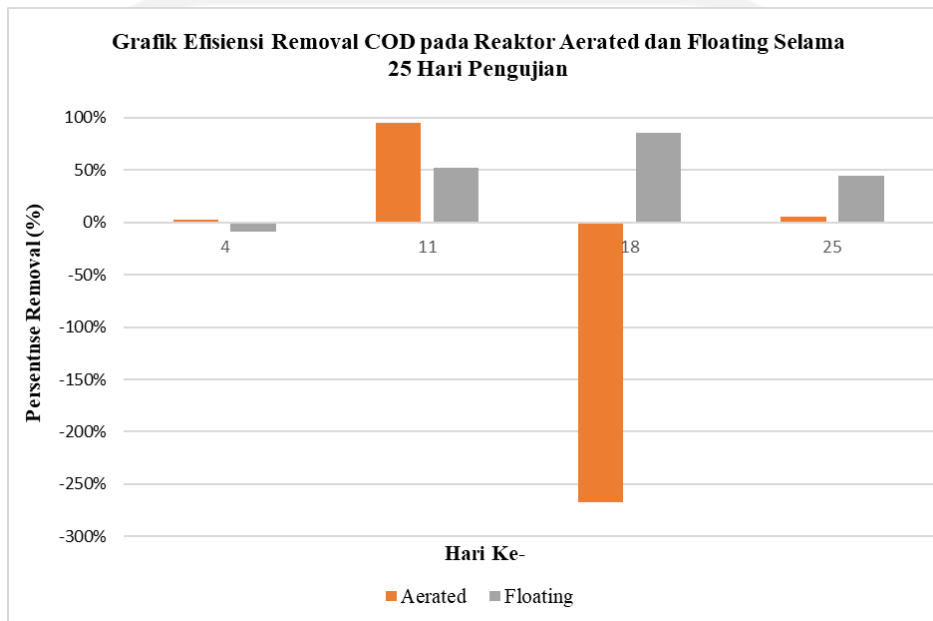


Gambar 4.11 Grafik Persentase Efisiensi Removal BOD Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating*

Keterangan : ND = *Not Detected*

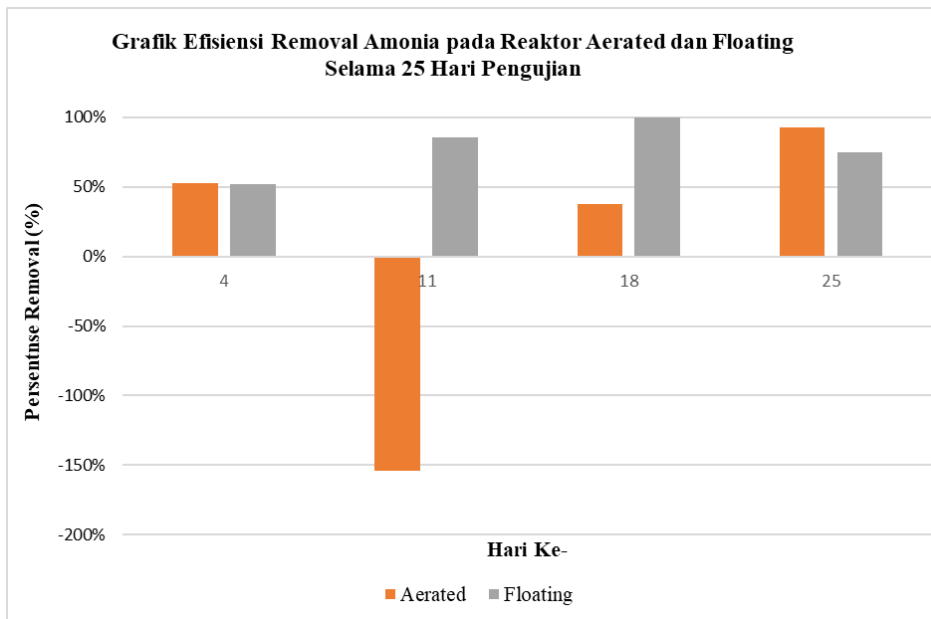
Pada minggu ke-1 reaktor *aerated* menunjukkan presentase removal dari parameter BOD yaitu 6,49% dan *floating* yaitu 89,79%, minggu ke-2 sebesar 31,17% pada reaktor *aerated* dan 94,15% pada reaktor *floating* dan minggu ke-3 menunjukkan penurunan removal sebesar 44,29% pada reaktor *aerated* dan 90,49%

pada reaktor *floating*. Menurut penelitian oleh Parde dkk (2021), *constructed wetland* memiliki nilai penyisihan BOD sebesar 80%-91%. Penelitian lain dari Rehman dkk (2018), sistem kerja pengolahan limbah menggunakan *batch* dan metode *floating* dengan bantuan bakteri dan tanaman dapat memaksimalkan pendegradasian senyawa polutan sekitar 86%-97%.



Gambar 4.12 Grafik Persentase Efisiensi Removal COD Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating*

Pada minggu ke-1 reaktor *aerated* menunjukkan presentase removal dari parameter COD yaitu 2,17% dan *floating* tidak menunjukkan adanya removal COD dikarenakan konsentrasinya lebih besar daripada karakteristik. Pada minggu ke-2 presentase removal yang terjadi sebesar 95,16% pada reaktor *aerated* dan 51,75% pada reaktor *floating*. Pada minggu ke-3 reaktor *aerated* tidak mengalami removal dan pada reaktor *floating* terjadi removal sebesar 85,66%. Pada minggu ke-4 presentase removal yang terjadi sebesar 5,70% pada reaktor *aerated* dan 44,23% pada reaktor *floating*. Menurut penelitian oleh Khalfina (2021), pendegradasian COD dalam reaktor yaitu maksimal 83% dengan bantuan bakteri yang paling aktif. Penelitian lain dari Rehman (2018), presentase removal COD berkisar 80%-93% dengan penambahan bakteri pada reaktor.



Gambar 4.13 Grafik Presentase Efisiensi Removal Amonia Pada Reaktor *Aerated* dan *Floating*

Reaktor *aerated* dan *floating wetland* dengan menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) dan bakteri menunjukkan penurunan kadar amonia di minggu pertama sebesar 52,48% pada reaktor *aerated* dan 52,26% pada reaktor *floating*, pada minggu ke-2 tidak terjadi removal parameter amonia di reaktor *aerated*, namun terjadi penurunan kadar amonia sebesar 85,50% pada reaktor *floating*, pada minggu ke-3 removal amonia sebesar 37,79% pada reaktor *aerated* dan 100% pada reaktor *floating*, terakhir pada minggu ke-4 sebesar 92,93% pada reaktor *aerated* dan 74,61% pada reaktor *floating*. Penelitian oleh Badejo (2018) menyebutkan presentase degradasi untuk parameter amonia yaitu 80%-100%. Menurut Idris dkk (2007), presentase efisiensi removal parameter amonia yaitu 98,8%.

Dari ketiga presentase removal parameter BOD, COD dan Amonia dalam air limbah tenun menggunakan bantuan bakteri dan tanaman akar wangi (*Vetiveria z.*) pada reaktor *aerated* dan *floating wetland* didapatkan presentase yang paling tinggi dalam removal yaitu parameter Amonia. Data presentase removal ketiga parameter ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian berikutnya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan reaktor *continuous* menggabungkan *aerated* dan *floating wetland* dengan menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan konsorsium bakteri, didapatkan hasil bahwa konsentrasi parameter BOD, COD dan Amonia pada air limbah tenun menurun. Hal ini menunjukkan jika sistem *aerated* dan *floating wetland* memiliki kemampuan yang baik dalam pengolahan limbah cair tenun dengan mendegradasi kandungan parameter pencemar maupun bahan organik di dalam air limbah tersebut.

Efisiensi removal untuk parameter BOD pada reaktor *aerated* adalah 6,45% - 44,29% dan untuk reaktor *floating* adalah 89,79% - 94,15%. Untuk parameter COD efisiensi removal pada reaktor *aerated* adalah 2,17% - 95,16% dan untuk reaktor *floating* adalah 44,23% - 85,66%. Sedangkan untuk parameter amonia efisiensi removal pada reaktor *aerated* adalah 37,79% - 92,93% dan untuk reaktor *floating* adalah 52,26% - 100%. Jika dibandingkan dengan baku mutu air limbah berdasarkan Permen LHK No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah kadar BOD maksimal yaitu 60 mg/L, COD 150 mg/L dan amonia 8 mg/L, maka kadar BOD dan Amonia masih dibawah baku mutu tetapi untuk parameter COD sudah melebihi baku mutu air limbah industri.

5.2. Saran

1. Berdasarkan hasil pengujian parameter COD pada air limbah tenun selama 25 hari diperlukan pengolahan air limbah lebih lanjut untuk mendegradasi konsentrasi COD agar dapat memenuhi baku mutu dari Permen LHK No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

2. Penelitian dilakukan menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) atau tanaman lain yang dapat lebih baik dalam mendegradasi polutan serta pemilihan isolat bakteri endofit yang lebih efisien dan memiliki jangka waktu yang lebih lama sehingga removal polutan dalam air limbah bisa lebih maksimal dan memenuhi baku mutu dari Permen LHK No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.



DAFTAR PUSTAKA

- Adegoke, O.A. 2012. **Chemical Derivatization Methodologies For Uv-Visible Spectrophotometric Determination Of Pharmaceuticals.** *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 14(2): 6-24.
- Afrianto, E. 1989. **Pengawetan dan Pengolahan Ikan.** Penerbit Kanisius : Yogyakarta.
- Alaerts, G. 1986. **Metode Penelitian Air.** Usaha Nasional: Surabaya.
- APHA. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed.** American Public Health Association, Washington, DC.
- Atima, W. 2015. **BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah.** *Jurnal Biology Science & Education*, 4(1):83-93.
- Atlas, R. M. 2010. **Handbook of Microbiological Media (Edisi ke-4).** New York: CRC Press.
- Azizah, M., & Humairoh, M. 2015. **Analisis kadar amonia (NH₃) dalam air sungai cileungsi.** *Jurnal Nusa Sylva*, 15(82):47–54.
- Badejo. 2018. **Municipal Wastewater Management Using Vetiveria Zizanioides Planted in Vertical Flow Constructed Wetland.**
- Berliana, O., Ningtias, C., Moersidik, S. S., Priadi, C. R., Nusa, D., & Said, I. 2015. **Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Anoksik-Aerobik Moving Bed Biofilm Reactor.** *JAI*, 8(2):177–188.
- Boonsong K, Monchai C. 2008. **Domestic Wastewater Treatment Using Vetiver Grass Cultivated with Floating Platfoam Technique.** *AUJT*. 12(2):73-80.
- Boyd, C.E. 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. p:482.

- Cakmaci R, Donmez F, Aydm A, Sahin F. 2006. **Growth promotion of plants by Plan growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions.** *Soil.Biol.Biochem.* 38:1482-1487.
- Chandra, Budiman. 2006. **Pengantar Kesehatan Lingkungan.** EGC : Jakarta.
- Chaney, R. L., Brown, S. L., Li, Y. M., Angle, J. S., Homer, F. A., dan Green, C. E. 1995. **Potential use of metal hyperaccumulators.** *Mining Environmental Management* 3 (3): 9-11.
- Christian Arransa Ranti, J., Sutanto, H. B., & Prihatmo, G. 2020. **Efektivitas Sistem Constructed Wetland Dalam Menurunkan Jumlah Bakteri Patogen Pada Limbah Rumah Sakit.** *Justin*, 4(2), 89–93.
- Corseuil, H. X, dan Moreno, F. N. 2001. **Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-bended gasoline.** *Water Res* 35(12): 3013-3017.
- Darajeh, N., Idris, A., Aziz, A. A., & Truong, P. 2014. **Vetiver System Technology for Phytoremediation of Palm Oil Mill Effluent.** *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–13.
- Darajeh, N., Truong, P., Rezanisa, S., Alizadeh, H., & Leung, D. W. M. 2019. **Effectiveness of Vetiver Grass Versus Other Plants for Phytoremediation of Contaminated Water.** *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(3):485–500.
- De Santo, R.S. 1978. **Concepts of applied ecology.** Heidelberg Science Library. Springer-Verlag, New York. p:310.
- Dewi, R.S. dan Lestari, S. 2010. **Dekolorisasi Limbah Batik Tulis Menggunakan Jamur Indigenous Hasil Isolasi pada Konsentrasi Limbah yang Berbeda.** *Molekul*, 5(2):75-82.
- Dojika, M. A., Hugenholtz, P., Haack, S. K., and Pace, N. R. 1998. **Microbial Diversity in A Hydrocarbon and Chlorinated-Solvent Contaminated Aquifer Undergoing Intrinsic Bioremediation.** *Appl. Environ. Microbial*, 64:3869-3877.
- Dwityaningsih, R., Pramita, A., & Syarafina, S. 2019. **Review Potensi Tanaman Obat Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) Sebagai Tanaman**

- Hiperakumulator dalam Fitoremediasi pada Lahan Tercemar Logam.**
Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL), 1(01):51–56.
- Dwivedi, P., & Singh Tomar, R. 2018. **Bioremediation of textile effluent for degradation and decolourization of synthetic dyes: a review.**
International Journal of Current Research in Life Sciences, 7(04):1948–1951.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan.** Penerbit Kanisnus : Yogyakarta.
- Enrico. 2019. **Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing sebagai Usaha Mengurangi Limbah.**
Moda, 1(1):5–13.
- Fessenden R.J. dan Fessenden J.S. 1984. **Kimia Organik Jilid II, a.b. Pudjaatmaka, Edisi Ketiga.** Jakarta: Penerbit Erlangga Gramedia Pustaka.
- Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. 2010. **Microbiology: An Introduction.** Case. - 10th ed.
- Gunawan, G dan Nanny Kusmaningrum. 2012. **Penanganan Erosi Lereng Galian dan Timbunan Jalan dengan Rumput Vetiver.** Puslitbang jalan dan Jembatan : Bandung.
- Hidayat, M. Fikri. 2014. **Penurunan Kandungan Zat Warna pada Limbah Songket Menggunakan Membran Komposit Berbasis Kitosan-PVA Ultrafiltrasi.** Tugas Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Iwamoto, T., & Nasu, M. 2001. **Current Bioremediation Practice and Perspective.** *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(1):1–8.
- Kabra AN, Khandare RV, Govindwar SP. 2012. **Development of a bioreactor for remediation of textile effluent and dye mixture: A plant-bacterial synergistic strategy.** *Water Res*, 47: 1036–1048.
- Khandare RV, Kabra AN, Kadam AA, Govindwar SP. 2013. **Treatment of dye containing wastewaters by a developed lab scale phytoreactor and enhancement of its efficacy by bacterial augmentation.** *Int Biodeterior Biodegrad*, 78: 89–97.

- Kandel, Shyam L., Joubert, Pierre M., and Doty, Sharon L. 2017. **Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants.** *Microorganism*. 5(4):77.
- Kepmen LHK. Kep 51-/MENLH/10/1995 tentang Baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri.
- Kholif, M. Al, & Sugito, S. 2020. **Penyisihan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Domestik Dengan Menggunakan Sistem Constructed Wetland Bio-Rack.** *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 25–33.
- Kost, T., Stopnisek, N., Agnoli, K., Eberl, L., Weisskopf, L. 2014. **Oxalotrophy, A Widespread Trait of Plant-Associated Burkholderia Species, Is Involved in Successful Root Colonization of Lupin and Maize by Burkholderia Phytobionts.** *Frontiers in Microbiology*, 4:421.
- Laksono, Sucipta. 2012. **Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter.** Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia: Depok.
- Li, J., Luo, G., He, L. J., Xu, J., & Lyu, J. 2018. **Analytical Approaches for Determining Chemical Oxygen Demand in Water Bodies: A Review.** *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1):47–65.
- Mary Kensa, V. 2011. **Bioremediation - An Overview.** *Journal of Industrial Pollution Control*, 27(2):161–168.
- Masturah, A., Darmayanti, L., & Lilis, Y. 2014. **Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Tanaman *Alisma plantago* dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetland),** 1(1), 1-11.
- Mays, L.W. 1996. **Water Resources Handbook.** McGraw-Hill. New York. p: 8.27-8.28.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton).** McGraw-Hill,Inc. New York, Singapore. P:1334.

- Miwada, I. N. S., Lindawati S. A., & Tatang W. 2006. **Tingkat Efektivitas “Starter” Bakteri Asam Laktat pada Proses Fermentasi Laktosa Susu.** *J. Indon. Trop. Anim. Agric.*, 1 (31).
- Moertinah, S., Djarwanti, Sartamtomo, Yuliasuti, R., & Yuliasni, R. 2010. **Peningkatan Kinerja Lumpur Aktif dengan Penambahan Karbon Aktif dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Pewarnaan dengan Zat Warna Indigo & Sulfur.** *Jurnal Riset Industri*, 4(1): 23–33.
- Nurtana, 2018. **Analisis Removal Logam Pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia dan Bakteri Dengan Metode Floating Treatment Wetland.**
- Ogura, N. 1965. **Ultraviolet Absorbing Materials in Natural Water.** *Nippon Kagaku Zasshi*. 86(12):1286-1288.
- Omokeyeke O, Sikoki FD, Nwachwu EO. 2013. **Phytoremediation Potential of an Quatic Weed, Eichornia Vrsassipes, in Crude Oil Contaminated sites.** Prociding of the 3rd annual international conference Syiah Kuala University 2013.
- Ong, S. A., Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y., & Yamagiwa, K. 2010. **Treatment of azo dye Acid Orange 7 containing wastewater using up-flow constructed wetland with and without supplementary aeration.** *Bioresource Technology*, 101(23):9049–9057.
- Pascual, A., la Varga, D. De, Soto, M., Van Oirschot, D., Kilian, R. M., Álvarez, J. A., Carvalho, P., Brix, H., & Arias, C. A. 2018. **Aerated Constructed Wetlands for Treatment of Municipal and Food Industry Wastewater.** *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*, 65–93.
- Patria, K., & Dwi, H. (2011). **Identifikasi Dan Karakterisasi Bakteri Pada Reaktor Wetland Identification and Characterization of Bacteria Found in Wetland Reactor.** *17*(April), 12–22.
- Priadie, B. 2012. **Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air.** *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1):38.
- Rahmawan, A.J., Hefni Effendi, Suprihatin. 2019. **Potensi Rumput Vetiver (Chrysopongon zizanioides L.) dan Kangkung (Ipomoea aquatica**

- Forsk.) **Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Industri Kayu.** *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(4):904-919.
- Rehman. 2018. **Inoculation with Bacteria in Floating Treatment Wetlands Positively Modulates the Phytoremediation of Oil Field Wastewater.**
- Ristianingsih. 2018. **Pengolahan Air Limbah Pencucian PT.KAI Yogyakarta Menggunakan Floating Treatment Wetland Kombinasi Dengan Tanaman Vetivera Zizaniodes dan Bakteri.**
- Samawaty, Diah Febriana. 2004. **Hubungan Jarak Tempat Pembuangan Limbah Cair Sentra Industri Tenun Ikat Troso dengan Kadar Nitrat dan Nitrit pada Air Sumur Gali di Desa Troso Kecamatan Pecangaan Kabupaten Jepara.** Skripsi. Universitas Diponegoro.
- Saratale, R. G., G. D. Saratale., D. C. Kalyani., J. S. Chang & S. P. Govindwar 2009. **Enhanced Decolorization and Biodegradation of Textile Azo Dye Scarlet R by Using Developed Microbial ConsortiumGR.** *Bioresource Technol*, 100:2493–2500.
- Sedlak, R. 1991. **Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: Principles and Practice (2nd ed).** Boca Raton: Lewis.
- Seifpanahi-Shabani, K., Eyvazkhani, A., & Heidari, P. 2019. **Bioremediation of textile dyes wastewater: Potential of bacterial isolates from a mining soils and wetlands.** *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 12(3):155–161.
- Shahid, M. J., Arslan, M., Ali, S., Siddique, M., & Afzal, M. 2018. **Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment.** *Clean - Soil, Air, Water Journal*, 46(10).
- Shehzadi, M., Fatima, K., Imran, A., Mirza, M. S., Khan, Q. M., & Afzal, M. 2016. **Ecology of Bacterial Endophytes Associated with Wetland Plants Growing in Textile Effluent for Pollutant-Degradation and Plant Growth-Promotion Potentials.** *Plant Biosystem*, 150:1261-1270.
- Siswoyo, E. 2002. **Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan.** PPLH-UII, Yogyakarta.

- Subroto, M. A. 1996. **Fitoremediasi**. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan Juni 24-25, Cibinong. Hlm 28.
- Sudha, M., Saranya, A., Selvakumar, G. & Sivakumar, N. 2014. **Microbial Degradation of Azo Dyes: A Review**. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3:670-690.
- Supriyatno, Budi. 2000. **Pengelolaan Air Limbah yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya**. *Teknologi Lingkungan*, 1(1):17–26.
- Tao, M., He, F., Xu, D., Li, M., & Wu, Z. 2010. **How Artificial Aeration Improved Sewage Treatment of An Integrated Vertical-Flow Constructed Wetland**. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(1):183–191.
- Tara, N., Arslan, M., Hussain, Z., Iqbal, M., Khan, Q. M., & Afzal, M. 2019. **On-site Performance of Floating Treatment Wetland Macrocosms Augmented with Dye-Degrading Bacteria for The Remediation of Textile Industry Wastewater**. *Journal of Cleaner Production*, 217:541–548.
- Truong, P., Booth, D., Van, T, T., & Pinnars, E. 2011. **“Penerapan Sistem Vetiver” Buku panduan teknis edisi bahasa Indonesia**. Indonesian Vetiver Network.
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H, H., Guo, W., Liang, S. 2017. **Evaluating the Sustainability of Free Water Surface Flow Constructed Wetlands: Methane and Nitrous Oxide Emissions**. *J. Clean Prod*, 147:152-156.
- Yagi, O. & Nishimura, M. 1997. **Environmental Biotechnology, The Japan Perspective**. Plenum Press, New York. 201-207.
- Zhang, L. yu, Zhang, L., Liu, Y. ding, Shen, Y. wu, Liu, H., & Xiong, Y. 2010. **Effect of Limited Artificial Aeration on Constructed Wetland Treatment of Domestic Wastewater**. *Desalination*, 250(3):915–920.

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1 Pengujian Karakteristik COD

Karakteristik Uji COD					
Minggu	Abs	Hasil Perhitungan	Rerata	Fp	Kadar COD
1	0,179	310,33	314,78	100	31.477,78
	0,182	320,33			
	0,18	313,67			
2	0,26	580,33	220,33	100	22.033,33
	0,095	30,33			
	0,101	50,33			
3	0,057	55,58	52,81	20	1.056,11
	0,063	50,58			
	0,061	52,25			
4	0,048	63,08	53,64	20	1.072,78
	0,057	55,58			
	0,073	42,25			

Tabel Lampiran 2 Pengujian COD Reaktor *Aerated*

Aerated				
Hari	Abs	Hasil Perhitungan	Rata-rata	Kadar COD
4	0,283	32850,00	30794,44	30794,44
	0,265	29850,00		
	0,264	29683,33		
11	0,099	873,33	1065,56	1065,56
	0,051	1211,67		
	0,057	1111,67		
18	0,094	2700,00	3875,00	3875,00
	0,100	4700,00		
	0,073	4225,00		
25	0,070	895,00	1011,67	1011,67
	0,057	1111,67		
	0,062	1028,33		

Tabel Lampiran 3 Pengujian COD Reaktor *Floating*

Floating				
Hari	Abs	Hasil Perhitungan	Rata-rata	Kadar COD
4	0,268	30350,00	33516,67	33516,67
	0,299	35516,67		
	0,294	34683,33		
11	0,061	522,50	514,17	514,17
	0,057	555,83		
	0,068	464,17		
18	0,063	505,83	555,83	555,83
	0,057	555,83		
	0,051	605,83		
25	0,053	589,17	564,17	564,17
	0,054	580,83		
	0,061	522,50		

Tabel Lampiran 4 Pengujian Karakteristik BOD

Karakteristik Uji BOD							
Minggu	Blanko 0 (mg/L)	BOD 0 (mg/L)	Blanko 5 (mg/L)	BOD 5 (mg/L)	Hasil Perhitungan	Rata-Rata (mg/L)	Nilai BOD (mg/L)
1	4,48	4,58	1,55	0,73	46	51,33	51,33
	4,12	4,38	1,54	0,63	58,5		
	4,20	4,4	1,44	0,65	49,5		
2	4,48	4,58	1,55	0,73	46	51,33	51,33
	4,12	4,38	1,54	0,63	58,5		
	4,20	4,4	1,44	0,65	49,5		
3	4,00	4,46	1,20	0,83	41,5	36,5	36,5
	4,00	4,39	1,22	0,82	39,5		
	4,09	4,27	1,14	0,75	28,5		

Tabel Lampiran 5 Pengujian BOD Reaktor *Aerated*

Hari ke	Aerated						
	Blanko 0 (mg/L)	BOD 0 (mg/L)	Blanko 5 (mg/L)	BOD 5 (mg/L)	Hasil Perhitungan (mg/L)	Rata-Rata (mg/L)	Nilai BOD (mg/L)
4	3.68	5.31	1.20	0.96	93.5	48.00	48.00
	3.59	3.96	1.25	1.13	24.5		
	3.58	4.08	1.31	1.29	26		
11	4.48	4.95	1.55	1.29	36.5	35.33	35.33
	4.12	4.28	1.54	0.96	37		
	4.20	4.69	1.44	1.28	32.5		
18	4.00	4.10	1.20	0.96	17	20.33	20.33
	4.00	3.85	1.22	0.56	25.5		
	4.09	3.95	1.14	0.63	18.5		

Tabel Lampiran 6 Pengujian BOD Reaktor *Floating*

Hari ke	Floating						
	Blanko 0 (mg/L)	BOD 0 (mg/L)	Blanko 5 (mg/L)	BOD 5 (mg/L)	Hasil Perhitungan (mg/L)	Rata-Rata (mg/L)	Nilai BOD (mg/L)
4	3.68	3.80	1.20	1.24	0.8	4.90	4.90
	3.59	4.12	1.25	1.16	6.2		
	3.58	4.06	1.31	1.02	7.7		
11	4.18	3.85	1.55	0.98	2.4	2.07	2.07
	4.12	3.83	1.54	0.88	3.7		
	4.20	3.74	1.44	0.97	0.1		
18	4.00	3.94	1.20	0.63	5.1	1.93	1.93
	4.00	3.61	1.22	0.78	0.5		
	4.09	3.98	1.14	1.01	0.2		

Tabel Lampiran 7 Pengujian Karakteristik Amonia

Minggu	Abs	Hasil Perhitungan	Rerata	Fp	Kadar Amonia
1	0,196	0,2529	0,3072	10	3,0722
	0,224	0,2981			
	0,269	0,3706			
2	0,206	0,2691	0,2750	11	2,7497
	0,21	0,2755			
	0,213	0,2803			
3	0,212	0,2787	0,2986	12	2,9862
	0,194	0,2497			
	0,267	0,3674			
4	0,361	0,5189	0,5351	13	5,3506
	0,374	0,5399			
	0,378	0,5463			

Tabel Lampiran 8 Pengujian Amonia Reaktor *Aerated*

Minggu	Abs	Hasil Perhitungan	Rata-rata	Fp	Kadar Amonia
1	0,090	0,0821	0,1460	10	1,4600
	0,214	0,2820			
	0,085	0,0740			
2	0,517	0,7704	0,6995	10	6,9950
	0,460	0,6785			
	0,442	0,6495			
3	0,159	0,1933	0,1858	10	1,8577
	0,154	0,1852			
	0,150	0,1788			
4	0,343	0,4899	0,3782	1	0,3782
	0,219	0,2900			
	0,259	0,3545			

Tabel Lampiran 9 Pengujian Amonia Reaktor *Floating*

Minggu	Abs	Hasil Perhitungan	Rata-rata	Fp	Kadar Amonia
1	0,143	0,1675	0,0697	10	0,6970
	0,048	0,0143			
	0,056	0,0272			
2	0,119	0,1288	0,1014	10	1,0140
	0,101	0,0998			
	0,086	0,0756			
3	0,026	-0,0211	-0,0243	1	-0,0243
	0,023	-0,0260			
	0,023	-0,0260			
4	0,078	0,0627	0,0960	1	0,0960
	0,093	0,0869			
	0,125	0,1385			

LAMPIRAN
BAKU MUTU AIR LIMBAH PERMEN LHK NO.05 TAHUN
2015 TENTANG BAKU MUTU AIR LIMBAH

Tabel Lampiran 10 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil

LAMPIRAN XLII
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2014
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH

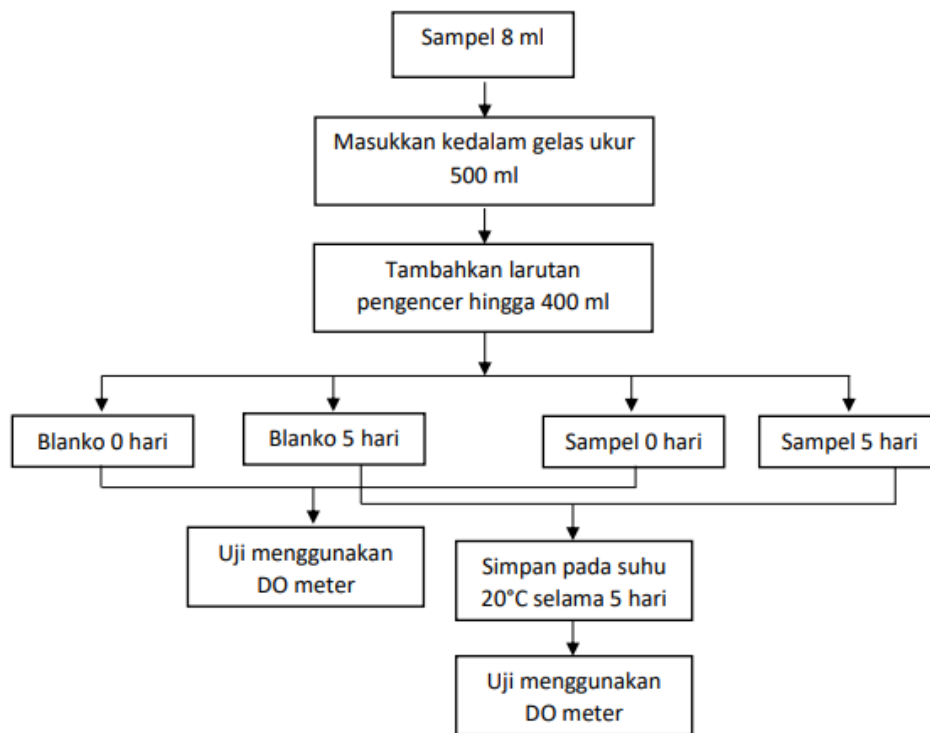
BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
INDUSTRI TEKSTIL

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD ₅	60	6
COD	150	15
TSS	50	5
Fenol Total	0,5	0,05
Krom Total (Cr)	1,0	0,1
Amonia Total (NH ₃ -N)	8,0	0,8
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
Minyak dan Lemak	3,0	0,3
pH	6,0 – 9,0	
Debit Limbah Paling Tinggi	100 m ³ /ton produk tekstil	

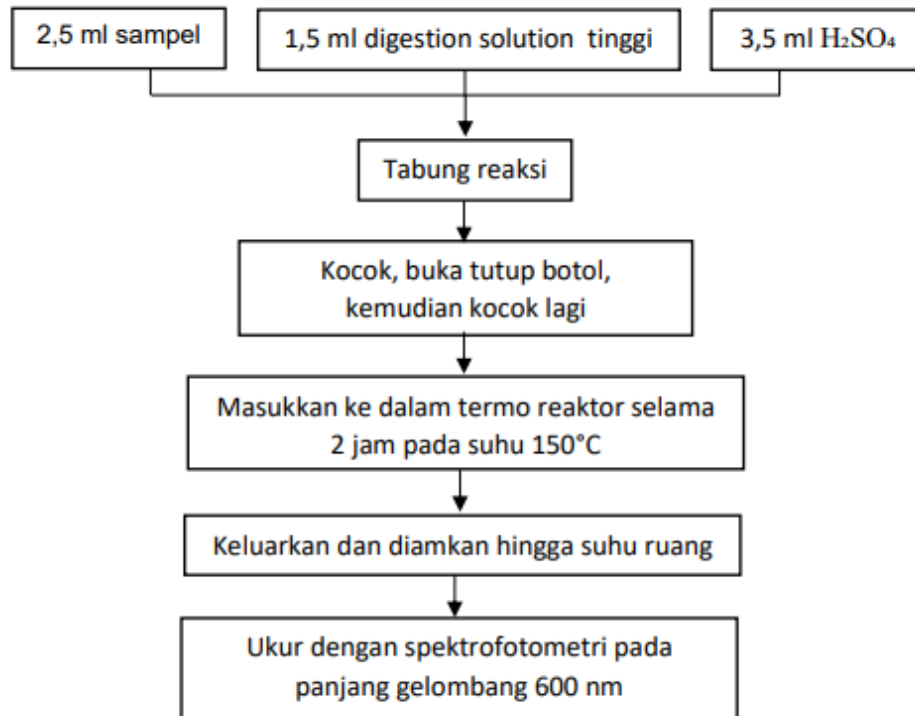
MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA,

BALTHASAR KAMBUAYA

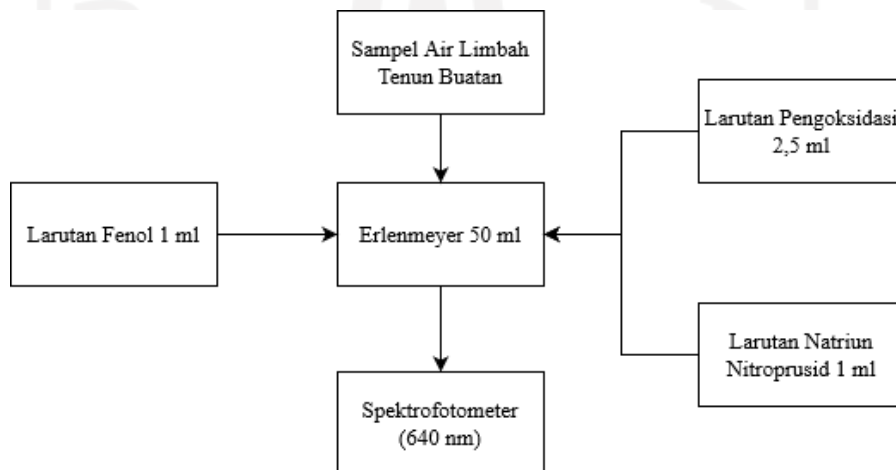
LAMPIRAN
PROSES PENGUJIAN SETIAP PARAMETER



Gambar Lampiran 1 Tahapan Pengujian BOD



Gambar Lampiran 2 Tahapan Pengujian COD



Gambar Lampiran 3 Tahapan Pengujian Amonia

Lampiran Alat dan Bahan 1

A. Pembuatan Reaktor

- **Alat**
 1. Box container plastik 10L
 2. Pipa kecil
 3. Pompa peristaltik
 4. Difuser
 5. Tube silicon
 6. Tabung suntikan
 7. Kran
- **Bahan**
 1. Limbah cair tenun
 2. Tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*)
 3. Bakteri endofit
 4. Batu kerikil
 5. Pasir
 6. Tanah
 7. Keranjang plastik
 8. Ijuk kelapa

B. Pengujian BOD

- **Alat**

1. Botol Winkler
2. Buret mikro 2 mL atau digital buret 25 mL
3. Pipet volume 5 mL; 10 mL dan 50 mL
4. Pipet ukur 5 mL
5. Erlenmeyer 125 mL
6. Gelas piala 400 mL
7. Labu ukur 1000 mL

- **Bahan**

1. Mangan sulfat, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
2. Aquades
3. Natrium hidroksida, NaOH atau Kalium hidroksida, KOH
4. Na Iodida, NaI atau Kalium Iodida
5. Amilum/kanji
6. Natrium azida, NaN_3
7. Asam salisilat
8. Asam sulfat, H_2SO_4 pekat
9. Sodium thiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
10. Kalium bi-iodat, $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$
11. Kalium dikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

المعهد الوطني للأبحاث البيئية

C. Pengujian COD

- **Alat**

1. Aquades
2. Digestion solution
3. larutan pereaksi asam sulfat
4. Asam sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$)
5. Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($\text{HOCC}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP)

- **Bahan**

1. Spektrofotometer sinar tampak (400 nm sampai dengan 700 nm)
2. Kuvet
3. Digestion vessel
4. Pemanas dengan lubang-lubang penyangga tabung (heating block)
5. Buret
6. Labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL; 250,0 mL; 500,0 mL dan 1000,0 mL
7. Pipet volumetrik 5,0 mL; 10,0 mL; 15,0 mL; 20,0 mL dan 25,0 mL
8. Gelas piala
9. Magnetic stirrer
10. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg



D. Pengujian Amonia

- **Alat**

1. Amonium klorida (NH_4Cl)
2. Larutan fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)
3. Natrium nitroprusida ($\text{C}_5\text{FeN}_6\text{Na}_2\text{O}$) 0,5%
4. Larutan alkalin sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$)
5. Natrium hipoklorit (NaClO) 5%
6. Larutan pengoksidasi

- **Bahan**

1. Spektrofotometer
2. Timbangan analitik
3. Erlenmeyer 50 mL
4. Labu ukur 100 mL; 500 mL dan 1000 mL
5. Gelas ukur 25 mL
6. Pipet volumetrik 1,0 mL; 2,0 mL; 3,0 mL dan 5,0 mL
7. Pipet ukur 10 mL dan 100 mL

Lampiran Dokumentasi 1

PEMBUATAN REAKTOR





المعهد الإسلامي للدراسات والبحوث

KULTURISASI BAKTERI





RUNNING REAKTOR AERATED DAN FLOATING WETLAND



