

TA/TL/2020/1251

TUGAS AKHIR
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TENUN DENGAN
SISTEM *CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND*
MENGGUNAKAN KOMBINASI TANAMAN VETIVER
DAN BAKTERI *INDIGENOUS*

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

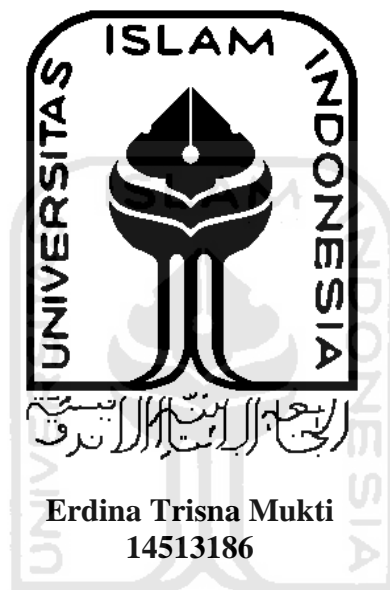


Erdina Trisna Mukti
14513186

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020

TUGAS AKHIR
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TENUN DENGAN
SISTEM *CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND*
MENGGUNAKAN KOMBINASI TANAMAN VETIVER
DAN BAKTERI *INDIGENOUS*

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



Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
NIK. 165131306

Tanggal:

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
NIK. 095130403

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TENUN DENGAN
SISTEM *CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND*
MENGUNAKAN KOMBINASI TANAMAN VETIVER
DAN BAKTERI *INDIGENOUS***

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 12 November 2020



Disusun Oleh:

**ERDINA TRISNA MUKTI
14513186**

Tim Penguji :

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

()

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

()

Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 10 November 2020

Yang membuat pernyataan,



Erdina Trisna Mukti
NIM: 14513186



PRAKATA

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir tentang **Pengolahan Limbah Cair Tenun dengan Sistem *Constructed Treatment Wetland* Menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiver dan Bakteri Indigenus.**

Penyusunan laporan ini merupakan salah satu tahapan dalam penyelesaian Tugas Akhir untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini.
2. Mamah sunarti, papah sardiman, ibu ruli, bapak tri, mba isti, mas dwi, dek catur, dan kakak-kakak ipar yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dengan penuh kasih sayang yang tak henti hentinya.
3. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan UII, Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.E.S., M.Sc., Ph.D.
4. Koordinator Tugas Akhir, Ibu Qorry Nugrahayu, S.T., M.T.
5. Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. yang telah membantu dan membimbing Tugas Akhir ini.
6. Partner Tugas Akhir penulis Nurun Nailis Sa'adah yang telah mau berjuang bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat-sahabat masa kuliah intan, safira, putri, winda, shinta, naning, dan husna yang telah banyak membantu dan mendukung penulis.
8. Sahabat penulis cita dan gatriana yang telah mendukung dan mendengarkan keluh kesah penulis.
9. Diah aulia dan rostika yang tidak bosan-bosannya mendorong penulis agar cepat selesaikan tugas akhir ini.
10. Staff laboratorium teknik lingkungan yang telah membantu proses penelitian tugas akhir saya dan pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan namanya.
11. Teman-teman seperjuangan di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII khususnya angkatan 2014 yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis berharap semoga amal baik dari semua pihak yang telah membantu dalam Tugas Akhir ini mendapat balasan pahala dari Allah SWT. Demikian Tugas Akhir ini, semoga dapat bermanfaat dan dapat diimplementasikan di masa mendatang.

Yogyakarta, 10 November 2020

Erdina Trisna Mukti



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ERDINA TRISNA MUKTI. Pengolahan Limbah Cair Tenun Dengan Sistem Constructed Treatment Wetland Menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiver Dan Bakteri Indigenous. Dibimbing oleh Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. dan DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Permasalahan yang akan timbul apabila limbah industri tidak dikelola dengan baik adalah masalah pencemaran lingkungan. Desa Troso Kabupaten Jepara merupakan daerah pengrajin tenun, dimana proses produksinya menghasilkan residu yang berupa air limbah. Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan air limbah agar mencegah terjadinya pencemaran limbah di badan air.

Constructed Treatment Wetland (CTW) adalah salah satu metode potensial untuk mengolah limbah cair. CTW merupakan system pengolahan yang didesain dan dibangun dengan menggunakan proses alami. Keunggulan dari CTW adalah biaya investasi, operasi, dan pemeliharaan yang murah. Proses yang terjadi dalam CTW antara lain nitrifikasi, denitrifikasi, volatilisasi, adsorpsi, sedimentasi, filtrasi dan degradasi secara biotik dan abiotik.

Lima buah bak CTW dibuat dengan beberapa kombinasi dari tanaman dan bakteri. Setiap bak CTW dapat memuat hingga 4L limbah cair tenun dan sistem dioperasikan secara batch selama 1,5 bulan. Kinerja CTW dianalisa dengan menguji beberapa parameter seperti COD, TSS, warna, logam berat, pH, TDS, EC, dan suhu. Hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa COD direduksi sampai 51%, TSS 50%, dan warna 96%. Penelitian ini menunjukkan CTW dengan kombinasi tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri memiliki potensial untuk mengolah limbah cair tenun dan dapat diaplikasikan dalam skala besar untuk mengatasi pencemaran lingkungan.

Kata kunci: Bakteri *indigenous*, *constructed treatment wetland*, tanaman vetiver, limbah cair tenun.

ABSTRACT

ERDINA TRISNA MUKTI. *Treatment of Textile Wastewater with Constructed Treatment Wetland System Using a Combination of Vetiver Plants and Indigenous Bacteria. Supervised by Dr. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.Eng. and DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.*

*The problem that will arise if industrial waste is not managed properly is the problem of environmental pollution. Troso Village, Jepara Regency is an area for weaving craftsmen, where the production process produces a residue in the form of waste water. Therefore, it is necessary to treat wastewater in order to prevent waste pollution in water bodies. Constructed Treatment Wetland (CTW) is one potential method for treating liquid waste. CTW is a processing system designed and built using natural processes. The advantages of CTW are low investment, operation and maintenance costs. The processes that occur in CTW include nitrification, denitrification, volatilization, adsorption, sedimentation, filtration and degradation biotic and abiotic. The five CTW tubs were made with several combinations of plants and bacteria. Each CTW tub can load up to 4L of weaving liquid waste and the system is batch operated for 1.5 months. The performance of CTW is analyzed by testing several parameters such as COD, TSS, color, heavy metals, pH, TDS, EC, and temperature. The results of the data obtained indicate that COD is reduced to 51%, TSS 50%, and 96% color. This study shows that CTW with a combination of *Vetiveria zizanioides* plants and bacteria has the potential to treat woven wastewater and can be applied on a large scale to overcome environmental pollution.*

Keywords: Indigenous bacteria, constructed wetland treatment, vetiver plants, weaving wastewater.



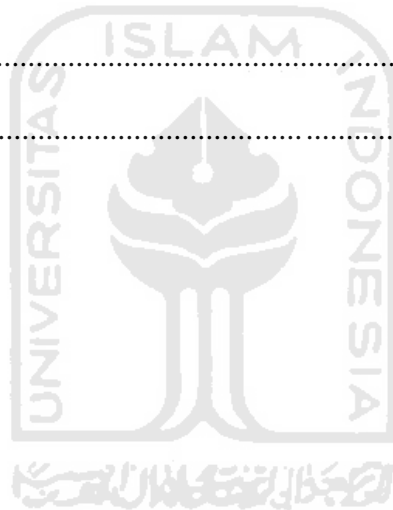
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Tenun	7
2.2 Karakteristik Limbah Industri Tenun	9
2.3 Bioremediasi	11
2.4 Fitoremediasi	12
2.5 Teknik Isolasi Bakteri	13
2.6 <i>Indigenous</i> bakteri.....	14
2.7 Tanaman Vetiver	15

2.8 <i>Constructed Treatment Wetland (CTW)</i>	15
2.8.1 Aliran Air Permukaan Bebas	16
2.8.2 Sub Surface Flow	16
2.9 Penelitian terdahulu	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	19
3.2 Sampling	20
3.3 Isolasi Bakteri <i>indigenous</i>	21
3.3.1 Ekstraksi Tanah.....	21
3.3.2 Media Preparation	22
3.3.3 Kulturasasi Bakteri	22
3.4 Pengoperasian <i>Constructed Treatment Wetland</i>	23
3.5 Aklimatisasi Tanaman <i>Vetiver Zizonioides</i>	24
3.6 Inokulasi	24
3.7 Sistem Pengolahan dengan CTW.....	25
3.8 Pengujian Karakteristik Limbah Cair Tenun	26
3.9 Analisa Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Isolasi Bakteri <i>Indigenous</i>	30
4.2 Kinerja <i>Constructed Treatment Wetland</i> ..	32
4.2.1 Perubahan Warna	33
4.2.2 Penurunan <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	37
4.2.3 <i>Total Suspended Solid</i>	41
4.2.4 Kemampuan Pengolahan Logam Berat	43

4.2.5 <i>Total Dissolved Solid</i>	46
4.2.6 Daya Hantar Listr.....	48
4.2.7 Suhu.....	49
4.2.8 Derajat Keasaman	50
4.2.9 Biomassa dan Pertumbuhan Tanama	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	67
RIWAYAT HIDUP	75





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kadar Maksimal	4
Tabel 3.1 Sumber Tanah dan Kode Kultur Bakteri	21
Tabel 3.2 Perbedaan Perilaku Reaktor CTW	26
Tabel 3.3 Jadwal Sampling dan Penambahan Air Limbah (Refill)	26
Tabel 3.4 Standar Uji Parameter Air Limbah	27
Tabel 3.5 Karakteristik Awal Limbah Cair Tenun 25%	27
Tabel 3.6 Baku Mutu Air Limbah	28
Tabel 4.1 Hasil Isolasi Bakteri <i>Indigenous</i>	30
Tabel 4.2 Ciri-ciri Morfologi Koloni Bakteri	31
Tabel 4.3 Kondisi Fisik Tanaman Selama Pengolahan	55





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pemberian Zat Warna pada Benang	8
Gambar 2.2 Proses Fitoremediasi	12
Gambar 2.3 Sistem Surface Flow	16
Gambar 2.4 Sub Surface Flow	16
Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Penelitian	19
Gambar 3.2 Sample Air Limbah	20
Gambar 3.3 Sample Tanah	20
Gambar 3.4 Tahapan Ekstraksi Tanah	21
Gambar 3.5 Tahapan Isolasi Bakteri	22
Gambar 3.6 Tahapan Kultivasi Bakteri	23
Gambar 3.7 Desain Reaktor <i>Constructed Treatment Wetland</i>	24
Gambar 3.8 Proses Aklimatisasi	24
Gambar 3.9 Inokulasi Bakteri ke Reaktor CTW	25
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Warna Selama Pengolahan	35
Gambar 4.2 Persentase Removal Warna	36
Gambar 4.3 Penurunan COD Selama Pengolahan	38
Gambar 4.4 Persentase Removal COD	39
Gambar 4.5 Penurunan Kadar TSS pada CTW	41
Gambar 4.6 Persentase Removal TSS	42
Gambar 4.7 Konsentrasi Cr	43
Gambar 4.8 Konsentrasi Cu	44
Gambar 4.9 Konsentrasi Cd	45
Gambar 4.10 Konsentrasi Pb	46
Gambar 4.11 Pengukuran TDS selama Pengolahan	47
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Daya Hantar Listrik	48
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Suhu Selama Pengolahan	49
Gambar 4.14 Derajat Keasaman (pH) Selama Pengolahan	51
Gambar 4.15 Biomassa Batang Tanaman Selama Pengolahan	52
Gambar 4.16 Biomassa Akar Tanaman Selama Pengolahan	53



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perubahan Warna Air Limbah Tenun	67
Lampiran 2. Data Pengukuran Warna.....	68
Lampiran 3. Data Pengukuran Removal Warna	68
Lampiran 4. Data Pengukuran COD	68
Lampiran 5. Data Pengukuran Removal COD.....	68
Lampiran 6. Data Pengukuran TSS.....	69
Lampiran 7. Data Pengukuran Removal TSS	69
Lampiran 8. Data Pengukuran Uji Logam Cr.....	69
Lampiran 9. Data Pengukuran Uji Logam Cu.....	69
Lampiran 10. Data Pengukuran Uji Logam Cd.....	70
Lampiran 11. Data Pengukuran Uji Logam Pb.....	70
Lampiran 12. Data Pengukuran TDS	70
Lampiran 13. Data Pengukuran DHL	70
Lampiran 14. Data Pengukuran Suhu	71
Lampiran 15. Data Pengukuran pH.....	71
Lampiran 16. Data Analisa Anova Batang Berat Basah.....	71
Lampiran 17. Data Analisa Anova Batang Berat Kering	72
Lampiran 18. Data Analisa Anova Akar Berat Basah	72
Lampiran 19. Data Analisa Anova Akar Berat Kering	73
Lampiran 20. Data Berat Batang dan Akar	74



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah utama yang dihadapi dunia berkaitan dengan masalah air yaitu dunia akan menghadapi krisis air yang berkepanjangan, meningkatnya masalah pencemaran yang memasuki badan air dan jumlah kebutuhan air yang akan semakin tinggi seiring bertambahnya pertumbuhan penduduk (Sabli, 2002). Air limbah adalah bahan sisa yang merupakan kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya. Dengan demikian air buangan merupakan hal yang bersifat kotoran umum (Sugiharto, 1987).

Sentra industri tenun di desa Troso telah dapat menangkat perekonomian masyarakat di desa tersebut. Namun demikian berdasarkan pengamatan di sekitar lokasi, limbah cair yang dihasilkannya menimbulkan pencemaran terhadap air permukaan karena limbah cair yang dihasilkan langsung di buang ke air permukaan tanpa mengalami proses pengolahan terlebih dahulu, sehingga saluran air permukaan yang berada di sekitar lokasi sentra industri tenun berwarna hitam dan bau.

Troso merupakan salah satu desa di kecamatan Pecangaan Kabupaten Jepara. Troso dikenal sebagai sentra industri tenun Troso, salah satu penghasil kerajinan tenun di Jawa Tengah. Tenun Troso merupakan komoditas kedua Kabupaten Jepara setelah kerajinan ukir kayu.

Kain tenun Troso merupakan jenis kain tradisional di Indonesia. Kerajinan tenun di Desa Troso ini merupakan salah satu usaha yang diwariskan secara turun temurun. Menurut masyarakat setempat kain tenun di Desa Troso dimulai pada masa masuknya agama islam di Desa Troso yaitu pada masa kerajaan Mataram Islam sekitar tahun 1800M. pada awalnya kain tenun ini tercipta dibuat sebagai pelengkap kebutuhan sandang, dimana dibuat pertama kali oleh Mbah Senu dan Nyi Senu yang mana pada saat itu kain dipakai pertama kali untuk menemui Ulama

besar yang disegani yaitu Mbah Datuk Gunardi Singorojo yang sedang menyebarkan agama Islam di Desa Troso (Edward dkk, 2017).

Tenun di Desa Troso memiliki keunikan tersendiri dibandingkan dengan tenun lainnya yang ada di Nusantara. Ciri khas tenun pada daerah ini cenderung mengadopsi motif-motif dari luar daerah terutama motif dari Indonesia bagian timur, yaitu: Bali, Flores, dan Sumbawa, dengan modifikasi di sana-sini (Hendro, 2000), dengan menggunakan warna yang terkesan gelap seperti coklat tua, coklat muda, dan biru tua. Perkembangan industri tenun Troso selalu mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena wujud kebudayaan melatar belakangi berbagai aspek pendukung perkembangan tenun Troso.

Pertumbuhan industri tenun yang semakin meningkat ini, mempengaruhi dengan penggunaan bahan yang dipakai. Bahan yang dipakai terbuat dari *catton*, rayon, *polyester*, sutra, dan bahan yang diambil langsung dari alam (serat) (Alamsyah,2014). Selain berpengaruh pada bahan yang dipakai, di sisi lain membantu program alokasi tenaga kerja, tetapi disisi lain dirasakan telah menurunkan kualitas lingkungan setempat, yang secara langsung dapat dirasakan dari indikator pencemar seperti bau menyengat dan warna hitam pekat air limbah yang dibuang langsung ke saluran irigasi/selokan sekitar industry tenun. Sementara saluran irigasi mengalirkan air untuk kebutuhan lahan pertanian, baik secara langsung maupun tidak langsung, tanah disekitar industri termasuk persawahan disekitarnya telah terkontaminasi oleh limbah cair proses industri tenun yang didalamnya limbah penggunaan bahan pewarna tekstil (Komarawidjaja,2016).

Hal ini disebabkan oleh penggunaan zat warna dalam proses produksi kain tenun. Zat warna yang digunakan antara lain: zat warna naphtol, zat warna belerang/sulfur, zat warna direk (Wawancara dengan Pemilik industry tenun, Juni 2019). Apabila air limbah dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu, maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan terutama ekosistem perairan.

Beberapa permasalahan lain pada sentra industri tenun yang berhubungan dengan permasalahan lingkungan adalah sebagai berikut (Indrayani, 2018):

1. Persepsi dan kepedulian para pelaku industri tenun terhadap masalah limbah pada umumnya positif. Pengertian mereka cukup beragam tetapi semuanya merasa bahwa tindakan membuang limbah ke lingkungan tanpa pengolahan limbah terlebih dahulu akan merusak lingkungan dan mengancam kesehatan

masyarakat sekitarnya. Rasa bersalah inilah yang diharapkan akan melahirkan keinginan untuk mengolah limbah yang mereka hasilkan. Disisi lain informasi tentang pengolahan limbah tenun masih teramat terbatas. Oleh karena itu, belum ada suatu model pengolahan limbah khususnya untuk industri tenun yang cukup populer dan mudah dimengerti dikalangan pelaku industri tenun.

2. Pelaku industri tenun masih memiliki pengertian yang benar antara mengadakan unit pengolahan limbah dengan pengoperasian unit pengolahan limbah. Hal ini terjadi khususnya pada industri kecil sedangkan pada industri yang relatif besar, hasil analisis terhadap kualitas air limbah tidak mewakili skala produksi limbah yang ada. Keadaan tersebut disebabkan sebagian besar industri tenun yang berskala besar melimpahkan lebih dari 50% produksinya kepada industri kecil. Hal ini berarti bahwa secara bersamaan industri besar membagi limbahnya kepada industri kecil yang jelas-jelas tidak mewakili instalasi pengolahan limbahnya.
3. Pelaku industri tenun yang sebagian besar industri berskala kecil sangat peka mengenai dana pengolahan limbah. Informasi mengenai biaya untuk suatu pengolahan limbah masih sangat terbatas, sehingga banyak diantara mereka beranggapan bahwa pengelolaan limbah industri memerlukan biaya yang sangat tinggi. Hal tersebut tidak sepenuhnya benar dan tidak sepenuhnya salah. Sehingga masalah biaya merupakan trauma bagi industri tenun berskala kecil.
4. Sejauh ini pemerintah dinilai dalam memberlakukan peraturan tentang pentingnya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) bagi industri tenun. Sampai sekarang banyak kalangan pemerhati lingkungan meragukan efektifitas IPAL yang dimiliki oleh industri, apalagi industri berskala kecil yang keberadaannya lebih banyak dibanding industri besar dan terkonsentrasi pada sentra-sentra industri, yang jelas-jelas belum memiliki IPAL.

Limbah industri tenun tergolong limbah cair dengan karakteristik limbah tenun, kandungan tertinggi berupa zat warna sintetik, yang apabila dibuang ke lingkungan akan membahayakan ekosistem perairan. Karakteristik fisik dan kimia

pada limbah tenun menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah nomor 5 tahun 2012 antara lain:

Tabel 1.1 Kadar Maksimal

No.	Parameter	Kadar Maksimal (mg/L)
1	Temperature	38°C
2	BOD ₅ (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	60
3	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	150
4	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	50
5	Fenol Total	0,5
6	Khrom Total (Cr)	1,0
7	Amoniak Total (NH ₃ -N)	8,0
8	Sulfida (sebagai S)	0,3
9	Minyak dan lemak	3,0
10	Ph	6,0 – 9,0

Suhu yang tinggi akan mengakibatkan kandungan oksigen terlarut dalam air menurun yang akan membunuh organisme dan limbah organik akan meningkatkan kadar nitrogen menjadi senyawa nitrat yang menyebabkan bau busuk (Sastrawijaya,1991).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Agus dkk, tentang toksisitas letal akut limbah cair tenun Troso terhadap ikan mas diperoleh nilai LC₅₀-96 jam sebesar 2,3%. Hal ini mempengaruhi jumlah mortalitas ikan mas. Dan uji karakteristik limbah cair tenun Troso diperoleh bahwa parameter suhu, pH, warna, TDS, TSS, BOD, COD, kromium dan fenol melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan sehingga diperlukan adanya alternatif pengolahan air limbah tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Beberapa industri tenun di kawasan Troso menghasilkan limbah caie tenun yang tidak ada pengolahan limbahnya. Dalam proses produksinya, industri tenun menggunakan zat warna sintetik atau zat warna kimia serta membutuhkan air untuk proses pewarnaan. Sebanyak 80% dari air yang digunakan dalam proses produksi akan menjadi limbah cair yang berdampak pada lingkungan. Semakin

meningkatnya aktivitas produksi maka semakin meningkatnya limbah cair yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan sehingga berdampak buruk untuk lingkungan. Berdasarkan dari pernyataan tersebut dan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang didapat yaitu:

1. Bagaimana metode yang digunakan untuk memperoleh isolasi bakteri dari tanah yang terkontaminasi limbah tenun Troso?
2. Bagaimana efisiensi kinerja *constructed wetland* dalam media pengolahan limbah tenun Troso?

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengisolasi bakteri indigo yang memiliki kemampuan dekolonisasi terhadap air limbah tenun Troso.
2. Menganalisa kinerja *constructed wetland* dalam media pengolahan limbah tenun Troso.

1.4 Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi tentang pengolahan air limbah tenun dengan metode fitoremediasi dan bioremediasi.
2. Sebagai rekomendasi untuk menerapkan pengolahan air limbah pada industri tenun Troso sehingga pencemaran lingkungan dapat dikendalikan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini yaitu:

1. Isolat bakteri berasal dari limbah tenun Troso
2. Isolasi biakan murni bakteri
3. Reaktor yang digunakan dalam skala laboratorium
4. Parameter yang diuji yaitu pH, suhu, TDS, *electrical conductivity* (EC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), warna, dan biomassa.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Tenun

Limbah tenun merupakan limbah cair dominan yang dihasilkan industri tenun karena terjadi proses pemberian warna (dyeing) yang di samping memerlukan bahan kimia juga memerlukan air sebagai media pelarut (Dwioktavia, 2011). Industri tenun bergerak dibidang garmen dengan mengolah kapas atau serat sintetik menjadi kain melalui tahapan proses : Spinning (Pemintalan) dan Weaving (Penenunan). Limbah cair industri tenun tergolong limbah cair dari proses pewarnaan yang merupakan senyawa kimia sintetis, mempunyai kekuatan pencemar yang kuat. Bahan pewarna tersebut telah terbukti mampu mencemari lingkungan.

Zat warna dapat digolongkan berdasarkan konstitusi (struktur molekul) dan berdasarkan atas aplikasi (cara pewarnaannya) pada bahan, misalnya di dalam pencelupan dan pencapan bahan tekstil, kulit, kertas, dan bahan lapis. Kedua cara ini sebetulnya tidak menggolongkan zat warna secara tuntas karena masih ada kemungkinan antara dua golongan atau lebih, masih terdapat zat warna dengan kromofor yang sama, tetapi cara pencelupan atau pewarnaan yang berbeda (Gitopadmojo, 1978).

Penggolongan berdasarkan konstitusi atau sistem kromofor yang berbeda misalnya yaitu nitroso, nitro, golongan azo, xantena, akridin, azina, lakton, antrakinin, indigoida, tioindigo, dan lain-lain. Sedangkan penggolongan zat warna berdasarkan cara pewarnaan bahan yaitu zat warna basa, asam, direk, mordan (beitsa), azoat (naftol), belerang (sulfur), hidron, bejana, bejana larut, dispersi, reaktif, dan pigmen (Gitopadmojo, 1978).

Pada industri tenun Troso, seringkali menggunakan zat warna naftol, zat warna naftol adalah suatu zat warna yang dapat dipakai untuk mencelup secara cepat dan mempunyai warna yang kuat. Zat warna naftol adalah suatu senyawa yang tidak larut dalam air yang terdiri dari dua komponen dasar yaitu berupa golongan naftol AS (*Anilis acid*) yang terdiri dari naftol itu sendiri dan komponen

basa naftol yang disebut amina aromatik primer dan komponen pembangkit warna, yaitu golongan diazonium yang biasanya disebut garam. Kedua komponen tersebut bergabung menjadi senyawa berwarna jika sudah dilarutkan. Zat warna naftol tidak larut dalam air karena senyawa yang terjadi mempunyai gugus azo (Laksono, 2012). Tahapan pewarnaan industri tenun Troso sebagai berikut:

- Langkah pertama membuat larutan TRO (Turkish Red Oil) sebagai zat pelarut + Naphtol dan kaustik (NaOH) dalam air panas.
- Ambil benang yang sudah dibasahi dengan larutan (teepol)/sabun. Masukkan ke dalam larutan (TRO+Naphtol+NaOH) tadi, lalu direndam beberapa menit, kemudian diperas.
- Membuat larutan Garam Diazo/pembangkit warna naphtol dengan air dingin
- Masukkan lagi benang ke dalam larutan (Garam diazo), maka warna akan segera muncul.



Gambar 2.1 Proses Pemberian Zat Warna pada Benang

Pewarna azo merupakan salah satu pewarna sintetik yang digunakan industri tekstil yang berperan penting dan dominan (sekitar 80%). Penyebab masalah lingkungan dan kesehatan yang buruk yaitu adanya kehadiran pewarna azo dan produknya yang terdegradasi di reservoir alami atau buatan (Tara et al, 2019)

Air limbah pencelupan zat warna reaktif umumnya mempunyai pH tinggi (>9), berwarna tua dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) nya cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena proses pencelupan tersebut digunakan alkali untuk proses fiksasi zat warna, sehingga pH larutan menjadi tinggi. Warna air limbah yang masih pekat disebabkan karena tidak semua zat yang digunakan dapat berdisosiasi dengan serat, sedangkan COD yang cukup tinggi disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang

terkandung dalam limbah tersebut, seperti sisa zat warna, zat pembasah, dan pembantu yang digunakan.

2.2 Karakteristik Limbah Industri Tenun

Proses produksi tenun dari persiapan hingga penyempurnaan diindikasikan menggunakan bahan kimia yang mengandung unsur logam berat. Hal ini menyebabkan bahan buangan yang dihasilkan dari proses produksi juga masih mengandung unsur logam berat (Sasongko, 2006). Karakteristik air limbah cair tenun dapat dilihat dari parameter fisika, kimia, dan biologi.

a) Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah meliputi temperatur, warna, *electrical conductivity* (EC), *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS), dan biomassa. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang ditunjukkan kedalam skala. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan temperatur sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat. Warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi (Wardhana, 2001). Warna air limbah dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna sejati disebabkan oleh warna organik yang mudah larut serta beberapa ion logam. Sedangkan warna semu disebabkan oleh air yang mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dari warna sejati serta karena adanya bahan-bahan tersuspensi termasuk koloid (Yulianto dkk, 2009). Dalam industri batik ini zat warna yang digunakan adalah naphthol, soda api, asam, dan zat pembasah. Berdasarkan Lestari dan Agung (2013), zat warna naphthol merupakan jenis zat warna semu sedangkan soda api, asam, dan zat pembasah merupakan jenis zat warna sejati. Pengurain warna sejati pada zat warna soda api, asam, dan zat pembasah melalui proses dekomposisi zat organik oleh mikroorganisme pada tumbuhan. Proses yang terjadi yakni filtrasi, absorpsi

oleh mikroorganisme dan adsorpsi bahan organik oleh akar-akar tumbuhan (Novotny dan Olem, 1994). Penguraian warna semu pada zat warna naphthol disebabkan karena zat warna ini mengandung C₁₀H₈O. Setelah mengalami proses phytotreatment, terjadi reaksi kimia penurunan 1-amino-2 naphthol menghasilkan CO₂ dan H₂O yang dapat digunakan dalam proses fotosintesis (Wahyu dkk, 2015). *Total Suspended Solid (TSS)* merupakan bahan-bahan tersuspensi dengan diameter >1 µm yang tertahan pada saringan *milipore*. Zat TSS terdiri dari lumpur, pasir halus, serta jasad-jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah (Effendi, 2003). Menurut SNI-06-6989.3-2004 mengenai pengujian TSS, TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2µm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Suatu kenaikan yang mendadak dari padatan tersuspensi dapat ditafsirkan karena erosi tanah akibat hujan lebat (Sastrawijaya, 2000). Bahan terlarut tersuspensi meliputi pasir, lumpur, tanah, dan bahan kimia organik dan anorganik (Darmono, 2001). TDS adalah bahan-bahan terlarut dengan diameter <10⁻⁶ dan koloid dengan diameter 10⁻⁶ – 10⁻³ yang merupakan senyawa kimia dan partikel lainnya yang tidak dapat tersaring dengan kertas saring berdiameter 0,45 µm. TDS merupakan zat padat baik berupa ion, koloid, ataupun senyawa yang terlarut di dalam air (Effendi, 2003). Biomassa tumbuhan merupakan jumlah total bobot kering semua bagian tumbuhan hidup. Biomassa tumbuhan bertambah karena tumbuhan menyerap karbondioksida (CO₂) dari udara dan mengubah zat ini menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis. Berdasarkan hal tersebut terdapat interaksi yang erat baik diantara sesama individu penyusun vegetasi itu sendiri maupun organisme lainnya sehingga merupakan suatu sistem yang hidup dan tumbuh secara dinamis vegetasi, tanah dan iklim berhubungan erat dan pada tiap-tiap tempat mempunyai keseimbangan yang spesifik (Hamilton dan King, 1988).

b) Karakteristik kimia

Karakteristik Kimia, meliputi *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan pH. COD adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi material organik menjadi karbon dioksida dan air (Wardhana, 2001). COD merupakan banyaknya oksigen dalam mg/L yang dibutuhkan untuk

menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka semakin buruk kualitas air tersebut. Derajat keasaman atau pH merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan (Sutrisno,2006). Tanah dengan kualitas bagus biasanya memiliki pH dengan rentang 5-8. Tanah yang bersifat asam atau basa tergantung pada tinggi rendahnya pH atau banyak atau tidaknya konsentrasi hidrogen didalam tanah. Tanah yang memiliki pH lebih kecil dari pH normal akan bersifat asam, sedangkan tanah yang memiliki pH lebih besar dari pH normal akan bersifat basa. Air limbah dari air buangan industri yang dibuang ke permukaan tanah berotensi untuk mengubah pH menjadi tidak normal.

2.3 Bioremediasi

Bioremediasi adalah penggunaan sistem biologi untuk mengurangi polusi udara, air, atau sistem terestrial. Pemanfaatan mikroorganisme sebagai agen bioremediasi memiliki prospek yang menjanjikan karena mikroorganisme diketahui dapat memecah molekul polutan melalui jalur metabolisme yang biasanya digunakan organisme untuk pasokan energi dan pertumbuhannya (Marimuthu et al., 2013). Sistem enzimatik dari organisme digunakan untuk mengubah atau menurunkan senyawa beracun menjadi kurang beracun. Hasil dari mineralisasinya menjadi bentuk anorganiknya, misalnya CO_2 , NH_4^+ , dan PO_3^{2-} (Udiharto, 1996). Proses bioremediasi dipengaruhi beberapa faktor yaitu pH, suhu, kandungan air, karakteristik tanah, nutrisi, akseptor elektron, ketersediaan kontaminan dalam populasi mikroba (*bioavailability*), dan populasi mikroba yang mampu mendegradasi polutan. Bioremediasi dibagi menjadi dua yaitu *in situ* dan *ex situ*. *In situ* bioremediasi adalah teknik bioremediasi yang dilakukan langsung pada lokasi kontaminasi dengan faktor penghambat yang minimal. Beberapa teknologi bioremediasi *in situ* antara lain *bioventing*, *biosparging*, dan *bioaugmentation*. Sedangkan *ex situ* bioremediasi adalah bioremediasi yang dilakukan di tempat yang lain seperti di laboratorium land farming dan bioreaktor (Yani, 2003).

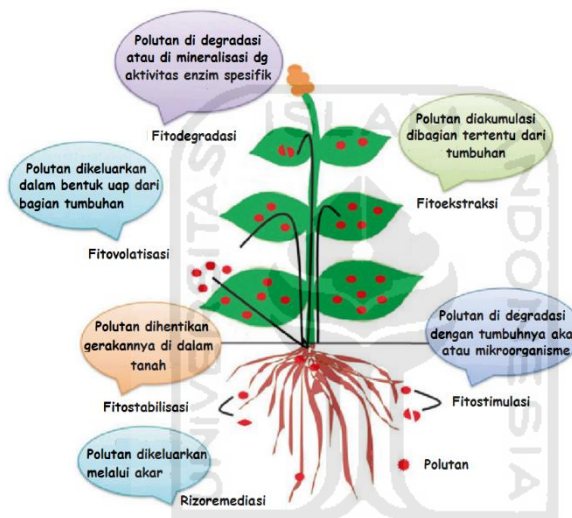
Bioremediasi dapat dilakukan dengan melibatkan proses degradasi secara aerobik dan anaerobik oleh mikroorganisme. Pengolahan limbah pewarna tekstil secara anaerobik akan menghasilkan pemotongan reduktif ikatan seyawa pewarna, sedangkan pengolahan secara aerobik akan mendegradasi produk yang terbentuk

pada langkah pertama dan menghasilkan produk akhir yang tidak berbahaya lagi (Ratna and Padhi, 2012).

2.4 Fitoremediasi

Menurut Komarawidjaja dan Garno (2015), Fitoremediasi adalah suatu teknologi yang menggunakan tanaman sedemikian rupa untuk melakukan proses menghilangkan kontaminan baik polutan organik maupun logam berat, hara tanaman dan mineral lainnya sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan.

Tahapan proses penghilangan polutan melalui teknologi fitoremediasi pada gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Proses Fitoremediasi Kontaminan pada Tanaman

1. Fitodegradasi yaitu suatu proses dimana tanaman yang berasosiasi dengan mikroorganisme perairan dan/atau tanah melalui biodegradasi polutan organik.
2. Fitoekstraksi yaitu suatu proses dimana tanaman melakukan penumpukan (konsentrasi) dan akumulasi polutan/kontaminan didalam jaringan tanaman.
3. Fitostabilisasi yaitu suatu proses dimana tanaman melakukan imobilisasi kontaminasi/polutan logam dalam zona perakaran, dan
4. Fitovolatilisasi yaitu suatu proses dimana tanaman melakukan serapan kontaminan didalam jaringan tanaman diatas permukaan tanah dan kemudian melakukan transformasi menjadi senyawa yang dapat menguap ke atmosfer.

2.5 Teknik Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri merupakan proses memisahkan suatu bakteri dari habitatnya di alam dan menumbuhkannya sebagai biakan murni dalam medium buatan. Sebelum isolasi dilakukan perlu diketahui cara-cara menanam dan menumbuhkan bakteri pada medium biakan tertentu yang sesuai dengan jenisnya serta syarat-syarat lain untuk menumbuhkannya (Jutono, 1980). Memindahkan bakteri dari medium lama ke medium baru diperlukan ketelitian dan sterilisasi alat-alat yang digunakan agar tidak terjadi kontaminasi. Pada pemindahan bakteri di cawan petri setelah agar baru, maka cawan petri tersebut harus dibalik, hal ini berfungsi untuk menghindari adanya tetesan air yang mungkin melekat pada dinding tutup cawan petri (Dwijoseputro, 1987).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan isolasi mikroorganisme yaitu: sifat setiap jenis mikroorganisme yang akan diisolasi, media pertumbuhan yang sesuai, cara menginokulasi mikroorganisme, cara menguji mikroorganisme yang telah diisolasi sesuai dengan yang diinginkan, dan cara memelihara agar mikroorganisme yang telah diisolasi tetap merupakan kultur murni. Menurut Stolp dan Starr (1981), ada beberapa teknik isolasi mikrobial yang biasa dilakukan antara lain yaitu *Spread Plate* (agar tabor ulas), *Pour Plate* (agar tuang), *Streak* (goresan), goresan sinambung, goresan T, dan goresan kuadran. Untuk teknik kultur yang digunakan untuk membiakan isolat murni terdapat tiga macam antara lain:

a. Teknik Penyebaran (*spread plate*)

Teknik ini hampir sama dengan teknik tuang, yang membedakan adalah Teknik penuangan media yang digunakan. Pada Teknik ini, proses isolasi bakteri dimulai dari pengenceran sampel, lalu dilanjutkan dengan proses penuangan media di dalam cawan petri. Kemudian media didiamkan beberapa saat hingga memadat, setelah itu proses penuangan sampel bakteri dilakukan (Waluyo, 2007).

b. Teknik Penuangan (*pour plate*)

Teknik ini bertujuan untuk memperkirakan jumlah bakteri yang berhasil hidup dalam suatu cairan. Perhitungan jumlah bakteri dalam Teknik penuangan ini menghasilkkan data dalam satuan koloni (Irianto, 2012).

c. Teknik Penggoresan (*streak*)

Teknik penggoresan dilakukan untuk mendapatkan koloni tunggal. Teknik ini dilakukan dengan cara menggoreskan jarum ose dengan bakteri di dalamnya ke permukaan media biakkan. Goresan yang dibentuk umumnya berupa lekukan beberapa kali dengan garis tunggal di akhir. Yang bertujuan agar koloni tunggal yang terbentuk tidak tumbuh bersamaan dengan isolat lainnya (Irianto,2012)

2.6 Indigenous Bacteria

Bakteri *indigenus* merupakan bakteri yang secara alami hidup bebas di alam dan memiliki berbagai macam manfaat bagi manusia. Beberapa hasil penelitian yang memanfaatkan bakteri *indigenus* telah banyak dilaporkan misalnya sebagai agen bioremediasi limbah, agen pengendalian hayati tanaman, penghasil antibiotik, agen pelarut fosfat, penghasil enzim-enzim potensial yang pemanfaatannya dapat digunakan dalam bermacam bidang industri dan sebagainya.

Bakteri telah banyak dimanfaatkan sebagai agensia bioremediasi yang mampu mendegradasi komponen pewarna yang bersifat toksik dan mengubahnya menjadi senyawa kimia yang tidak berbahaya. Kemampuan bakteri dalam mendegradasi zat warna pada limbah memiliki keterkaitan dengan enzim yang diproduksi oleh bakteri itu sendiri. Enzim tersebut berupa enzim lignolitik estraseluler, yang mana enzim ini memiliki kemampuan untuk merombak senyawa aromatic, polimer sintetik, dan zat warna melalui reaksi – oksidasi, yang pada akhirnya akan mengoksidasi beberapa senyawa karbon menjadi karbondioksida dan air secara sempurna (Siswanto et al, 2007). Proses perubahan dipicu oleh kemiripan sebagian struktur kimia lignin dengan zat pewarna sehingga bisa cocok dengan sisi aktif enzim lignolitik yang dihasilkan oleh bakteri (Martani et al, 2003).

Biodegradasi oleh bakteri *indigenus* dilakukan melalui reaksi enzimatik. Proses penguraian limbah dilakukan oleh enzim yang diproduksi oleh bakteri, yang mana enzim ini merupakan enzim yang diekskresi keluar sel dan memiliki kemampuan untuk merimbak sumbrat tertentu yang terkandung dalam suatu limbah. Selain itu enzim dapat mempercepat reaksi kimia tanpa ikut mengalami kontaminasi ataupun berubah setelah reaksi selesai. Hal ini menjadi salah satu keunikan proses pengolahan limbah dengan proses enzimatik (Purwaning, 2016). Kemampuan lain yang dimiliki mikroba indigen diantaranya adalah dapat

mendegradasi senyawa hidrokarbon guna kepentingan metabolisme dan perkembangbiakannya karena sifat petrofilik yang dimilikinya (Munawar et al, 2008).

2.7 Tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

Tanaman Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) merupakan salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dalam teknologi fitoremediasi karena memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menyerap polutan dan nutrisi. Tanaman vetiver memiliki sistem akar yang berlimpah, kompleks, panjang, dan vertikal. Akar tumbuh hampir lurus ke bawah dengan sedikit akar permukaan lateral, sehingga tidak mengganggu pertumbuhan tanaman yang lain. Sistem akar vetiver dapat mencapai 3-4 m pada tahun pertama penanaman. Menurut Komarawidjaja dan Garno (2015), kemampuan vetiver yang tinggi dalam menyerap nutrisi ditunjang dengan karakteristik morfologi dan fisiologinya mendukung sebagai organisme pengolah limbah antara lain batangnya yang tegak dan kaku sehingga sangat kuat dalam menahan aliran air yang cukup deras, tubuhnya tebal serta memiliki pori yang berfungsi sebagai filter untuk sedimen yang halus maupun yang kasar, sistem penetrasi akar yang dalam dan ekstensif sehingga dapat menahan buangan air, toleransi yang tinggi terhadap pencemar logam berat dan yang terakhir toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang kurang baik. Sehingga pemanfaatan vetiver sebagai penyerap pencemar organik akan mampu mengurangi pencemaran lingkungan.

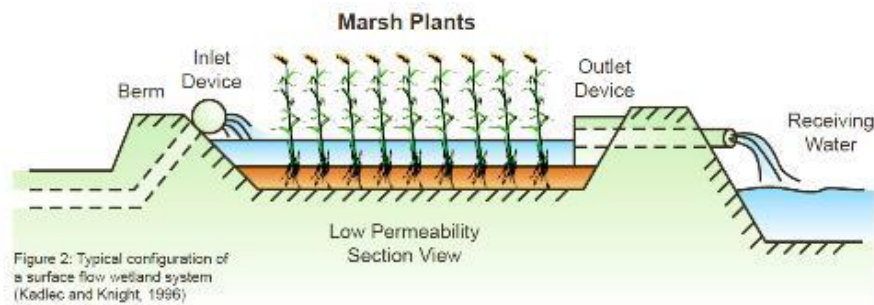
2.8 Constructed Treatment Wetland (CTW)

Constructed wetland merupakan lahan besar buatan, dengan fungsi pemurnian air limbah dengan menggunakan fisik, kimia dan metode biologi dalam sebuah *eco-system*, memanfaatkan proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, pertukaran ion dan penguraian mikroba (Tian, 2011).

Menurut UN HABITAT (2008), sistem *Constructed Wetland* secara umum berbeda dari pola aliran airnya yang mencakup aliran air di permukaan atas, permukaan bawah (horizontal dan vertikal) dan hybrid atau kombinasi antara keduanya.

2.8.1 Aliran Air Permukaan Bebas atau *Surface Flow (SF)*

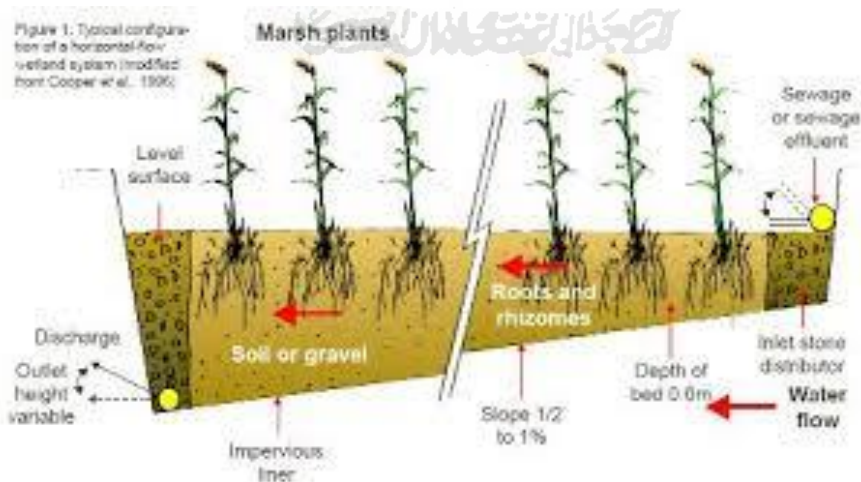
Surface Flow adalah keadaan dimana ketinggian air berada diatas permukaan tanah, terdapat vegetasi berakar dan diatas permukaan air terutama diatas tanah. Dari bentuk hidupnya, tanaman *macrophytes* mendominasi, sistem *Surface Flow* ini dapat dilakukan dengan menerapkannya secara spontan dan menggunakan tanaman yang terendam.



Gambar 2.3 Sistem *Surface Flow*

2.8.2 Sub-Surface Flow

Sub-Surface Flow adalah sistem dimana tingkat air berada di bawah permukaan tanah, air mengalir pada lapisan tanah atau kerikil, dan akar tanaman menembus hingga di bawah lapisan tanah.



Gambar 2.4 Sistem *Sub-Surface Flow*

2.9 Penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Hasil (Rangkuman)
1	<i>Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant-degradation and plant growth –promotion potentials</i>	^a M. Shezadi ^b K. Fatima ^c A. Imran ^d M. S. Mirza ^e Q. M. Khan ^f M. Afzal	2015	Hasil dari degradasi warna, COD, dan BOD dari bakteri endofit (<i>Pantoea sp.</i>) selama 48 jam yaitu 57%, 72%, dan 78% yang dibandingkan dengan media pengolahan kontrol
2	<i>Phytoremediating Batik Wastewater Using Vetiver Chrysopogon zizanioides (L)</i>	^a J. A. M Tambunan ^b H. Effendi ^c M. Krisanti	2017	Hasil Removal Efficiency untuk parameter kualitas air pada PL50 paling tinggi adalah BOD sebesar 98.47 % dan total krom sebesar 40.29 %. Sedangkan pada PL75 Removal Efficiency paling tinggi adalah pada parameter COD sebesar 92.45 %, TAN sebesar 85.01 %, amonia 86.47 % sebesar dan ammonium 82.57 %. Total akumulasi logam krom oleh vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides L.</i>) untuk masing-masing perlakuan menunjukkan akumulasi logam krom di akar lebih tinggi dibandingkan di daun. Limbah cair batik dapat diolah secara fitoremediasi oleh vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides L.</i>).
3	Kinerja <i>Subsurface Constructed Wetland Multylayer Filtration</i> Tipe Aliran Vertikal dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiver zizanioides</i>) dalam Penyisihan BOD dan COD dalam Air Limbah Kantin	^a A. D. Astuti ^b M. Lindu ^c R. Yanidar ^d M. M. Kleden	2016	Hasil efisiensi pengolahan parameter COD mencapai 69,2 – 80,0%

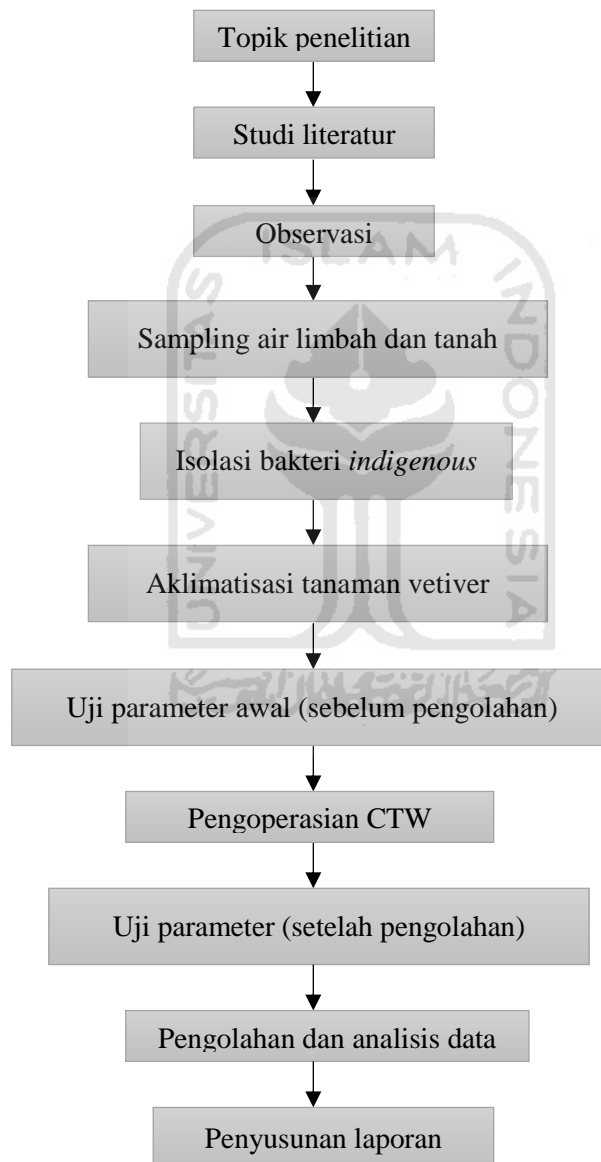
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian dimulai pada bulan Maret 2019 hingga Oktober 2019. Alur pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Penelitian

3.2 Sampling

Tanah merupakan habitat yang didominasi oleh mikroorganisme seperti bakteri, fungi, alga, dan protozoa. Sumber isolat bakteri yang digunakan adalah tanah di sekitar tempat pembuangan air limbah industri tenun Troso. Air limbah tenun diambil dengan metode *composite samples* dan mengacu pada SNI 6989.59:2008. Sampel air limbah diambil langsung dari tempat pewarnaan dan disimpan dalam jeriken berkapasitas 20 L, dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sample Air Limbah

Sedangkan pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah pada ke dalaman 10-20 cm. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel komposit, kemudian dimasukkan dalam plastik ziplock berlabel. Dan disimpan dalam ice box dalam perjalanan menuju laboratorium. Kedua sampel disimpan di dalam refrigerator dengan suhu 5°C. Dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Sample Tanah

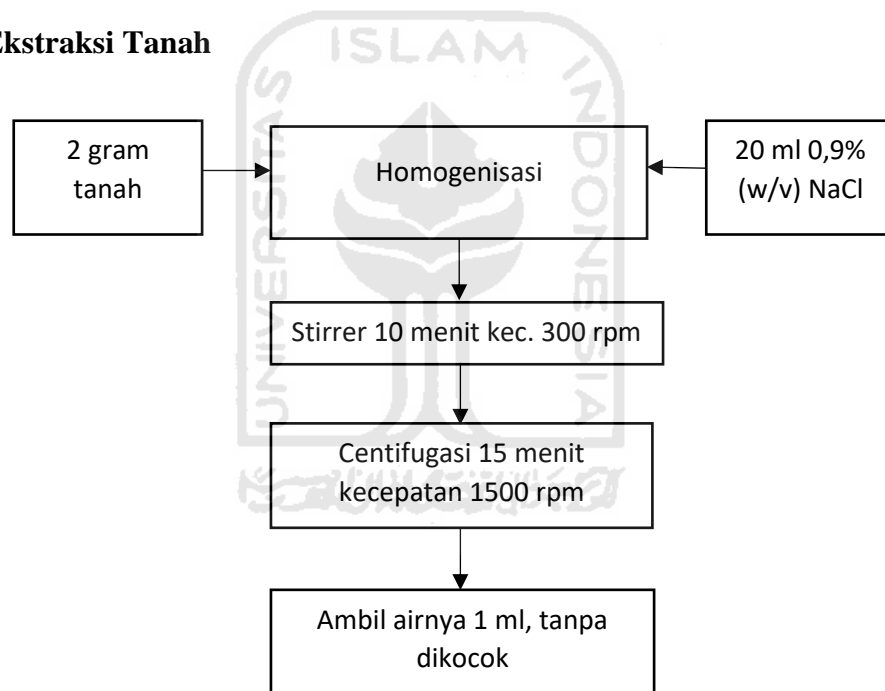
3.3 Isolasi Bakteri *Indigenous*

Isolasi bertujuan untuk mendapatkan bakteri *indigenous* yang bersumber dari sumber tanah yang tercemar limbah tekstil, proses isolasi *indigenous* mengacu pada shehzadi et.al (2015). Berikut sumber tanah yang diambil dan kode kultur bakteri tercantum pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Sumber Tanah dan Kode Kultur Bakteri

No	Sumber tanah pada tanaman	Kode Kultur Bakteri
1	<i>Oryza sativa</i>	T1
2	<i>Colocasia esculenta</i>	T2
3	<i>Digitaria sanguinalis</i>	T3
4	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	T4

3.3.1 Ekstraksi Tanah



Gambar 3.4 Tahapan Ekstraksi Tanah

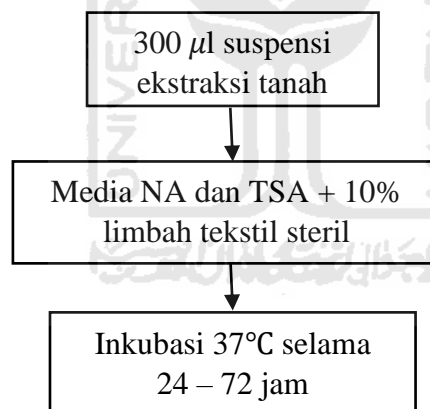
Dilakukan dengan mengambil tanah 2 gram yang telah dibersihkan, lalu ditambahkan 20 ml 0,9% (w/v) NaCl. Setelah itu di Stirrer selama 10 menit dengan kecepatan 300 rpm, kemudian selanjutnya lakukan centrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 1500 rpm dan ambil airnya sebanyak 1 ml letakkan di cawan petri, air yang diambil tidak perlu di kocok terlebih dahulu. Tujuannya agar endapan

yang berada di bawah tidak tercampur. Kemudian ekstrak tanah yang diperoleh, dapat ditumbuhkan di media.

3.3.2 Media Preparation

Media kontrol yang digunakan yaitu *Nutrient Agar* (NA) dan *Tryptic Soy Agar* (TSA). Kandungan dari masing masing media yaitu NA mengandung 7 gram NA dan aquades panas 250 ml; TSA mengandung 10 gr TSA dan aquades 250 ml. Dan bahan-bahan media dilarutkan dengan kecepatan stirrer NA dan TSA 140 rpm suhu dibawah 100°C. Agar menjadi media selektif, setiap media ditambahkan 7 % limbah cair tenun tujuannya untuk menumbuhkan bakteri yang berpotensi mendegradasi limbah cair tenun.

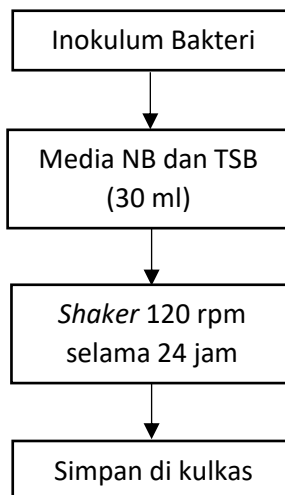
Setelah media siap, tahap selanjutnya adalah isolasi bakteri (Shehzadi et al, 2015). Tahapan isolasi bakteri dapat dilihat pada Gambar 3.5, setelah selesai inkubasi bakteri selama 24 jam, tahap selanjutnya lakukan pengamatan bakteri yang tumbuh dengan memilih 5-6 koloni yang berbeda untuk dikulturisasi.



Gambar 3.5 Tahapan Isolasi Bakteri

3.3.3 Kultivasi Bakteri

Pada tahap inkubasi selama 24-72 jam hasil yang didapat yaitu pada media NA bakteri tumbuh, pada media TSA bakteri tidak tumbuh karena media mengalami kontaminasi. Bakteri yang terdapat di media NA akan diperbanyak, untuk pengolahan limbah tenun. Tahapan selanjutnya berupa kultivasi bakteri yang dapat dilihat pada gambar 3.6.

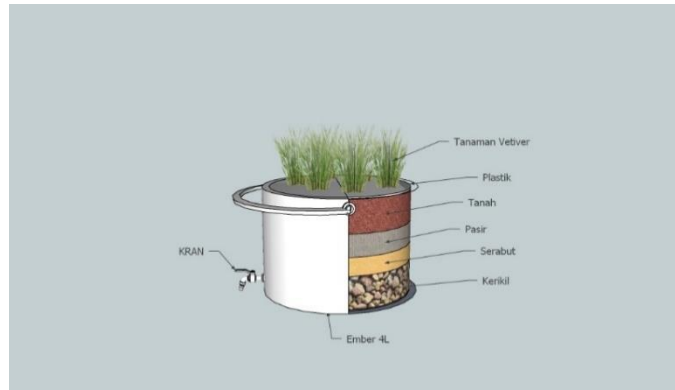


Gambar 3.6 Tahapan Kultivasi Bakteri

Inokulum bakteri disiapkan dengan menumbuhkan bakteri secara terpisah dalam *Nutrient Broth* (NB) dan *Tryptic Soy Broth* (TSB) dalam *shaker* (120 rpm) selama 24 jam dan kemudian disimpan dalam kulkas bersuhu 0°C.

3.4 Pengoperasian *Constructed Treatment Wetland* (CTW)

Constructed Treatment Wetland merupakan sistem pengolahan yang digunakan dengan berkombinasi sama tanaman vetiver. CTW dibuat menggunakan reaktor berupa ember berdiameter 18 cm dengan tinggi 19 cm dan daya tampung 4L. Reaktor atau ember dibuat lubang bagian sisi samping bawah untuk diletakkan keran, yang akan digunakan untuk mengambil limbah air sampling, dapat dilihat pada gambar 3.7. Dalam setiap reaktor terdapat 2 pot tanaman *vetiver* yang berisi 6-7 batang dengan tinggi 15 cm dan berat rata-rata 2,89 gram per batang. CTW dibuat 4 ember atau reaktor untuk diberi kultur bakteri dan 1 ember atau reaktor untuk kontrol. Cara pembuatan reaktor CTW yaitu dengan menyusun media berupa kerikil, serabut, tanaman vetiver, pasir dan tanah. Ketinggian masing-masing media yaitu kerikil ± 3 cm, serabut menutupi permukaan kerikil, pasir ± 6 cm, dan tanah ± 8 cm. Selanjutnya reaktor CTW ditutup dengan plastik yang telah diberi lubang di setiap tanamannya. Pembuatan reaktor CTW untuk kontrol hanya menyusun media-media yang ada tanpa diberi tanaman vetiver. Reaktor pengolahan berisi isolat bakteri dan limbah tekstil dengan perbandingan 1:10. Isolat bakteri sebanyak 500 ml diinokulasikan pada limbah tekstil 2 L.



Gambar 3.7 Desain Reaktor Constructed Treatment Wetland

3.5 Aklimatisasi Tanaman *Vetiver zizanioides*

Aklimatisasi dilakukan selama ± 30 hari dan pada setiap minggunya diberi pupuk, bertujuan untuk tanaman beradaptasi dengan media dan lingkungan baru, selain itu untuk memaksimalkan pertumbuhan tanaman sebelum diaplikasikan pada air limbah. Pupuk yang diberikan merupakan jenis pupuk B1, kandungan di dalamnya berupa P_2O_5 2%, Iron (Fe) 0,10%, vitamin B1 (*thiamine mononitrate*) 0,10% dan NAA 0,04%.



Gambar 3.8 Proses Aklimatisasi

3.6 Inokulasi Isolat Bakteri

Hasil dari kulturisasi bakteri dipanen untuk di inokulasi pada reaktor CTW, langkah-langkah untuk inokulasi isolat bakteri sebagai berikut:



Gambar 3.9 Inokulasi Bakteri ke Reaktor CTW

3.7 Sistem Pengolahan dengan CTW

Sistem pengolahan CTW dilakukan dengan sistem *batch* selama 45 hari, dengan melakukan sampling setiap 1 minggu sekali dan menambahkan limbah setiap dilakukan sampling, waktu penambahan limbah dapat dilihat pada tabel 3.3. Konsentrasi air limbah sebesar 25% dan reaktor CTW dibuat menjadi 5 macam reaktor, dengan beda perilaku tiap reaktornya. Berikut tabel perbedaan perilaku tiap reaktor:

Tabel 3.2 Perbedaan Perilaku Reaktor CTW

Kode Reaktor CTW	Reaktor CTW	Limbah Cair Tenun	Kultur Bakteri	Tanaman
CK 1	Kontrol	Limbah 25% + Media	-	-
C1	Tanaman + Bakteri	Limbah 25% + Media	T1	√
C2	Tanaman + Bakteri	Limbah 25% + Media	T3	√
C3	Tanaman + Bakteri	Limbah 25% + Media	T4	√
C4	Tanaman + Bakteri	Limbah 25% + Media	Tcampur (T1+T2+T3+T4)	√

Penambahan limbah cair dilakukan setelah sampling, disesuaikan dengan kondisi pada setiap Reaktor. Hal ini terjadi karena saat pengolahan berlangsung masuk pada musim panas, sehingga membuat air limbah di Reaktor cepat berkurang. Waktu sampling dan penambahan air limbah dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.3 Jadwal Sampling dan Penambahan Air Limbah (Refill)

Hari Ke-	0	5	8	10	16	23	24	25	30	40	45
Sampling dan pengujian parameter		√		√	√	√			√		√
Jumlah sampling (ml)		300		250	250	250			250		250
Refill limbah	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√
Jumlah refill (ml)	2000		350	400	450	250	100	200	500	500	1250

3.8 Pengujian Karakteristik Limbah Cair Tenun

Parameter yang diuji terdiri dari uji harian dan uji setiap sampling. Parameter yang diuji harian yaitu suhu, pH, DHL dan TDS. Sedangkan parameter yang diuji ketika sampling adalah parameter warna, TSS, dan COD. Parameter yang digunakan mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5

Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Metode pengukuran yang digunakan untuk setiap parameter yang akan diuji mengacu pada standar yang berlaku di Indonesia.

Tabel 3.4 Standar Uji Parameter Air Limbah

No	Parameter	SNI
1	Warna	SNI 6989.80:2011
2	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	SNI 6989.2:2009
3	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	SNI 06-6989.3:2004
4	Pb	SNI 6989.8:2009
5	Cd	SNI 6989.16:2009
6	Cr	SNI 6989.17:2009
7	Cu	SNI 6989.6:2009

Untuk karakteristik awal limbah cair tenun 25% dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.5 Karakteristik Awal Limbah Cair Tenun 25%

Parameter	Konsentrasi
Warna (Pt-Co)	3514,29
COD (mg/L)	3750
TSS (mg/L)	180
TDS ($\mu\text{S/cm}$)	1466
DHL (mg/L)	1620
pH	11
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	26
Pb (mg/L)	0,177
Cd (mg/L)	0,007
Cr (mg/L)	0,023
Cu (mg/L)	0,007
Berat basah akar (gram)	2,256
Berat basah batang (gram)	2,89
Berat kering akar (gram)	0,522
Berat kering batang (gram)	0,661

3.9 Analisa Data

Data diperoleh dari hasil uji parameter air limbah yang selanjutnya dianalisa dari persentase removal dan kondisi tanaman sebagai data pendukung. Hasil data diolah dalam bentuk grafik agar diketahui tren pengolahannya. Untuk data hasil uji biomassa dianalisis menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*), agar mengetahui ada perbedaan antara variasi Reaktor CTW. Hasil yang didapat dibandingkan dengan kadar maksimum baku mutu yang telah diatur, berikut baku mutu air limbah yang digunakan:

Tabel 3.6 Baku Mutu Air Limbah

No	Parameter	Kadar Maksimum	Acuan
1	Warna (Pt-Co)	200	Permen LHK No. P16/2019
2	COD (mg/L)	150	Perda Jateng No. 5/2012
3	TSS (mg/L)	50	Perda Jateng No. 5/2012
4	pH	6-9	Perda Jateng No. 5/2012
5	Suhu (°C)	38	Perda Jateng No. 5/2012
6	Timbal (Pb) (mg/L)	1	PP No. 82/2001
7	Kadmium (Cd) (mg/L)	0,01	PP No. 82/2001
8	Khrom total (Cr) (mg/L)	1	Perda Jateng No. 5/2012
9	Tembaga (Cu) (mg/L)	0,2	PP No. 82/2001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Isolasi Bakteri Indigenous dari Tanah yang Terkontaminasi Limbah Cair Tenun

Tanah yang digunakan terdapat pada 4 area yang berbeda, perbedaan pengambilan berada pada tanaman yang tumbuh di atasnya. Sampling tanah yang pertama pada area pertanian warga, tanaman yang tumbuh adalah tanaman padi (*Oryza sativa*), area kedua yaitu saluran irigasi yang ditumbuhi tanaman talas (*Colocasia esculenta*), area ketiga pada saluran irigasi tanaman yang tumbuh ada rumput jariji (*Digitaria sanguinalis*), dan area keempat pada saluran irigasi tanaman yang tumbuh ada tanaman kremah air (*althernanthera philoxeroides*). Isolasi bakteri menggunakan media *Nutrient Agar (NA)*, dan *Tryptic Soy Agar (TSA)* dengan teknik *pour plate*, yang telah ditambahkan limbah cair tenun sebanyak 7%. Tujuannya sebagai media selektif untuk mendapatkan bakteri yang mampu mendegradasi limbah tersebut. Berikut ini merupakan hasil dari isolasi bakteri indigenous setelah diinkubasi selama 24 jam.

Tabel 4.1 Hasil Isolasi Bakteri Indigenous

Media	Sumber tanah pada Tanaman	Kode Cawan	Keterangan
NA	Padi	NA T1	Tumbuh Bakteri
	Talas	NA T2	Tumbuh Bakteri
	Rumput Jariji	NA T3	Tumbuh Bakteri
	Kremah Padi	NA T4	Tumbuh Bakteri
TSA	Padi	TSA T1	Tidak Tumbuh Bakteri
	Talas	TSA T2	Tidak Tumbuh Bakteri
	Rumput Jariji	TSA T3	Tidak Tumbuh Bakteri
	Kremah Padi	TSA T4	Tidak Tumbuh Bakteri

Kemudian bakteri yang tumbuh akan dikulturasikan, yang mana bertujuan untuk memperbanyak kultur bakteri dan bisa diinokulasi ke CTW agar membantu tanaman dalam mendegradasi limbah cair tenun. Kultur bakteri yang diinokulasi ke CTW adalah kultur NA T1, NA T3, dan NA T4.

Berikut merupakan ciri-ciri morfologi bakteri yang dipilih untuk diinokulasi pada tanaman:

Tabel 4.2 Ciri-ciri Morfologi Koloni Bakteri

Koloni	Keterangan
<p data-bbox="587 790 703 824">NA T1 c</p> 	<p data-bbox="906 439 1018 472">Koloni 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 495 1267 528">- Berbentuk lingkaran <li data-bbox="954 551 1289 584">- Elevasi koloni convex <li data-bbox="954 607 1219 640">- Tidak transparan <li data-bbox="954 663 1267 696">- Berwarna putih susu <p data-bbox="906 719 1018 752">Koloni 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 775 1299 808">- Berbentuk filamentous <li data-bbox="954 831 1241 864">- Elevasi koloni flat <li data-bbox="954 887 1219 920">- Tidak transparan <li data-bbox="954 943 1203 976">- Berwarna putih <p data-bbox="906 999 1018 1032">Koloni 3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 1055 1267 1088">- Berbentuk lingkaran <li data-bbox="954 1111 1289 1144">- Elevasi koloni convex <li data-bbox="954 1167 1219 1200">- Tidak transparan <li data-bbox="954 1223 1219 1256">- Berwarna kuning <p data-bbox="906 1279 1018 1312">Koloni 4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 1335 1257 1368">- Berbentuk irregular <li data-bbox="954 1391 1273 1424">- Elevasi koloni raised <li data-bbox="954 1447 1219 1480">- Tidak transparan <li data-bbox="954 1503 1203 1536">- Berwarna putih
<p data-bbox="587 1563 703 1597">NA T3 a</p> 	<p data-bbox="906 1554 1018 1588">Koloni 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 1610 1267 1644">- Berbentuk lingkaran <li data-bbox="954 1666 1289 1700">- Elevasi koloni convex <li data-bbox="954 1722 1219 1756">- Tidak transparan <li data-bbox="954 1778 1203 1812">- Berwarna putih <p data-bbox="906 1834 1018 1868">Koloni 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="954 1890 1257 1924">- Berbentuk irregular <li data-bbox="954 1946 1187 1980">- Elevasi raised

	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak transparan - Berwarna putih <p>Koloni 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berbentuk irregular - Elevasi flat - Transparan - Berwarna putih
<p style="text-align: center;">NA T4 b</p> 	<p>Koloni 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berbentuk lingkaran - Elevasi koloni convex - Tidak transparan - Warna putih <p>Koloni 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berbentuk irregular - Elevasi koloni raised - Transparan - Warna putih susu <p>Koloni 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berbentuk rhizoid - Elevasi koloni raised - Tidak transparan - Warna putih susu

Pada penelitian ini tidak dilakukan identifikasi bakteri lanjutan, sehingga tidak diketahui jenis bakteri yang diperoleh dan hasil koloni bakteri yang terpilih langsung di terapkan pada bak CTW.

4.2 Kinerja *Constructed Treatment Wetlands*

Kinerja CTW bisa dilihat dari kemampuannya dalam menurunkan kadar pencemar atau parameter pencemar. Keterbatasan CTW dalam meningkatkan kualitas air adalah kecepatan proses yang tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti suhu, ketersediaan oksigen, ph, dll; lalu ada

keterbatasan hidrologis, dimana *hydraulic overload* ketika arus melebihi kapasitas disain menyebabkan waktu penyimpanan terlalu singkat untuk penghapusan polutan secara efektif (Suswati, 2012). Keterbatasan lainnya yaitu keterbatasan lingkungan yang misalnya material organik, nutrisi atau racun dan kekurangan oksigen dan yang terakhir keterbatasan lahan sehingga dimensi CTW tidak memenuhi waktu tinggal untuk proses penurunan polutan. Perbandingan kinerja CTW berdasarkan perbedaan bakteri yang diberikan kedalam reaktor dengan menggunakan tanaman air yang sama dalam menurunkan kadar polutan. Dalam penelitian ini ada beberapa pengujian antara lain COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), Warna, Biomassa, pH, Suhu, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan Ec (*Electrical Conductivity*).

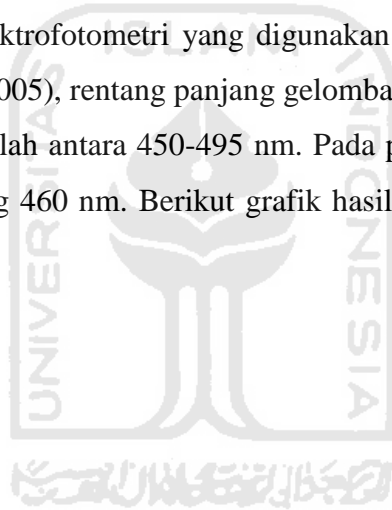
Di penelitian sebelumnya, dilakukan pengecekan awal dari karakteristik awal limbah yang akan diolah. Konsentrasi limbah pewarna yang didapat konsentrasinya COD 3855 mg/L, TSS 1180 mg/L, dan warna 152,83 Pt-Co. Dari rentan tersebut, penerapan pada tiap reaktor berbeda tingkat konsentrasi limbahnya, yang bertujuan untuk mengetahui tingkat efek pada kematian tanaman. Pada tingkat konsentrasi limbah 10% dan 20% tidak berefek pada kematian tanaman, sedangkan pada konsentrasi limbah 30%, 40% dan 50% memiliki efek kematian pada tanaman (Tangahu, 2016). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan air limbah cair tenun dengan konsentrasi 25%. Pengolahan limbah cair tenun dengan sistem CTW dilakukan selama 45 hari dengan system *batch*. Reaktor CTW dibuat sebanyak 5 kombinasi (Tabel 3.2 Perbedaan Perilaku Reaktor CTW), 4 reaktor kombinasi tanaman vetiver dengan bakteri dan 1 reaktor kontrol. Adapun jadwal sampling uji parameter dan pengisian air limbah pada reaktor CTW dapat dilihat pada Tabel 3.3 Jadwal Sampling dan Penambahan Air Limbah (Refill).

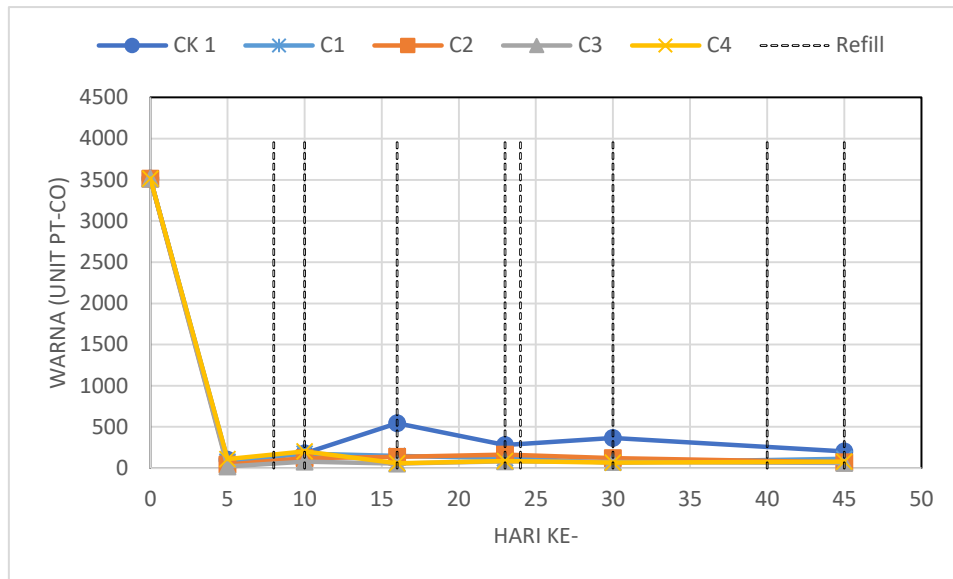
4.2.1 Perubahan Warna

Warna limbah tenun berwarna biru tua gelap, hal ini menunjukkan bahwa warna limbah tenun sangat pekat. Hasil dari kinerja CTW bisa dilihat pada setiap waktu sampling, perubahan warnanya dapat dilihat pada

lampiran 1. Perubahan warna terlihat di semua reaktor, perubahan yang didapat semakin jernih. Pada reaktor CTW T1 dan Tcampur terlihat perubahannya dari sampling hari ke 5, sedangkan di reaktor CTW T3 dan T4 perubahannya mulai dari sampling hari ke 10. Dari hasil perubahan warna yang tertera di lampiran 1, sampling hari ke 23 hasilnya lebih kuning dibandingkan sampling di hari-hari sebelum dan sesudahnya. Hal ini dapat dilihat bahwa waktu tinggal dari reaktor CTW mempengaruhi hasil perubahan warna, karena mengalami proses penyaringan di masing masing reaktor.

Selain dilihat dari perubahan warna, penelitian ini melakukan pengujian zat warna. Sebelum melakukan analisa terhadap warna terlebih dahulu membuat kalibrasi warna untuk menentukan panjang gelombang optimum pada spektrofotometri yang digunakan saat pembacaan larutan. Menurut APHA (2005), rentang panjang gelombang yang digunakan untuk warna biru tua adalah antara 450-495 nm. Pada penelitian ini, mengambil panjang gelombang 460 nm. Berikut grafik hasil pengujian warna selama pengolahan:





Keterangan:

CK 1 : Kontrol

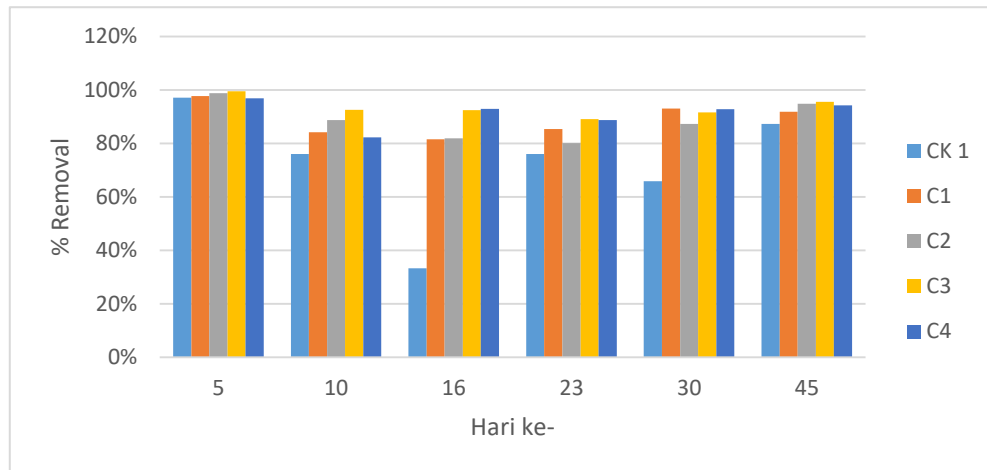
C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campuran T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.1 Hasil Pengujian Warna selama Pengolahan

Hasil pengujian warna pada konsentrasi awal limbah 3514,29 unit Pt-Co, tren pengolahannya mengalami penurunan signifikan di keseluruhan reaktor dengan kombinasi tanaman dan bakteri. Sehingga dengan hasil pengujian warna tersebut menunjukkan bahwa CTW mempunyai kinerja yang baik dalam menurunkan zat warna.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campuran T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.2 Persentase Removal Warna

Berdasarkan data diatas, terlihat bahwa reaktor tanaman atau kontrol dan sistem *constructed treatment wetland* memiliki pengaruh terhadap penurunan warna pada limbah cair tenun. Penurunan warna pada reaktor C1 dan C2 sama sama mencapai 89%, dan pada reaktor C3 dan C4 mencapai 93% dan 91%. Sedangkan pada reaktor kontrol penurunan warna hanya mencapai 72% karena ada pengaruh antara reaktor yang diberi bakteri dan tanaman dengan kontrol tanpa diberi bakteri dan tanaman, hanya komposisi media saja. Kemungkinan ada juga pengaruh filtrasi dalam reaktor sehingga menyebabkan penurunan yang hanya sedikit. Dilihat dari konsentrasi warna rata-rata pada reaktor kontrol yang mencapai penurunan warna sebesar 72% terendah dari yang lain, memiliki konsentrasi rata-ratanya sebesar 741,02 unit Pt-Co. Sedangkan untuk penurunan warna tertinggi mencapai 93% terjadi pada reaktor C3, konsentrasinya mencapai 555,20 unit Pt-Co.

Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010), kenaikan nilai removal warna ini menggambarkan terjadi proses penguraian oleh mikroorganisme yang terjadi di zona akar atau yang lebih dikenal dengan istilah rizodegradasi. Kenaikan removal zat warna juga

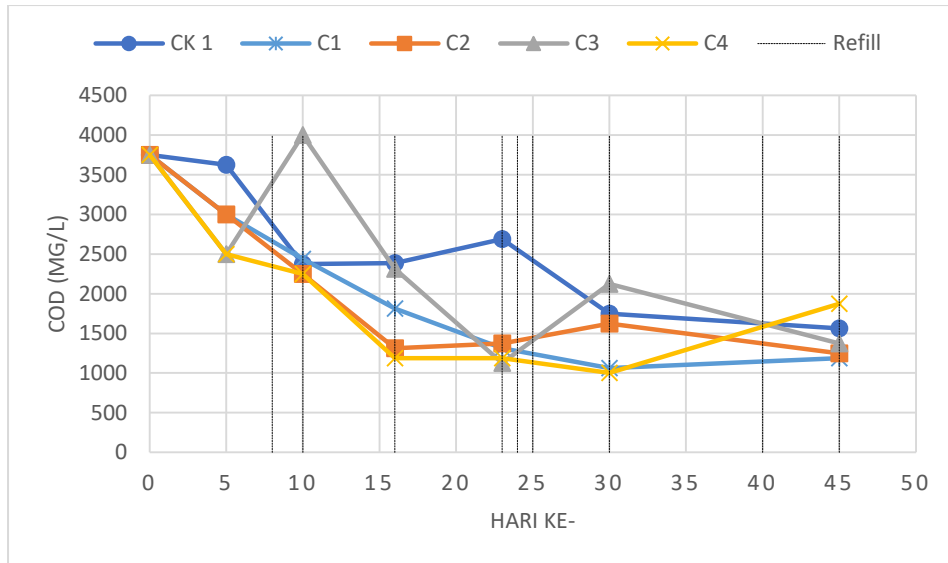
menandakan bahwa limbah pewarnaan tenun mengandung banyak zat organik. Berdasarkan Carliell et al. (1995), zat warna dapat direduksi dan dapat dipecah rantai ikatannya dengan bantuan mikroorganisme pengurai. Proses awal yang terjadi yaitu mendegradasi senyawa rantai panjang penyusun zat warna menjadi rantai pendek yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi tumbuhan untuk sintesis komponen-komponen penyusun sel baru.

Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.16 Tahun 2019, ambang batas warna air limbah industri tekstil adalah 200 Pt-Co. Dari hasil data, Reaktor dengan tanaman dan bakteri (C1, C2, C3, dan C4) hasilnya dibawah ambang batas, yaitu C1 111,429 unit Pt-Co, C2 72,143 unit Pt-Co, C3 61,429 unit Pt-Co, dan C4 79,286 unit Pt-Co. Sedangkan Reaktor control (CK 1) diatas ambang batas yakni 201,429 unit Pt-Co.

Dari hasil pengujian warna dapat disimpulkan bahwa penurunan konsentrasi pada Reaktor control lebih kecil dibandingkan Reaktor tanaman dan bakteri, hasil yang didapat sama seperti pada penelitian sebelumnya (Tara et al, 2018; Hussain et al, 2018).

4.2.2 Penurunan *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Menurut Boyd (1998), COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan seluruh bahan organik di dalam air secara kimiawi dengan menggunakan oksidator kuat. Berikut adalah hasil pengukuran COD di Laboratorium



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

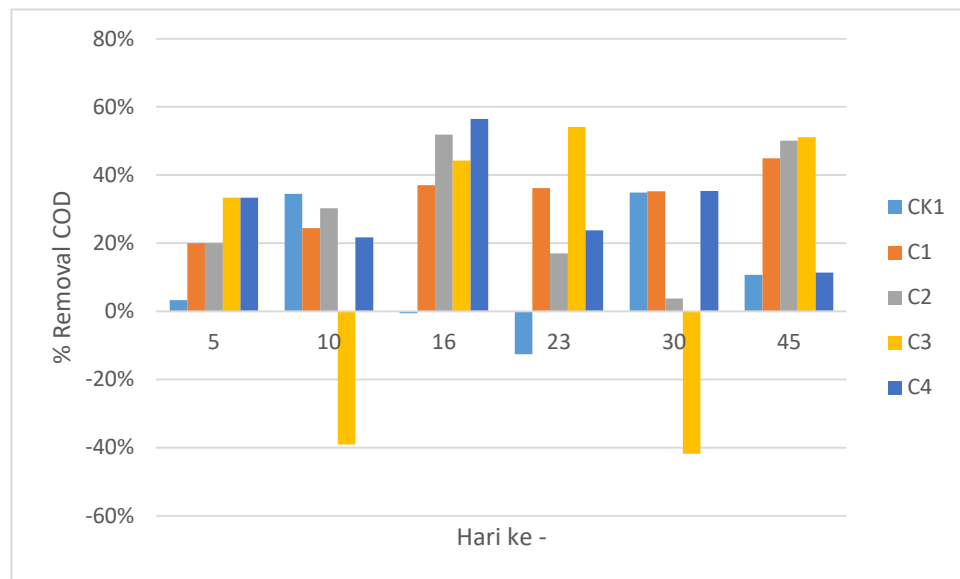
C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.3 Penurunan COD selama Pengolahan

Konsentrasi awal COD pada limbah 25% sebelum pengolahan adalah 3750 mg/L. Pada hari ke 5 mengalami penurunan pada semua Reaktor, dan pada hari ke 10 pada Reaktor C3 mengalami kenaikan hingga 4000 mg/L, kenaikannya melebihi konsentrasi awal 3750 mg/L. Kenaikan konsentrasi tersebut dikarenakan aktivitas kimia dengan bakteri sangat aktif sehingga membutuhkan oksigen untuk menguraikan zat organik (Dewi et al, 2016). Sedangkan pada Reaktor C1, C2 dan C4 mengalami penurunan dari konsentrasi 3000 mg/L pada C1 dan C2, C4 2500 mg/L, menjadi C1 2437,5 mg/L; C2 dan C4 2250 mg/L. Penurunan ini dikarenakan bakteri membutuhkan waktu untuk mengolah COD. Selain itu juga terdapat faktor penambahan limbah cair pada setiap Reaktor.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.4 Persentase Removal COD

Reaktor kontrol CK 1 konsentrasi awal 3750 mg/L, dengan waktu pengolahan 45 hari menurunkan COD menjadi 1562,5 mg/L dan efisiensi penurunan terbesarnya pada hari ke 30 yaitu 35%, ini dikarenakan mudah terurainya senyawa organik dengan padatan tersuspensi yang lebih banyak mengendap. Pada umumnya padatan dapat mengendap sebanyak 60% dari padatan tersuspensi dalam air limbah (Metcalf and Eddy, 2003). Penurunan COD terbesar terjadi pada Reaktor C4 pada hari ke 16 yaitu 56%. Yang konsentrasi awalnya sebesar 3750 mg/L menjadi 1187,5 mg/L.

Pada reaktor tanaman + bakteri mengalami penurunan efisiensi removal pengolahan, hal ini disebabkan karena beban yang masuk cukup tinggi sedangkan mikroorganisme yang hidup memiliki kapasitas yang terbatas dalam penyisihan atau mengalami kejenuhan sehingga tidak seluruh bahan organik yang ada dapat diolah dengan baik.

Pada reaktor control mengalami penurunan dilihat dari hasil efisiensi removal pada gambar 4.2. Hal ini menunjukkan terjadinya proses

filtrasi yang dilakukan oleh media yaitu pasir dan kerikil. Menurut supradata (2005) menyatakan bahwa media berperan dalam membantu terjadinya proses sedimentasi serta membantu penyerapan (adsorpsi) bau dari gas hasil biodegradasi, serta tempat berkembangbiaknya mikroorganisme. Hal ini menjawab pertanyaan mengapa pada reaktor control dimana didalamnya tidak terdapat tanaman masih mampu menurunkan polutan dalam air limbah tenun. Proses yang terjadi pada reaktor control berupa reaksi fisik oleh adanya media pasir dan kerikil yang terdapat pada reaktor.

Antara reaktor kontrol dengan reaktor berperilaku ditambah bakteri dan limbah berdasarkan data removal, hasil yang bagus yaitu reaktor berperilaku karena ada pengaruh pada tanaman dan bakteri yang ada. Bakteri yang diberikan bertujuan untuk mendekolorisasi limbah tenun dan tanaman bertujuan untuk menyerap kontaminan yang ada pada limbah. Suhu pada reaktor kontrol tinggi sehingga kadar oksigen yang ada didalamnya akan berkurang dan menyebabkan menurunnya efisiensi removal.

Menurut Khiatuddin (2003), kenaikan nilai removal COD terjadi karena proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada akar tumbuhan kemudian yang dimanfaatkan untuk fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO_2 dan H_2O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas bantuan sinar matahari. Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran tumbuhan tersebut. Tumbuhan mempunyai peranan dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri. Mikroorganisme pembongkaran bahan organik merupakan activator biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah tenun akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

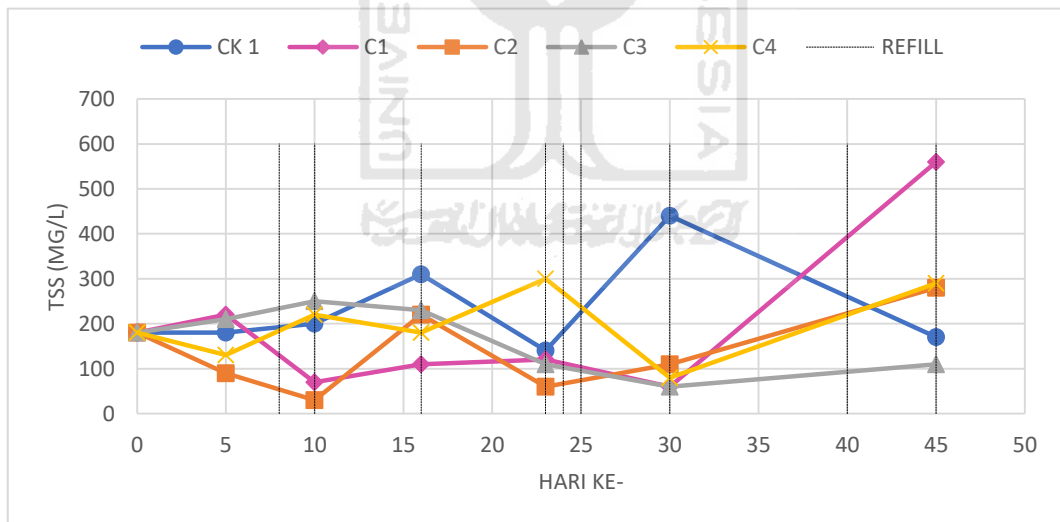
Selain itu kemampuan CTW untuk menurunkan nilai COD dilihat dari waktu tinggal, waktu tinggal yang dilakukan pada penelitian ini sekitar

45 hari. Menurut Dhamayanthie (2000) menyatakan bahwa perpanjangan waktu pemaparan akan menghasilkan penyisihan organik yang lebih baik karena kontak antara mikroorganisme dengan limbah berlangsung cukup lama.

Data oksigen terlarut yang telah didapatkan kemudian dibandingkan dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Kadar maksimum yang diperbolehkan yakni sebesar 150 mg/L. Berdasarkan dengan peraturan yang telah ditetapkan diketahui bahwa rata-rata konsentrasi COD pada penelitian ini masih melebihi baku mutu yang ada.

4.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) adalah bahan-bahan yang tersuspensi dalam air dengan diameter $>1 \mu\text{m}$ seperti pasir halus, lumpur, jasad renik, dan hasil pengikisan tanah (Effendi, 2003). Pada penelitian ini TSS pada CTW selama waktu pengambilan sampel terdapat pada gambar berikut



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

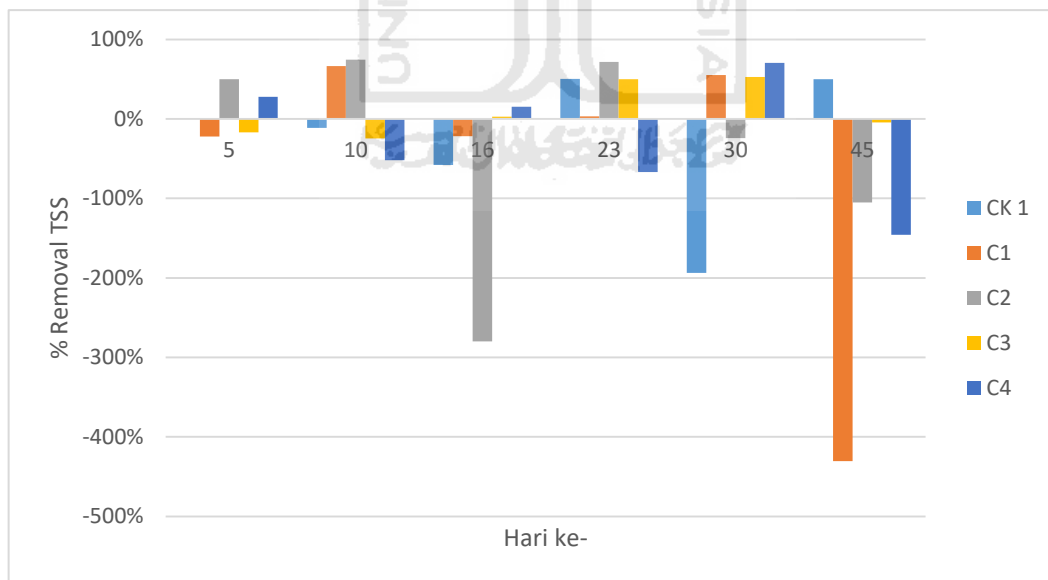
C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.5 Penurunan Kadar TSS pada CTW

Berdasarkan dari hasil data, diketahui bahwa TSS CTW mengalami fluktuasi. Nilai TSS rata-rata untuk reaktor kontrol CTW sebesar 231,4

mg/L, nilai rata-rata TSS untuk reaktor C1 yakni 188,5 mg/L, nilai rata-rata TSS untuk reaktor C2 dan 3 sebesar 138,5 mg/L dan 164,2 mg/L, sedangkan untuk nilai rata-rata TSS reaktor C4 sebesar 197,1 mg/L. Konsentrasi nilai TSS rata-rata tertinggi berada pada reaktor kontrol dan disusul oleh reaktor C4 dan rata-rata terendah ada pada reaktor C2. Menurut Supradata (2005), perbedaan laju penurunan TSS pada tiap-tiap reaktor bisa terjadi, akibat perbedaan porositas media yang dibentuk oleh sistem perakaran tanaman dalam reaktor.

Bahwa penurunan kandungan TSS di dalam air limbah yang melalui proses lahan basah buatan dengan berupa bak reaktor, lebih besar penurunannya dengan adanya di tanami tanaman sebagai penyerap kandungan TSS di limbah. System perakaran tanaman yang terbentuk dalam reaktor tidak tumbuh secara merata pada masing-masing reaktor, sehingga pola aliran limbah tidak membentuk aliran sumbat yang sama untuk masing-masing reaktor. Dengan demikian, maka kecenderungan penurunan TSS pada masing-masing reaktor tidak dapat dibandingkan, sehingga hasil penurunan TSS pada tiap-tiap bak reaktor tidak signifikan.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

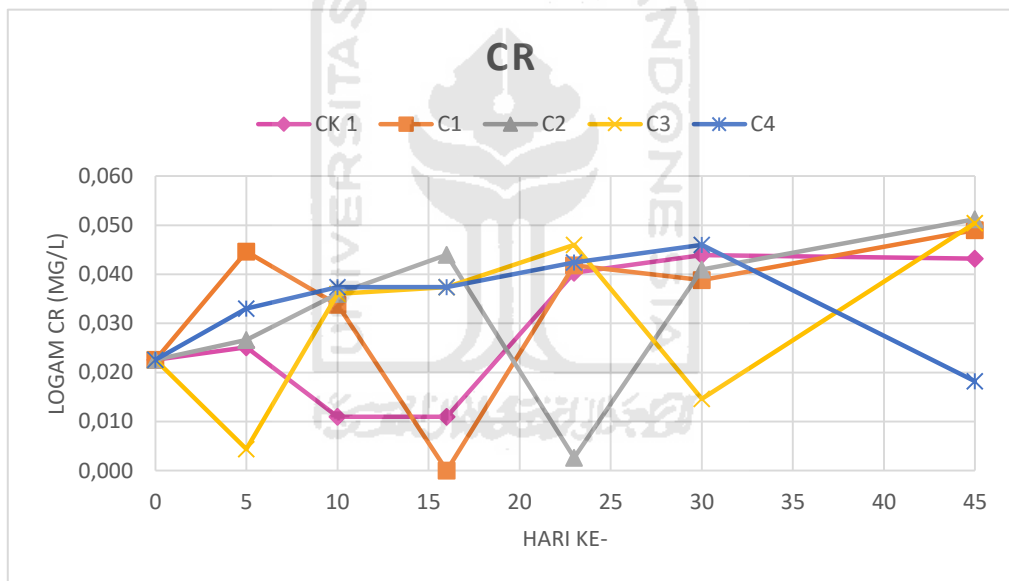
C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.6 Persentase Removal TSS

Berdasarkan hasil diatas bisa disimpulkan bahwa dalam pengolahan limbah cair tenun dengan sistem *constructed treatment wetland* kurang efektif dalam menurunkan kadar *Total Suspended Solid (TSS)*. Karena dengan data yang didapat hasil menunjukkan bahwa kurang konsisten dalam mengolah penurunan kadar TSS.

Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 untuk baku mutu TSS, kadar maksimum yang diizinkan oleh pemerintah adalah sebesar 50 mg/L. Berdasarkan data yang didapat pada Laboratorium, yang seluruh nilai rata-rata konsentrasi tergolong melebihi ambang baku mutu yang telah ditentukan.

4.2.4 Kemampuan Pengolahan Logam Berat



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

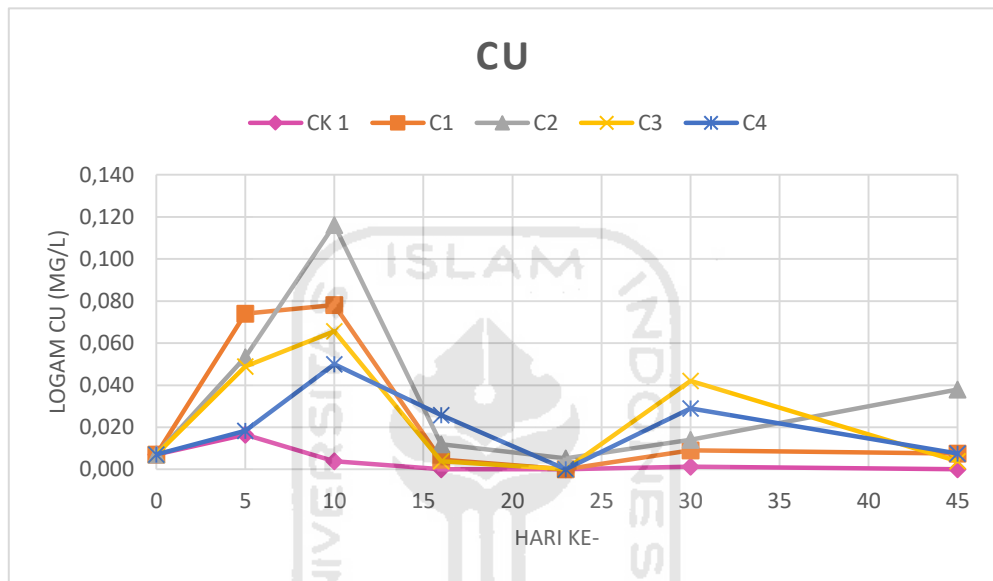
C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.7 Konsentrasi Logam Cr

Hasil dari pengujian logam Cr konsentrasinya fluktuatif, dapat dilihat pada konsentrasi awal 0,023 mg/L, hingga pada pengolahan terakhir hasilnya meningkat. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kembali

limbah ke reaktor dan limbah berakumulasi di dalam reaktor. Sama dengan reaktor kontrol, reaktor dengan tanaman (C1,C2,C3,C4) pun hasilnya meningkat. Konsentrasi masing-masing reaktor adalah C1 0,049 mg/L, C2 0,051 mg/L, C3 0,050 mg/L, dan C4 0,018 mg/L. Dari hasil tersebut masih dibawah baku mutu dari Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik, kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 1 mg/L.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

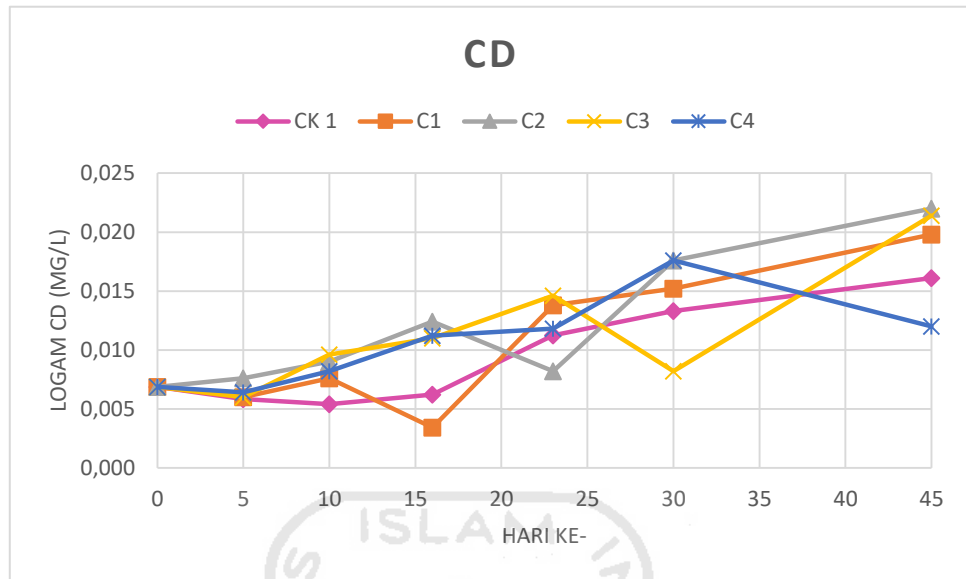
C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.8 Konsentrasi Logam Cu

Pada gambar 4.8 hasil konsentrasi Cu menunjukkan hasil yang fluktuatif, hal ini dikarenakan adanya penambahan kembali limbah cair tenun pada reaktor CTW. Dilihat pada konsentrasi awal limbah kandungan logam Cu sebesar 0,007 mg/L, pada hari ke 23 konsentrasi logam Cu yang diperoleh kurang dari limit of detection yaitu <0,0002. Dan hasil pada pengolahan hari ke 45 diperoleh C1 0,008 mg/L, C2 0,038 mg/L, C3 0,004 mg/L dan C4 0,008 mg/L. Dari hasil tersebut konsentrasi logam Cu masih dibawah baku mutu Peraturan Pemerintahan No 82 Tahun 2001 tentang

Pengelolaan Kualitas Air dan Pendalian Pencemaran Aair (Kelas IV) dengan kadar maksimum sebesar 0,2 mg/L.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

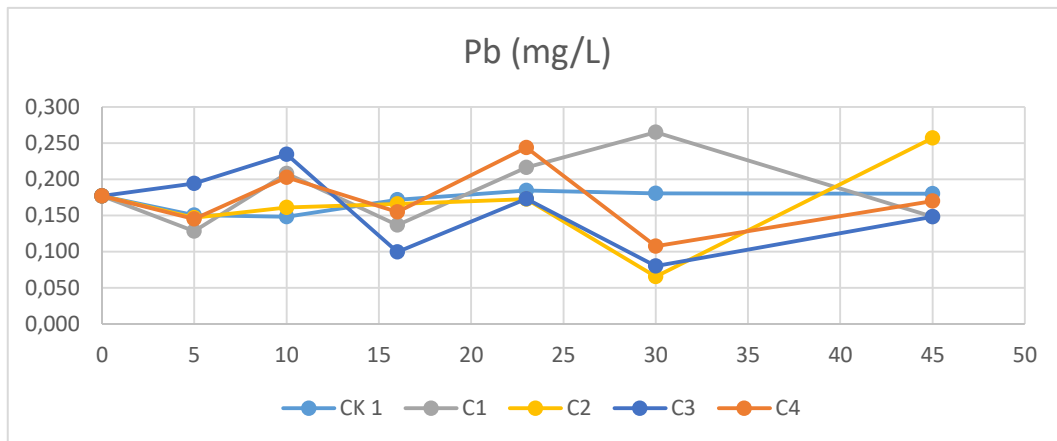
C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campuran T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.9 Konsentrasi Logam Cd

Pada gambar 4.9 hasil konsentrasi logam Cd berfluktuasi dan semakin meningkat diakibatkan oleh penambahan air limbah kembali pada setiap reaktor sehingga beban logam berat meningkat. Konsentrasi awal logam Cd dari limbah 25% adalah 0,007 mg/L, dan hasil dari pengolahan pada hari ke 45 mencapai CK1 0,016 mg/L, C1 0,020 mg/L, C2 0,022 mg/L, C3 0,021 mg/L, dan C4 0,012 mg/L. Dari hasil ini beberapa reaktor masih melebihi baku mutu (kecuali reaktor CK1 dan C4) dari Peraturan Pencemaran Air (Kelas IV) yang memperbolehkan kadar maksimum sebesar 0,01 mg/L.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

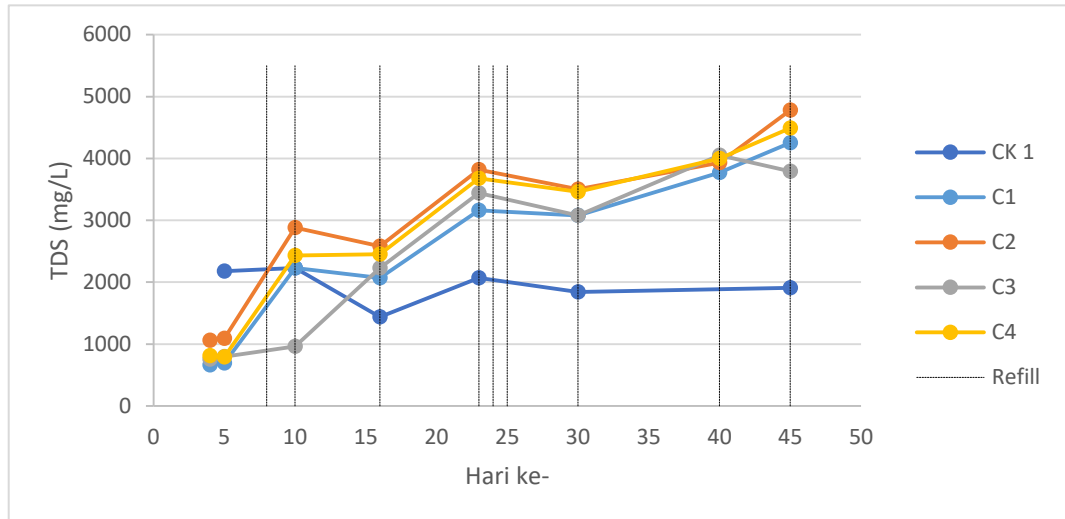
C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.10 Konsentrasi Logam Pb

Konsentrasi awal logam Pb dari limbah 25% adalah 0,177 mg/L, dan pada pengolahan hari ke 30 mengalami penurunan pada beberapa reaktor yaitu reaktor C2, C3 dan C4 dengan konsentrasi masing-masing adalah 0,065 mg/L, 0,080 mg/L, dan 0,107 mg/L. Penurunan konsentrasi ini menunjukkan bahwa reaktor yang diinokulasi dengan tanaman dapat mereduksi logam Pb. Pada hari ke 45 hasil konsentrasi akhir reaktor adalah CK 1 0,180 mg/L, C1 0,148 mg/L, C2 0,257 mg/L, C3 0,148 mg/L, dan C4 0,170 mg/L, dibandingkan dengan baku mutu dari Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas IV) hasilnya masih dibawah kadar maksimum sebesar 1 mg/L.

4.2.5 Total Dissolved Solid (TDS)

Menurut Effendi (2003), *Total Dissolved Solid (TDS)* adalah bahan-bahan terlarut dengan diameter $<10^{-6}$ dan koloid dengan diameter 10^{-6} - 10^{-3} yang merupakan senyawa kimia dan partikel lainnya yang tidak dapat tersaring dengan kertas saring berdiameter 0,45 μm . Adapun nilai TDS yang didapatkan pada pengukuran yang dilakukan terdapat pada gambar berikut:



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

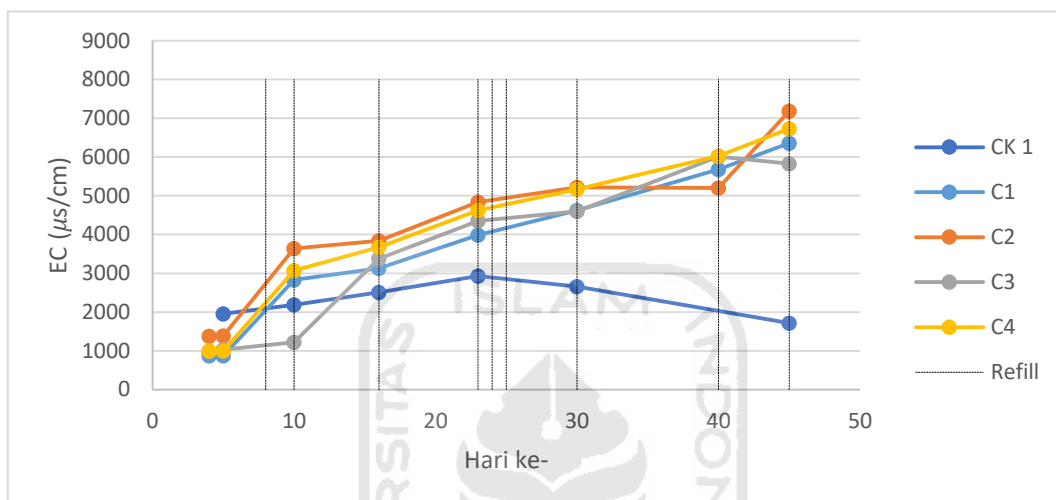
Gambar 4.11 Pengukuran TDS selama Pengolahan

Berdasarkan data diatas, konsentrasi TDS pada Reaktor rata-rata mengalami kenaikan. Kenaikan konsentrasi TDS dapat dilihat pada hari ke 23 reaktor CK 1, C1, C2, C3, dan C4 masing masing mempunyai konsentrasi 2070 mg/L, 3160 mg/L, 3820 mg/L, 3440 mg/L, 3680 mg/L. Sedangkan penurunan konsentrasi TDS terlihat pada hari ke 16 di reaktor CK 1, C1 dan C2 dengan konsentrasinya adalah 1440 mg/L, 2070 mg/L, dan 2580 mg/L.

4.2.6 Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya hantar listrik (DHL) merupakan daya hantar listrik dari suatu benda atau suatu zat dan kemampuan benda itu sendiri untuk menghantarkan listrik. DHL menurut *The American Society For Testing Material* (Arislan, 1989), adalah suatu kebalikan tahanan dalam ohm yang diukur pada muka tanah yang berlawanan dalam $\text{cm} \times \text{cm}^3$ pada suhu 25°C diukur dalam micromho(s).

Keterangan:



CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Daya Hantar Listrik selama pengolahan

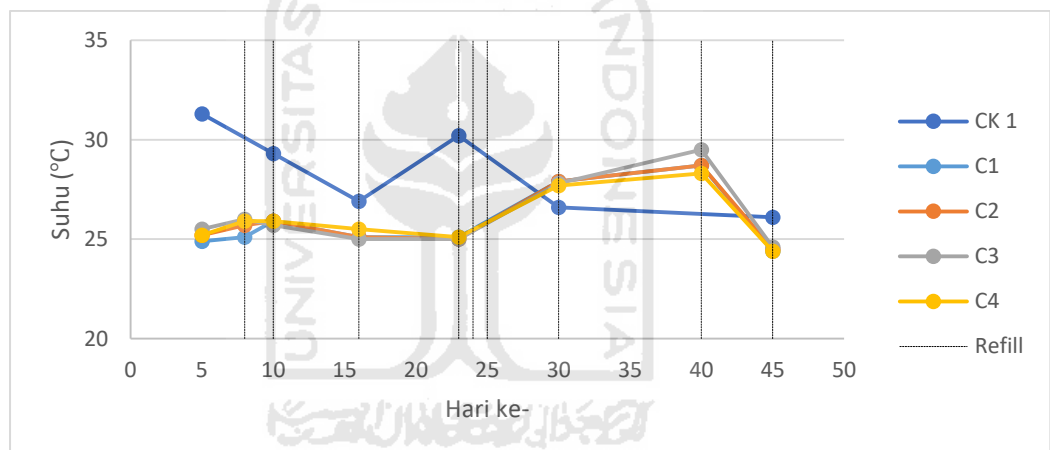
Dari data hasil diatas, pada reaktor dengan tanaman dan bakteri mengalami kenaikan selama waktu pengolahan yakni 45 hari. Sedangkan pada reaktor kontrol berbeda, reaktor kontrol memiliki tren yang menurun. Kenaikan DHL terlihat dari hari ke 10 pada reaktor C1, C2, C3, C4 dengan konsentrasi masing-masing yaitu $2830 \mu\text{s}/\text{cm}$, $3640 \mu\text{s}/\text{cm}$, $1220 \mu\text{s}/\text{cm}$, dan $3070 \mu\text{s}/\text{cm}$. Kenaikan terlihat ketika ada penambahan limbah cair pada setiap reaktor. Namun berbeda dengan reaktor kontrol, reaktor kontrol lebih cenderung stabil karena tidak adanya penambahan limbah cair dan pengolahan pada reaktor kontrol.

Konduktivitas air akan tinggi apabila ion yang hadir semakin banyak, dan demikian juga sebaliknya konduktivitas rendah maka ion yang hadir

semakin sedikit. Konduktivitas yang tiba-tiba berubah di dalam badan air akan berdampak pada timbulnya polusi (EPA, 2012). Nilai TDS biasanya lebih kecil dibandingkan nilai DHL/EC. Dan untuk reaktor perlakuan rata-rata menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan TDS, sedangkan untuk kontrol TDS awal lebih tinggi dibandingkan DHL/EC dan di hari terakhir yaitu hari ke-45 lebih tinggi TDS.

4.2.7 Suhu

Menurut Permana (2003), Suhu merupakan derajat atau tingkat panas. Pengukuran suhu bertujuan untuk mengetahui suhu dari limbah pewarnaan pada setiap reaktor. Suhu mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses pertukaran zat (metabolisme) pada makhluk hidup. Pengukuran suhu dilakukan pada saat sampling, sama halnya seperti analisa pada COD, TSS, dan warna.



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Suhu selama Pengolahan

Berdasarkan hasil penelitian, suhu di reaktor dengan tanaman dan bakteri suhunya lebih stabil. Suhu pada reaktor dengan tanaman pada hari ke 5 relatif sama yakni; C1 24°C, C2 dan C4 25,2°C, serta C3 25,5°C. Sedangkan suhu pada reaktor kontrol di hari ke 5 mencapai 31,3°C. Dan suhu reaktor pada hari ke 45 cukup stabil pada reaktor dengan tanaman, masing-masing suhunya yaitu

C1, C4 suhunya 24,4°C dan reaktor C2 24,5°C C3 24,6°C; sedangkan pada reaktor kontrol suhunya 26,1°C.

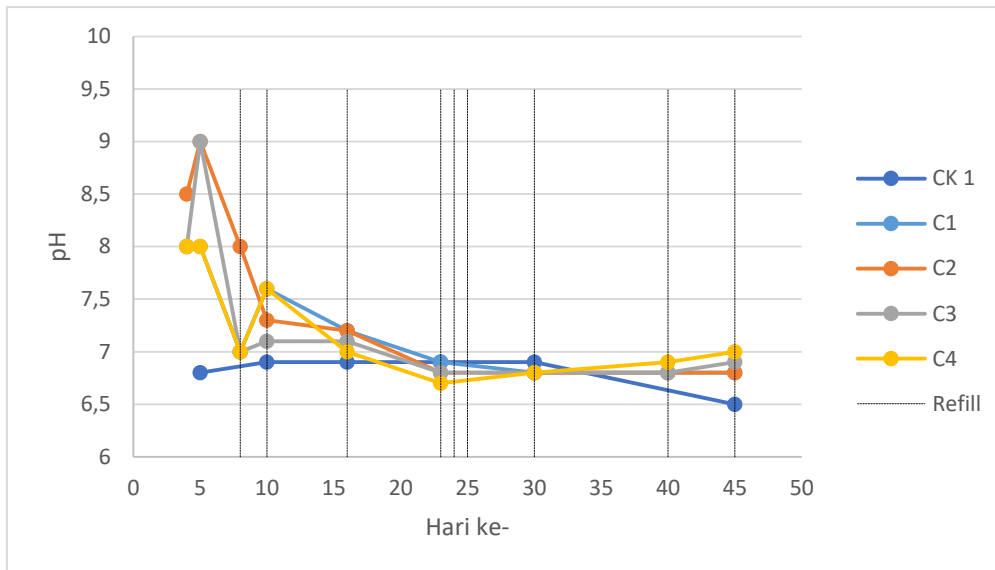
Suhu udara berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan karena adanya proses metabolisme tubuh tumbuhan. Pengukuran suhu dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu pada air limbah yang diolah. Menurut Caroline dan Moa (2015), semakin tinggi suhu maka kadar oksigen akan semakin berkurang, yang mana akan menyebabkan penurunan removal COD dan BOD.

Menurut Singh et al, suhu dengan rentan 20°C ke 40°C akan mempengaruhi aktivitas bakteri dalam mendegradasi warna. Suhu optimumnya 35°C dengan efisiensi degradasi warna 92,38% yang diuji sampai 60 jam. Sedangkan dari penelitian Moosvi et al, untuk mendegradasi warna hingga 93% dengan suhu 37%.

Pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 untuk kadar maksimum suhu yang diperbolehkan yakni sebesar 38°C. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian yang didapat, suhu pada semua reaktor memenuhi batas baku mutu yang ada.

4.2.8 Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman atau pH menunjukkan tingkat asam atau basa suatu perairan. Menurut Wignyanto dkk (1997), nilai pH dipengaruhi oleh suhu, suhu dan pH merupakan faktor penentu yang saling menunjang aktivitas enzimatik enzim-enzim perombak. Enzim perombak akan bekerja optimal pada suhu 28. Suhu yang terlalu tinggi dan terlalu rendah dapat menyebabkan enzim yang berupa protein akan mengalami denaturasi. Hasil pengukuran derajat keasaman (pH) pada hasil sampling di reaktor CTW dapat dilihat pada diagram berikut



Keterangan:

CK 1 : Kontrol

C3 : Tanaman + bakteri T4

C1 : Tanaman + bakteri T1 C4 : Tanaman + bakteri campur T1, T3 dan T4

C2 : Tanaman + bakteri T3

Gambar 4.14 Derajat Keasaman (pH) selama Pengolahan

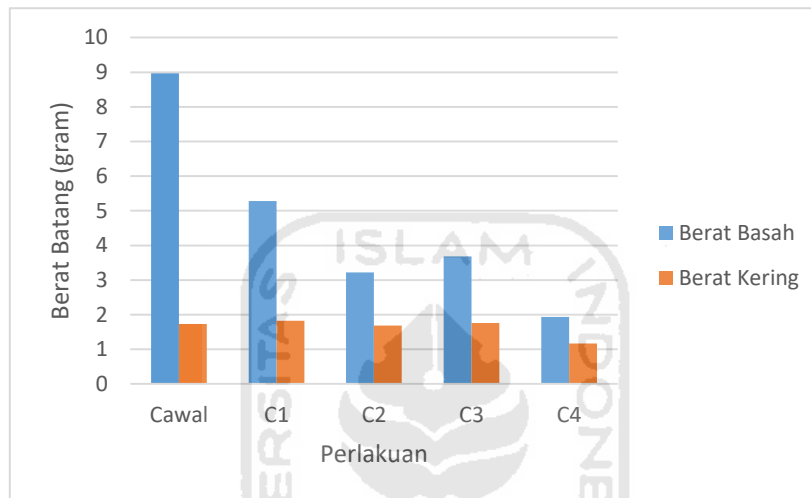
Berdasarkan grafik terlihat bahwa pH mengalami penurunan selama pengolahan. Pada reaktor dengan tanaman (C1, C2, C3, C4) di awal waktu pengolahan cenderung memiliki pH basa yakni: C1 dan C4 pH 8, serta C2 dan C3 pH 9, sedangkan reaktor kontrol pH netral yakni 6,8. Hingga hari ke 10 pH pada reaktor dengan tanaman turun hingga pH normal, masing-masing reaktor dengan pH C4 dan C1 7,6; C2 7,3; dan C3 7,1; sedangkan pada reaktor kontrol dengan pH netral yaitu 6,9.

Pada penelitian Singh et al, 2015, kemampuan penyerapan di tanaman vetiver yang lebih baik pH 6-9, efektivitas penyerapan menurun apabila pH basa. Pada pH netral atau sedikit basa atau asam merupakan pH optimum untuk mendekolorisasi zat warna. Sedangkan pada nilai pH asam atau basa kuat cenderung laju dekolorisasi zat warna menurun.

Menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 baku mutu pH adalah 6-9 untuk air limbah industri tekstil. Hal ini dibandingkan dengan nilai pH yang didapatkan pada hasil sampling semuanya memenuhi baku mutu.

4.2.9 Biomassa dan Pertumbuhan Tanaman

Untuk mengetahui biomassa yang terkandung dalam tumbuhan yakni dengan menganalisa berat basah dan berat kering tumbuhan. Menurut Tangahu et al. (2013), biomassa tumbuhan menunjukkan akumulasi senyawa organik yang disintetis dari senyawa anorganik yang dihasilkan oleh bakteri kemudian digunakan oleh tumbuhan untuk proses pertumbuhannya. Hasil analisa berat basah dan berat kering dapat dilihat pada gambar berikut



Keterangan:

Cawal : Tanaman setelah aklimatisasi

C1 : Tanaman + bakteri T1 C2 : Tanaman + bakteri T3

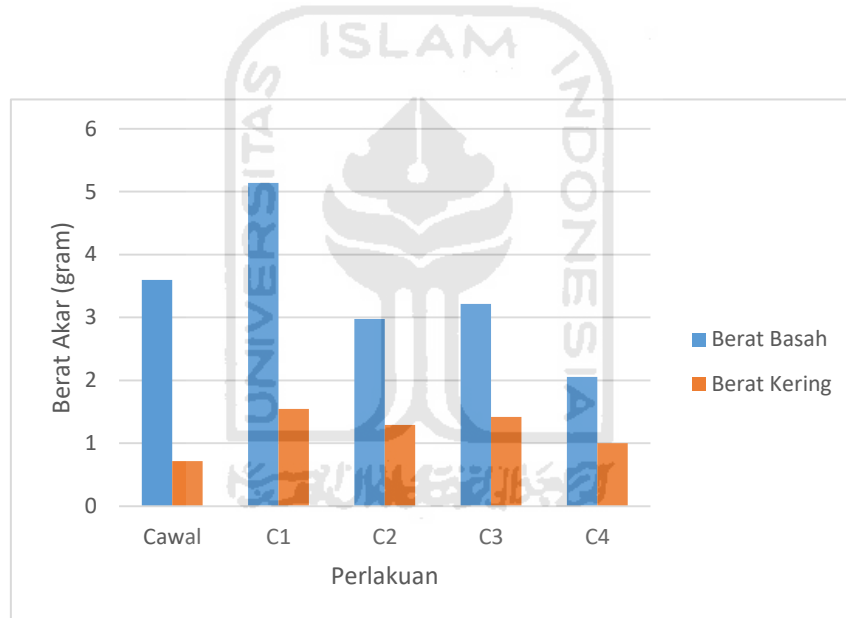
C3 : Tanaman + bakteri T4 C4 : Tanaman + bakteri campur (T1, T3, dan T4)

Gambar 4.15 Biomassa Batang Tanaman selama Pengolahan

Pengukuran biomassa batang pada tanaman vetiver setelah pengolahan CTW selama 45 hari. Pada analisa anova batang yang berat basah, dapat dilihat pada lampiran 13, bahwa hasil F (F hitung) lebih besar dibanding dengan F_{crit} (F tabel), yang berarti data batang berat basah memiliki perbedaan rata-rata diantara variasi reaktor. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan nilai berat pada masing-masing batang basah. Selain itu adanya perbedaan antara jumlah populasi bakteri antara perlakuan tanpa penambahan bakteri dan yang ada penambahan bakteri. Berat basah pada batang yang tertinggi terjadi pada reaktor awal atau reaktor kontrol yaitu sebesar 8,97 gram, dan berat terendah pada reaktor 4 dengan penambahan bakteri beratnya sebesar 1,93 gram.

Sedangkan tiga reaktor lainnya, reaktor 1, 2, dan 3 dengan penambahan bakteri berat masing-masing sebesar 5,28 gram, 3,22 gram dan 3,68 gram.

Sedangkan analisa anova pada batang berat kering, dapat dilihat pada lampiran 14, bahwa hasil F (F hitung) lebih kecil dibandingkan dengan F_{crit} (F tabel), yang berarti data batang berat kering tidak memiliki perbedaan rata-rata diantara variasi reaktor. Hal ini menunjukkan tidak ada perbedaan pada berat batang kering karena hasil yang didapat dengan range yang sama. Berat pada batang kering tertinggi yaitu pada reaktor 1 dengan penambahan bakteri yakni beratnya sebesar 1,82 gram, dan diikuti dengan berat pada reaktor 3 sebesar 1,75 gram, tidak jauh dari berat kering reaktor 3 reaktor control beratnya mencapai 1,73 gram dan 2 reaktor terakhir yaitu reaktor 2 dan reaktor 4 beratnya sebesar 1,68 gram dan 1,16 gram.



Keterangan:

Cawal : Tanaman setelah aklimatisasi

C1 : Tanaman + bakteri T1

C2 : Tanaman + bakteri T3

C3 : Tanaman + bakteri T4

C4 : Tanaman + bakteri campur (T1, T3, dan T4)

Gambar 4.16 Biomassa Akar Tanaman selama Pengolahan

Dari data yang ditampilkan pada gambar 4.11 dan 4.12, terlihat bahwa terjadi penurunan berat basah pada batang tanaman seiring bertambahnya

waktu pemaparan. Berat basah pada masing-masing reaktor bertanaman memiliki nilai yang lebih rendah dari pada reaktor kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *vetiver zizanioides* menyerap lebih sedikit nutrisi yang berasal dari limbah cair tenun. Penurunan biomassa pada masing-masing reaktor berkaitan dengan turunnya efisiensi removal COD, karena kontaminan yang diserap tumbuhan makin sedikit. Pada data berat kering batang, berat awal dibandingkan dengan berat reaktor dengan pengolahan mengalami berat yang stabil. Hanya saja pada reaktor pengolahan 4 terjadi penurunan, sebanding dengan penurunan nilai removal TSS. Sedangkan pada akar berat basahnya mengalami hasil yang fluktuasi. Dari hasil tersebut reaktor perlakuan pertama menghasilkan berat tertinggi, hal ini sebanding dengan uji parameter yang lain. Pada reaktor pertakuan pertama COD, TSS, Warna dan biomassa dengan berat basah batang meningkat. Bisa diartikan bahwa pada reaktor pertama, tanaman dan inokulum bakteri yang ada sangat mempengaruhi proses pengolahan sistem *constructed wetland* dan limbah dapat terdegradasi dengan baik.

Pada analisa anova akar yang berat basah, dapat dilihat pada lampiran 15, bahwa hasil F (F hitung) lebih besar dibanding dengan F_{crit} (F tabel), yang berarti data batang berat basah memiliki perbedaan rata-rata diantara variasi reaktor. Perbedaan pada berat basah akar selain dibedain dengan menggunakan bakteri dan tidak menggunakan bakteri, juga terdapat pada perbedaan berat yang dihasilkan. Berat basah pada akar di reaktor 1 mempunyai berat tertinggi dibandingkan dengan reaktor yang lain yakni sebesar 5,14 gram. Berat selanjutnya pada reaktor kontrol dan reaktor 3 dengan penambahan bakteri berat masing-masing sebesar 3,59 gram dan 3,21 gram. Dan berat terendah pada berat basah akar yakni tanaman pada reaktor 2 dan 4 dengan penambahan bakteri berat masing-masing yakni mencapai 2,97 gram dan 2,05 gram.

Sedangkan pada analisa anova akar yang berat kering, dilihat pada lampiran 16, bahwa hasil F (F hitung) lebih besar dibanding dengan F_{crit} (F tabel), yang berarti data batang berat basah memiliki perbedaan rata-rata diantara variasi reaktor. Perbedaan pada berat kering akar selain dibedain dengan menggunakan bakteri dan tidak menggunakan bakteri, juga terdapat pada perbedaan berat yang dihasilkan. Berat yang dihasilkan oleh berat kering

pada akar yakni tertinggi pada reaktor 1 dengan berat 1,55 gram, reaktor 3 dengan berat 1,42 gram, dan berat akar reaktor 2 yakni sebesar 1,29 gram. Serta berat pada dua reaktor terakhir yakni reaktor 4 sebesar 1 gram dan reaktor control sebesar 0,71 gram.

Kenaikan biomassa ini menunjukkan adanya fitoproses berupa fitodegradasi kontaminana sebagai lanjutan proses penyerapan dan proses metabolic yang dilakukan oleh tanaman (Pivetz,2001). Kontaminan yang diserap oleh tanaman *vetiver zizanioides* kemudian dimanfaatkan untuk metabolisme tanaman sehingga menghasilkan lignin yang berakibat pada naiknya biomassa *vetiver zizanioides*. Kandungan biomassa tinggi dikarenakan pertumbuhan tanaman yang baik serta didukung oleh kondisi suhu dan pH media tumbuh yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

Tabel 4.3 Kondisi Fisik Tanaman selama Pengolahan

Reaktor	Tinggi Tanaman	Jumlah Tanaman	Tanaman yang Layu	Tanaman yang layu (ujung)	Tunas
C1	84,2	5	1	6	2
C2	75,1428571	7	1	4	3
C3	79,5	6	1	3	1
C4	62,1666667	7	6	2	0

Dari data tersebut, tanaman yang layu terbanyak pada reaktor C4 yaitu reaktor tanaman dan bakteri. Hal ini dikaitkan bahwa air limbah menghambat biomassa tanaman dan memberi efek toksik dari air limbah pada metabolisme tanaman. Faktor lain juga bisa terjadi yaitu dengan kondisi cuaca yang tak menentu.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari proses isolasi bakteri yang dipilih adalah bakteri yang terdapat di media NA, dan bakteri yang digunakan untuk reaktor CTW adalah bakteri NA T1 yang berasal dari tanah tanaman *oryza sativa*, NA T3 berasal dari tanah tanaman *digitaria sanguinalis*, dan NA T4 berasal dari tanah tanaman *alternanthera philoxeroides*.
2. Pada semua reaktor mengalami penurunan dan kenaikan disetiap parameter. Efisiensi removal tertinggi COD 50% terdapat pada reaktor C3, zat warna dapat diturunkan sampai 93% pada reaktor C3, dan TSS meskipun tidak konsisten dalam menurunkan konsentrasi, efisiensi terbesar 50%. Hasil konsentrasi akhir pada penelitian ini, parameter COD belum memenuhi baku mutu, dengan konsentrasi CK 1 1562,5 mg/L; C1 1187,5 mg/L; C2 1250 mg/L; C3 1375 mg/L; dan C4 1875 mg/L. Untuk hasil akhir warna reaktor pengolahan (C1,C2,C3,C4) hasil konsentrasi dibawah baku mutu, dengan konsentrasi berturut-turut adalah 111,429 Pt-Co; 72,143 Pt-Co; 61,429 Pt-Co dan 79,286 Pt-Co. Namun pada reaktor CK 1 belum memenuhi baku mutu, konsentrasinya 201,425 Pt-Co. Sedangkan hasil akhir TSS belum memenuhi baku mutu di semua reaktor dengan konsentrasi reaktor CK 1 170 mg/L; C1 560 mg/L; C2 280 mg/L; C3 110 mg/L; dan C4 290 mg/L.

5.2 Saran

Saran untuk perbaikan pengolahan ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu penelitian lanjutan terkait identifikasi bakteri dan kemampuan mendegradasi secara optimal.
2. Perlu tambahan reaktor untuk penambahan limbah secara otomatis, apabila reaktor pengolahan limbahnya sudah berkurang.
3. Perlu analisis lebih lanjut mengenai perencanaan CTW sehingga bisa lebih rinci dan sesuai dengan kondisi di Desa Troso Kabupaten Jepara.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah. 2014. Dinamika Perkembangan Industri Kerajinan Tenun Troso di Jepara. *Humanika*. Volume 20. Nomor 2. ISSN 1412-9418.
- Anja Meryandini, Wahyu Widosari, Besty Maranatha, Titi Candra Sunarti, Nisa Rachmania, dan Hasrul Satria. 2009. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi enzimnya. *Makara Sains*. Volume 13. Nomor 1.33-38.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: American Public Health Association.
- Astuti A.D, Muhammad Lindu, Ramadhani Yanidar, Maria Manda Kleden. 2016. Kinerja *Subsurface Constructed Wetland Multilayer Filtration* Tipe Aliran Vertikal dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*) dalam Penyisihan BOD dan COD dalam Air Limbah Kantin. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Aziziah, NR. 2008. Deodorisasi Limbah Lateks Pekat dan Dekolorisasi Zat Pewarna Tekstil Secara Enzimatis Dengan Formula *Omphalina* sp. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jepara. 2018. Kabupaten Jepara dalam Angka. Jepara.
- Barriuso J. & Solano, B.R. 2008. Ecology, Genetic Diversity and Screening Strategies of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). In: Edited by Iqbal Ahmad, John Pichtel, and Shamsul Hayat (Eds.) Plant-Bacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 9783-527-31901-5. p. 1-17.
- Carliell C.M., Barclay, S.J., Naidoo, No, Bucley, CA, Mulholland, D.A. dan Senior, E. 1995. Microbial Decolorization of Reactive Red Dye Under Anaerobic Condition. *Water SA*, 21(1), 61-69.
- Caroline, J., dan Moa, G, A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Pada Limbah Industri Peleburan Tembaga Dan Kuningan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III. Surabaya.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran. Jakarta. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press).
- Dewi, IG. A. K. S. P., Suarya, P., Suprihatin, I. E., dan S, W. D. 2016. Penurunan BOD, COD, dan Zat Warna Limbah Pencelupan dengan Fitoekstraksi Menggunakan Kiambang (*Salvinia natans*). *Jurnal Bumi Lestari*, 16(1), 11-15.

- Dhamayanthie, I. 2000, Pengolahan Limbah Cair Industri Textile dengan Proses Anaerob, Thesis Master, Program Studi Teknik Kimia, Program Proses Sarjana ITB Bandung.
- Dwijoseputro. 2005. Dasar-Dasar Mikrobiologi. Yogyakarta: Djambatan.
- Dwioktavia. 2011. "Pengolahan Limbah Industri Tekstil", dapat dilihat di: <http://dwioktavia.wordpress.com/2011/04/14/pengolahanlimbah-industri-tekstil/>, (akses terakhir: 25 Maret 2019).
- Kalyani D.C., Patil P.S., Jadhav J.P., Govindwar S.P. 2008. Biodegradation of reactive textile dye red BLI by an Isolated Bacterium *Pseudomonas* sp.SUK1. *Bioresource Technology*. 99 (2008) 4635-4641.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Yogyakarta: Kanisius.
- EPA. 2012. Conductivity. Water: Monitoring and Assessment. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html> (diakses pada tanggal 17 November 2019).
- Fadholi, Akhmad. 2013. Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara terhadap Operasi Penerbangan di Bandara H.A.S Hananjoeddin Buluh Tumbang Belitung Periode 1980-2010. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. Volume 3. No. , Juni 2013.
- Gitopadmojo, Isminingsih. 1978. Pengantar Kimia Zat Warna. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hamilton, L.S dan HLM. N. King. 1988. Daerah Aliran Sungai Hutan Tropika. Yogyakarta: UGM Press.
- Hendro G, Eko Punto. 2000. Ketika Tenun Mengubah Desa Troso. Semarang: Bendera.
- Hussain, Z., Arslan, M., Malik, M. H., Mohsin, M., Iqbal, S., Afzal, M. 2018. Treatment of the textile industry effluent in a pilot-scale vertical flow constructed wetland system augmented with bacterial endophytes. *Science of the Total Environment*, 645, 966-973.
- Indrayani, Lilin. 2018. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sebagai Salah Satu Percontohan IPAL Batik di Yogyakarta. *Ecotrophic*. Volume 12. Nomor 2. Tahun 2018.
- Irianto, K. 2012. Mikrobiologi Menguak Dunia Mikroorganisme Jilid 1. Bandung: Yurma Widya.
- Jutono. 1980. Pedoman Praktikum Mikrobiologi umum. Yogyakarta: Departemen Mikrobiologi Fakultas Pertanian UGM.

- Kandel, Shyam L., Joubert, Pierre M., and Doty, Sharon L. 2017. Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants. *Microorganism*. Vol 5. No:4. November 2017.
- Khiatuddin, M. 2003. Pelestarian Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa. Bandar Lampung.
- Komarawidjaja, W dan Garno, Y.S. 2015. Peran Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dalam Fitoremediasi Pencemaran Perairan Sungai. Serpong. Pusat Teknologi Lingkungan.
- Laksono, Sucipta. 2012. Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter. Depok. Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.
- Mangkoediharjo, S dan Samudro. 2010. Fitoteknologi Terapan. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Martani, E., Haedar, N., dan Margino, S. 2003. Dekolorisasi Lindi Hitam dan Degradasi Lignin oleh Bakteri *Micrococcus* sp. SPH-9 serta *Bacillus* sp. SPH-10. *Jurnal Biologi*. 3. 81-93.
- Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. MC. Graw-Hill. New York. America.
- Moosvi, S., Kher, X., & Madamwar, D. 2007. Isolation, characterization and decolorization of textile dyes by a mixed bacterial consortium JW-2. *Dyes Pigments*, 74, 723–9.
- Munawar, Estuningsih; Yudono, Said dan Salni. 2008. Studi Penggunaan Bakteri Indigen Petrofilik dalam Proses Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Wilayah Sumatera Bagian Selatan. *Jurnal Kimia Lingkungan*. 16 (2). 3-10.
- Nuha, Agus U., HB, F. Putut M., dan Mubarok, Ibnul. 2016. Toksisitas Letal Akut Limbah Cair Tenun Troso terhadap Ikan Mas (*Cyprinus Carpio L.*). Tugas Akhir. Universitas Negeri Semarang.
- Pamurni, M. 1996. Pengujian Kestabilan Zat warna Naftol pada Kain Katun dengan Studi Spektroskopi UV/VIS dan IR. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Pemerintah Daerah Jawa Tengah. 2012. Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Semarang.
- Permana, D. 2003. Keanekaragaman Makrobentos di Bendungan Bapang dan Bendungan Ngablabaan Sragen. [Skripsi]. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.

- Pivetz, P. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA/540/S-01/ 500, United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC, 36 p.
- Purwaning, B. L. 2016. Biodegradasi Limbah Cair Tahu Dari Mikroorganismen Indigen Sebagai Bahan Ajar Mikrobiologi Lingkungan Di Perguruan Tinggi. *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*. 2(1): 84-94.
- Ramadhani, Ratri Dewi. 2015. Keberadaan dan Perkembangan Tenun Trosro Jepara. Tugas Akhir. Institut Seni Indonesia Surakarta.
- Ratna and Padhi, B. S. 2012. Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences* 3: 940-955.
- Roger, P.A., Zimmerman, W.J. & Lumpkin, T.A. 1992. Microbiological Management of Wetland Rice Fields. *Soil Microbial Ecology*. Edited by Meeting, F.B., Marcel Dekker, Inc. New York. p: 417-447.
- Sabli, T.E. 2002. Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Medium Tanah dalam Sistem Lahan Basah. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sasongko, L.A. 2006. Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan Dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang). Tesis Magister pada Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sastrawijaya, Tresna. 2000. Pencemaran Lingkungan Cetakan Ke-II. Jakarta . PT. Rineka Cipta.
- Sastrawijaya, A.T. 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Rineka Cipta. Surabaya.
- Shah, K. 2014. Biodegradation of azo dye compounds. *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology* 1: 5-13.
- Shehzadi, M., Fatima, K., Imran, A., Mirza, M. S., Khan, Q. M., and Afzal, M. 2015. Ecology of Bacterial Endophytes Associated with Wetland Plants Growing in Textile Effluent for Pollutant-Degradation and Plant Growth-Promotion Potentials. *Plant Biosystem – An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology: Official Journal of Societa Botanica Italiana*.
- Singh, R. P., Singh, P. K., & Singh, R. L. 2014. Bacterial Decolorization of Textile Azo Dye Acid Orange by *Staphylococcus hominis* RMLRT03. *Toxicology International*, 21(2), 160–166.

- Singh, V., Thakur, L., and Mondal, P. 2015. Removal of Lead and Chromium from Synthetic Wastewater Using *Vetiveria zizanioides*. *Clean Soil Air Water*, 43, 538-543.
- Stolp, H., Starr MP,. 1981. *Principle of isolation, cultivation, and conservation of bacteria*. The Prokaryots, Springer, Verlag Berlin Heidleberg.
- Sudha, M., Saranya, A., Selvakumar, G. and Sivakumar, N. 2014. Microbial degradation of azo dyes: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3: 670-690.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: UI Press.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius dalam Sistem Lahan Basah Aliran Permukaan (SSF Wetland)*. Tesis Magister Lingkungan.
- Susanto, Gumbolo Hadi. 2015. *Pencemaran Lingkungan dan Dampaknya*. Yogyakarta. Ardana Media.
- Suswati, Anna. 2012. Analisis Luasan Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Iris dalam Mengolah Air Limbah Domestik (Greywater). *Indonesian Green Technology Journal*, 1 (3).
- Siswanto, Suharyanto, dan R. Fitria. 2007. Produksi dan Karakteristik Lakase *Omphilina* sp. *Menara Perkebunan*. 75:107-110.
- Tara, N., Iqbal, M., Khan, Q. M., and Afzal, M. 2018. Bioaugmentation of Floating Treatment Wetlands for The Remediation of Textile Effluent. *Water and Environment Journal*, 33, 124-134.
- 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.
- Tangahu, Bieby., Ningsih, Dwi. 2016. Uji Penurunan Kandungan COD, BOD pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan *Scirpus Grossus* dan *Iris Pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan Intermittent. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 8 (2), 121-130. (doi: 10.20885/jstl.vol8.iss2.art6)



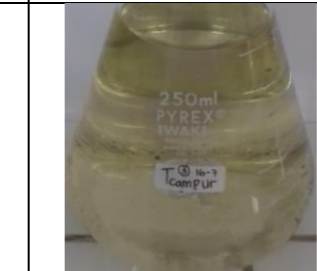
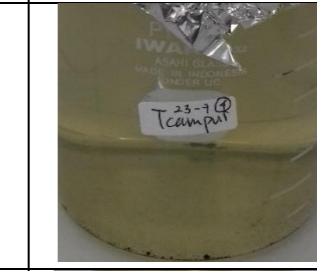

- Tangahu, B.V., Abdullah, S.R.S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Muklisin, M. 2013. Phytoremediation of Wastewater Containing Lead (Pb) in Pilot Red Bed Using *Scirpus Grossus*. *Intrnasional Journal of Phytoremediation*, 15 (7), hal.663-676.
- Tian, M. 2011. Application of Constructed Wetland Technology in Urban Landscape Designs, *Advanced Materials Research Vols. 211-212*, pp. 939-943.
- Udiharto M. 1996. Bioremediasi Minyak Bumi. Di dalam: Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. *Prosiding Pelatihan dan Lokakarya; Cibinong 24-28 Jun 1996*. Cibinong: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. hlm 24-39.
- UN-HABITAT. 2008. *Constructed Wetlands Manual*. (Vol. 978-92-1-131963-7) UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme.
- Waluyo, L. 2007. *Mikrobiologi Umum*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press.
- Wignyanto, S. Wijana, N. Hidayat, Sukardi, dan Suharjono. 1997. Teknik Baru Cara Peningkatan Efektivitas dan Efisiensi Kemampuan Biodegradasi Surfaktan Detergen Alkylbenzene Sulfonate. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik* 9 (2): 35-45.
- Yani, M ., Akbar, Y. 2003. *Proses Biodegradasi Minyak Diesel oleh Campuran Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Bogor: IPB.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perubahan Warna Air Limbah Tenun

	Limbah Refill	Kontrol	T1	T3	T4	Tcampuran
Sampling hari ke 5						
Sampling hari ke 10						
Sampling hari ke 16						
Sampling hari ke 23						
Sampling hari ke 45						

Lampiran 2. Data Pengukuran Warna

Sampel	Kadar Warna (Unit Pt-Co)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	3514,286	101,429	180,000	544,286	280,000	365,714	201,429
C1	3514,286	80,000	175,714	147,143	122,143	65,000	111,429
C2	3514,286	43,571	122,143	136,429	165,000	122,143	72,143
C3	3514,286	18,571	79,286	54,286	82,857	75,714	61,429
C4	3514,286	108,571	200,714	57,857	86,429	65,000	79,286

Lampiran 3. Data Pengukuran Removal Warna

Bak CTW	Hari ke-					
	5	10	16	23	30	45
CK 1	97%	76%	33%	76%	66%	87%
C1	98%	84%	82%	85%	93%	92%
C2	99%	89%	82%	80%	87%	95%
C3	99%	93%	92%	89%	92%	96%
C4	97%	82%	93%	89%	93%	94%

Lampiran 4. Data Pengukuran COD

Sampel	Kadar COD (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	3750	3625	2375	2387,5	2687,5	1750	1562,5
C1	3750	3000	2437,5	1812,5	1312,5	1062,5	1187,5
C2	3750	3000	2250	1312,5	1375	1625	1250
C3	3750	2500	4000	2312,5	1125	2125	1375
C4	3750	2500	2250	1187,5	1187,5	1000	1875

Lampiran 5. Data Pengukuran Removal COD

Bak CTW	Hari ke-					
	5	10	16	23	30	45
CK 1	3%	34%	-1%	-13%	35%	11%
C1	20%	24%	37%	36%	35%	45%
C2	20%	30%	52%	17%	4%	50%
C3	33%	-39%	44%	54%	-42%	51%
C4	33%	22%	56%	24%	35%	11%

Lampiran 6. Data Pengukuran TSS

Sampel	Kadar TSS (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	180	180	200	310	140	440	170
C1	180	220	70	110	120	60	560
C2	180	90	30	220	60	110	280
C3	180	210	250	230	110	60	110
C4	180	130	220	180	300	80	290

Lampiran 7. Data Pengukuran Removal TSS

Bak CTW	Hari ke-					
	5	10	16	23	30	45
CK 1	0%	-11%	-58%	50%	-194%	50%
C1	-22%	66%	-22%	3%	55%	-430%
C2	50%	74%	-280%	72%	-24%	-105%
C3	-17%	-24%	3%	50%	53%	-4%
C4	28%	-52%	15%	-67%	71%	-146%

Lampiran 8. Data Uji Logam Cr

Sampel	Logam Cr (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	0,023	0,025	0,011	0,011	0,040	0,044	0,043
C1	0,023	0,045	0,034	#VALUE!	0,042	0,039	0,049
C2	0,023	0,027	0,036	0,044	0,003	0,041	0,051
C3	0,023	0,004	0,036	0,037	0,046	0,015	0,050
C4	0,023	0,033	0,037	0,037	0,042	0,046	0,018

Lampiran 9. Data Uji Logam Cu

Sampel	Logam Cu (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	0,007	0,017	0,004	<0,0002	<0,0002	0,001	<0,0002
C1	0,007	0,074	0,078	0,005	#VALUE!	0,009	0,008
C2	0,007	0,053	0,116	0,012	0,005	0,014	0,038
C3	0,007	0,049	0,066	0,004	#VALUE!	0,042	0,004
C4	0,007	0,018	0,050	0,026	#VALUE!	0,029	0,008

Lampiran 10. Data Uji Logam Cd

Sampel	Logam Cd (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	0,007	0,006	0,005	0,006	0,011	0,013	0,016
C1	0,007	0,006	0,008	0,003	0,014	0,015	0,020
C2	0,007	0,008	0,009	0,012	0,008	0,018	0,022
C3	0,007	0,006	0,010	0,011	0,015	0,008	0,021
C4	0,007	0,006	0,008	0,011	0,012	0,018	0,012

Lampiran 11. Data Uji Logam Pb

Sampel	Logam Pb (mg/L)						
	Hari ke-						
	0	5	10	16	23	30	45
CK 1	0,177	0,150	0,148	0,172	0,184	0,180	0,180
C4	0,177	0,145	0,202	0,155	0,244	0,107	0,170
C1	0,177	0,128	0,208	0,137	0,216	0,265	0,148
C2	0,177	0,147	0,161	0,166	0,172	0,065	0,257
C3	0,177	0,194	0,234	0,099	0,173	0,080	0,148

Lampiran 12. Data Pengukuran TDS

SAMPSEL	Waktu Pengukuran						
	05/07/2019	10/07/2019	16/07/2019	23/07/2019	30/07/2019	09/08/2019	14/08/2019
	5	10	16	23	30	40	45
CK 1	2180	2230	1440	2070	1840		1910
C1	694	2230	2070	3160	3080	3770	4250
C2	1090	2880	2580	3820	3500	3930	4780
C3	794	961	2230	3440	3080	4050	3790
C4	790	2430	2450	3680	3460	4000	4490

Lampiran 13. Data Pengukuran Daya Hantar Listrik

SAMPSEL	Waktu Pengukuran						
	05/07/2019	10/07/2019	16/07/2019	23/07/2019	30/07/2019	09/08/2019	14/08/2019
	5	10	16	23	30	40	45
CK 1	1956	2190	2510	2930	2660		1718
C1	877	2830	3130	3990	4620	5680	6360
C2	1387	3640	3840	4840	5220	5200	7180
C3	1030	1220	3380	4350	4600	6010	5830
C4	995	3070	3670	4620	5170	6030	6730

Lampiran 14. Data Pengukuran Suhu

SAMPSEL	Waktu Pengukuran						
	05/07/2019	10/07/2019	16/07/2019	23/07/2019	20/07/2019	09/08/2019	14/08/2019
	5	10	16	23	30	40	45
CK 1	31,3	29,3	26,9	30,2	26,6		26,1
C1	24,9	25,9	25,1	25,1	27,9	28,7	24,4
C2	25,2	25,9	25,1	25	27,9	28,7	24,5
C3	25,5	25,7	25	25	27,8	29,5	24,6
C4	25,2	25,9	25,5	25,1	27,7	28,3	24,4

Lampiran 15. Data Pengukuran Ph

SAMPLE	Waktu Pengukuran						
	05/07/2019	10/07/2019	16/07/2019	23/07/2019	20/07/2019	09/08/2019	14/08/2019
	5	10	16	23	30	40	45
CK 1	6,8	6,9	6,9	6,9	6,9		6,5
C1	8	7,6	7,2	6,9	6,8	6,8	6,8
C2	9	7,3	7,2	6,8	6,8	6,8	6,8
C3	9	7,1	7,1	6,8	6,8	6,8	6,9
C4	8	7,6	7	6,7	6,8	6,9	7

Lampiran 16. Data Analisa Anova Batang Berat Basah

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Cawal	6	57,901	9,650167	16,30215		
C1	5	26,396	5,2792	2,147699		
C2	7	22,543	3,220429	4,622231		
C3	6	22,096	3,682667	3,55733		
C4	7	13,521	1,931571	0,701524		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	223,5461	4	55,88653	10,39149	3,65E-05	2,742594
Within Groups	139,8307	26	5,378105			
Total	363,3768	30				

Lampiran 17. Data Analisa Anova Batang Berat Kering

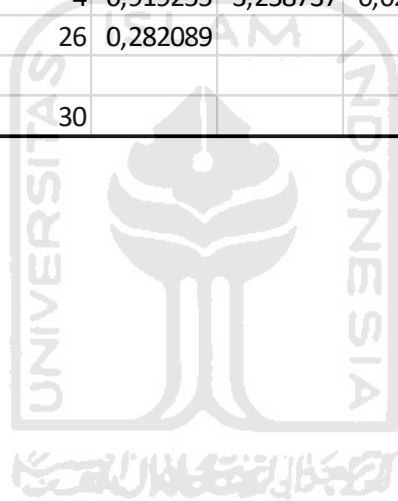
Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Cawal	6	10,411	1,735167	0,458134		
C1	5	9,127	1,8254	0,252025		
C2	7	11,82	1,688571	1,181336		
C3	6	10,532	1,755333	0,735037		
C4	7	8,154	1,164857	0,217237		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,882417	4	0,470604	0,796316	0,538429	2,742594
Within Groups	15,3654	26	0,590977			
Total	17,24781	30				

Lampiran 18. Data Analisa Anova Akar Berat Basah

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Cawal	6	17,222	2,870333	2,879405		
C1	5	25,704	5,1408	3,678931		
C2	7	20,816	2,973714	2,363822		
C3	6	19,292	3,215333	0,624764		
C4	7	14,365	2,052143	1,242457		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	28,96385	4	7,240963	3,494527	0,020649	2,742594
Within Groups	53,87425	26	2,072086			
Total	82,8381	30				

Lampiran 19. Data Analisa Anova Akar Berat Kering

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Cawal	6	3,294	0,549	0,159547		
C1	5	7,738	1,5476	0,291194		
C2	7	9,029	1,289857	0,579862		
C3	6	8,506	1,417667	0,12961		
C4	7	7,016	1,002286	0,207431		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,677019	4	0,919255	3,258737	0,027126	2,742594
Within Groups	7,334321	26	0,282089			
Total	11,01134	30				



Lampiran 20. Data Berat Batang dan Akar

Reaktor	Kode	Shoot		Root	
		Berat Basah	Berat Kering	Berat Basah	Berat Kering
Tcampur	Tcampur A	3,15	1,789	1,776	1,141
	Tcampur B	1,905	1,202	1,953	1,144
	Tcampur C	2,781	1,534	2,63	1,289
	Tcampur D	1,164	0,694	3,898	1,571
	Tcampur E	1,343	0,79	0,336	0,184
	Tcampur F	0,944	0,627	1,326	0,644
	Tcampur G	2,234	1,518	2,446	1,043
T1	T1 A	3,72	1,446	3,382	1,115
	T1 B	6,564	2,125	7,11	1,898
	T1 C	6,992	2,525	5,725	1,875
	T1 D	4,04	1,3	2,861	0,826
	T1 E	5,08	1,731	6,626	2,024
T3	T3 A	7,471	3,861	5,509	2,751
	T3 B	4,797	2,439	3,57	1,454
	T3 C	2,441	1,261	2,078	0,973
	T3 D	2,295	1,261	3,063	1,318
	T3 E	1,98	0,92	0,678	0,292
	T3 F	1,667	0,988	3,771	1,406
	T3 G	1,892	1,09	2,147	0,835
T4	T4 A	6,733	3,156	2,774	1,153
	T4 B	4,089	1,893	3,845	1,664
	T4 C	4,646	2,184	4,215	1,614
	T4 D	1,736	0,811	3,661	1,917
	T4 E	2,966	1,463	2,389	1,084
	T4 F	1,926	1,025	2,408	1,074

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Singkawang, pada tanggal 06 Oktober 1996. Penulis merupakan putri ketiga dari empat bersaudara, dari pasangan bapak Sardiman dan ibu Sunarti. Pendidikan formal ditempuh di SD Negeri 41 Pontianak (2002-2005), SD Negeri 1 Rawaheng (2005-2008), SMP Negeri 2 Wangon (2008-2011), SMA Negeri 1 Jatilawang (2011-2014). Dan pada tahun 2014 penulis diterima di Universitas Islam Indonesia melalui jalur CBT (*Computer Based Test*) di Program Studi Teknik Lingkungan. Selama masa kuliah, penulis mengikuti organisasi Marching Band UII dan menjabat sebagai pengurus pada tahun 2015-2016, dan bekerja paruh waktu pada tahun 2017-2018 serta freelancer. Penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Semen Bima Ajibarang dengan topik Keselamatan, Kesehatan Kerja. Sedangkan untuk menyelesaikan masa studi Pendidikan strata 1 (S1) di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengolahan limbah cair tenun dengan sistem constructed treatment wetland menggunakan kombinasi tanaman vetiver dan bakteri *indigenous*”.

