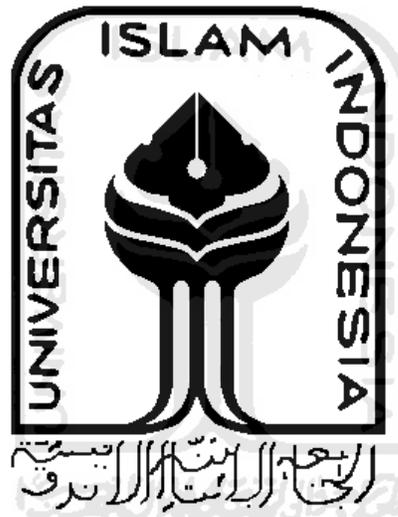


TA/TL/2020/1233

TUGAS AKHIR

DEGRADASI KANDUNGAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA LIMBAH TENUN OLEH BAKTERI ENDOFIT

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



**AFAFUN NAFISAH
16513126**

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



“halaman ini sengaja dikosongkan”

TUGAS AKHIR

DEGRADASI KANDUNGAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA LIMBAH TENUN OLEH BAKTERI ENDOFIT

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



Disetujui,
Dosen Pembimbing:


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

Tanggal:


Dr. Eng. Awaludin Nurmianto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


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

Tanggal: 13 November 2020



“halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN

DEGRADASI KANDUNGAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA LIMBAH TENUN OLEH BAKTERI ENDOFIT

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Jumat
Tanggal: 2 Oktober 2020

Disusun oleh:

AFAFUN NAFISAH
16513126

Tim Penguji:

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

()

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

()

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

()

“halaman ini sengaja dikosongkan”



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*).
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian 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, 20 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



AFAFUN NAFISAH

NIM : 16513126



“halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis hanturkan kepada Allah *subhanahu wa taala* atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir yang berjudul **DEGRADASI KANDUNGAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA LIMBAH TENUN OLEH BAKTERI ENDOFIT.**

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik bagi Mahasiswa Program Strata Satu Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah *subhanahu wa taala* yang senantiasa memberikan kemudahan dan kelancaran sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya dan selesai tepat pada waktu yang telah ditentukan.
2. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc., ES., M.Sc., Ph.D.
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. yang telah membimbing dan membantu sepenuh hati sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Kedua orang tua yang sangat dicintai, Abah Wahyudi Eko dan Ummi Endang Widiastuti yang selalu mencurahkan kasih sayang dan selalu meberikan doa serta dukungan kepada penulis, semoga Allah senantiasa memberikan kasih sayang, kesehatan dan rahmat-Nya.
5. Rekan-rekan Tugas Akhir penulis, Roi, Mail, Zakia, Irfan, Shonia, Itsna, dan Akbar yang telah berjuang bersama dan saling *support* dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. *Staff* Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan pemahaman dan membantu selama pengerjaan tugas akhir di laboratorium.
7. Teman-teman seperjuangan khususnya di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia saudara/i angkatan 2016 yang telah berjuang bersama menyelesaikan tanggung jawab sebagai mahasiswa di Universitas Islam Indonesia ini.
8. Sahabat tercinta, Jones Agency dan HiFive yang selalu mendukung, memberikan *support* sehingga tetap semangat menyelesaikan Tugas Akhir hingga dapat diselesaikan dengan baik.

9. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi menyempurnakan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca serta dapat diaplikasikan pada skala perusahaan ataupun pemerintahan.

Akhir kata penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan kata dan terima kasih atas perhatiannya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakaruh

Yogyakarta, 20 Juli 2020



Afafun Nafisah

ABSTRAK

AFAFUN NAFISAH. Degradasi Kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Tenun oleh Bakteri Endofit. Dibimbing oleh DR. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.ENG. dan DR. ENG. AWALUDDIN NURMIYANTO, S.T., M.ENG.

Troso merupakan salah satu kota yang terkenal dengan adanya industri tenun. Seiring dengan berkembangnya industri kerajinan tenun di Kota Troso, seringkali mengakibatkan adanya pencemaran. Air limbah yang berasal dari pewarnaan dan pembilasan ini memiliki kandungan COD, BOD, dan warna yang tinggi serta bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai. Oleh karena itu, diperlukan upaya dalam mengatasi dampak pencemaran limbah cair tenun dengan melakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan khusus dalam pengelolaan limbah tenun pada sungai Kota Troso yaitu menggunakan peran dari Bakteri Endofit, khususnya dalam mengurangi kadar COD pada limbah tenun dengan metode bioremediasi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi kinerja Bakteri Endofit dalam mendegradasi kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah industri tenun Desa Troso, Kabupaten Jepara. Hasil menunjukkan penggunaan bakteri endofit dalam mendegradasi limbah cair tenun mampu menurunkan kadar COD dengan limbah konsentrasi 25% mencapai 97,88%, limbah konsentrasi 50% mencapai 58,18%, limbah konsentrasi 75% mencapai 50,08%, dan limbah konsentrasi 100% mencapai 56,07%.

Kata Kunci : Bakteri Endofit, Bioremediasi, Chemical Oxygen Demand (COD), Limbah Tenun

ABSTRACT

AFAFUN NAFISAH. *Degradation of Chemical Oxygen Demand (COD) Content in Weaving Wastewater by Endophytic Bacteria. Supervised by DR. JONI ALDILLA FAJRI, S.T., M.ENG. and DR. ENG. AWALUDDIN NURMIYANTO, S.T., M.ENG.*

Troso is one of the cities that is famous for the weaving industry. Along with the development of the weaving craft industry in the City of Troso, replacing the continuing presence of pollution. This wastewater that comes from coloring and rinsing has high COD, BOD, and color as well as other ingredients of the dyes used. Therefore, efforts are needed to improve the pollution of wastewater by first treating it. Specific treatment in the management of wastewater in the Troso City river is to use the role of endophytic bacteria, specifically in reducing the levels of COD in weaving wastewater by bioremediation methods. Endophytic Bacteria in degrading the composition of Chemical Oxygen Demand (COD) in weaving industry wastewater Troso Village, Jepara Regency. The results showed the use of endophytic bacteria in degrading COD weaving waste with 25% concentration reached 97.88%, 50% concentration reached 58.18%, 75% concentration reached 50.08%, and 100% concentration reached 56%.7%

Keywords : Endophytic Bacteria, Bioremediation, Chemical Oxygen Demand (COD), Weaving Wastewater

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	i
PRAKATA.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Asumsi Penelitian.....	3
1.6 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Cair Tenun.....	5
2.2 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	5
2.3 Bakteri Endofit.....	6
2.4 Efisiensi Removal Bakteri Endofit terhadap COD.....	7
2.5 Bioremediasi.....	8
BAB III METODE PENELITIAN.....	9
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	9
3.2 Metode Penelitian.....	9
3.3 Sampling Air Limbah.....	10
3.4 Isolasi Bakteri Endofit.....	11
3.4.1 Identifikasi Bakteri.....	11
3.4.2 Kulturasasi Bakteri.....	12

3.5 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium	13
3.6 <i>Running</i> Reaktor.....	14
3.7 Pengolahan dan Analisis Data.....	16
3.7.1 Analisis <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Karakterisasi Bakteri Endofit	17
4.2 Analisis Parameter Uji <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	27
4.2.1 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 25%.....	27
4.2.2 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 50%.....	29
4.2.3 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 75%.....	31
4.2.4 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 100%.....	33
4.3 Pengaruh Beban <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) terhadap Kinerja Bakteri	34
4.3.1 Konsentrasi 25%.....	35
4.3.2 Konsentrasi 50%.....	36
4.3.3 Konsentrasi 75%.....	37
4.3.4 Konsentrasi 100%.....	38
4.3.5 Perbandingan Kemampuan Bakteri Endofit dalam Removal COD tiap Konsentrasi Limbah.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	50
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jenis Tanaman dan Kode Kultur Bakteri.....	11
Tabel 4.1 Nilai Optical Density Bakteri Terpilih.....	17
Tabel 4.2 Morfologi pada Koloni Bakteri Terpilih.....	22
Tabel 4.3 Hasil Pewarnaan Gram pada Koloni Bakteri Terpilih	25
Tabel 4.4 Perbandingan Kemampuan Bakteri Endofit dalam Removal COD tiap Konsentrasi Limbah	39





“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian	9
Gambar 3. 2 Sampel Air Limbah	10
Gambar 3. 3 Proses Pengambilan Sampel Air Limbah.....	10
Gambar 3. 4 Tempat Pengambilan Sampel Tanaman.....	11
Gambar 3. 5 Tahapan Kulturasasi Bakteri.....	13
Gambar 3. 6 Reaktor Skala Laboratorium	14
Gambar 3. 8 Tahapan Pengujian COD.....	15
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 25%.....	28
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 50%	29
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 75%	31
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 100%	33
Gambar 4.5 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 25%.....	35
Gambar 4.6 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 50%.....	36
Gambar 4.7 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 75%.....	37
Gambar 4.8 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 100%.....	38



“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian OD Bakteri Endofit	51
Lampiran 2 Hasil Pengujian Parameter COD	51
Lampiran 3 Efisiensi Removal COD	52
Lampiran 4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik	53
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	54





“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Troso, merupakan salah satu Kota yang berada di Kabupaten Jepara yang terkenal dengan adanya industri tenun. Banyak masyarakat yang datang ke Desa Troso untuk mendapatkan kain tenun yang berkualitas dengan harga yang kompetitif. Tercatat ada 628 UMKM kain tenun yang telah beroperasi di sekitar Kota Troso dan menyerap tenaga kerja sebanyak 5.412 orang (BPS Kab. Jepara, 2017).

Seiring dengan berkembangnya industri kerajinan tenun di Kota Troso, seringkali mengakibatkan adanya pencemaran. Pasalnya, sebelum proses penununan benang menjadi kain, ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk menjadikan benang sebagai bahan baku, antara lain proses pembersihan benang sebelum diberi pewarna, pewarnaan benang, pencucian benang setelah diberi pewarna, pengkajian dan penjemuran benang. Tahapan proses pembuatan tenun tersebut sebagai persiapan bahan baku akan menghasilkan limbah cair sebagai pencemar (Rahayu and Aulia, 2015). Selain proses pewarnaan tersebut, pembuatan tenun ini juga menggunakan beberapa bahan kimia seperti bahan dari pewarna itu sendiri, naptol, soda api dan bahan kimia pembantu lainnya. Bahan tersebut merupakan sumber pencemar utama karena yang terserap dalam produk tenun hanya sebagian kecil sedangkan sisanya terbuang bersama air buangan menjadi limbah cair. Limbah hasil produksi pewarnaan tenun tersebut dibuang ke sungai yang ada di sekitar Kota Troso tanpa melalui pengolahan limbah terlebih dahulu. Sehingga, mengakibatkan sungai tersebut tercemar terlihat dari warna sungai yang berwarna hitam bahkan berwarna merah muda berasal dari hasil produksi pewarnaan tenun. Hal ini terjadi karena limbah cair tenun biasanya bersifat asam atau basa, berwarna tua dengan kandungan bahan organik yang tinggi dan mengandung bahan sintetik yang sulit diuraikan oleh mikroba sehingga kadar COD dan BOD tinggi (Prayudi and Susanto, 2000).

Air limbah yang berasal dari pewarnaan dan pembilasan ini memiliki kandungan COD, BOD, dan warna yang tinggi serta bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai. Limbah zat warna yang dihasilkan di industri tenun umumnya merupakan senyawa yang *non-biodegradable* sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama perairan (Suprihatin, 2014).

Kandungan BOD, COD, dan warna yang tinggi di perairan mengakibatkan organisme perairan mati dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Peningkatan kandungan BOD, COD, dan warna ini berpengaruh dalam menurunkan indeks kualitas air (Mohan *et al.*, 2005). Selain itu, dapat pula mengakibatkan dampak kesehatan bagi manusia, terutama masyarakat disekitar Desa Troso karena penggunaan bahan kimia berlebih dapat menyebabkan resiko kanker.

Sebenarnya lingkungan memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa-senyawa pencemar yang masuk ke dalamnya dengan proses biologis dan kimiawi. Namun, pada kenyataannya beban pencemaran di lingkungan lebih besar dibanding

dengan kecepatan proses degradasi zat pencemar tersebut secara alami. Hal ini menyebabkan zat pencemar akan terakumulasi sehingga dibutuhkan suatu teknologi untuk mengatasi pencemaran tersebut. Selain itu, banyak senyawa organik yang terbentuk di alam mampu didegradasi oleh mikroorganisme bila kondisi lingkungan dapat menunjang proses tersebut. Hal ini menjelaskan bahwa pencemaran lingkungan oleh polutan organik dapat pulih dengan sendirinya, namun terdapat senyawa organik yang resisten sehingga senyawa tersebut akan terakumulasi dalam perut bumi (Nugroho, 2010).

Oleh karena itu, diperlukan upaya dalam mengatasi dampak pencemaran limbah cair tenun dengan melakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan suatu limbah tersebut diperlukan suatu reaktor. Reaktor tersebut didesain untuk menstabilkan limbah sebelum dilepas atau dibuang ke badan air. Proses biologis maupun kimia akan terjadi dalam reaktor tersebut, dimana bakteri akan mengurai bahan organik pada limbah untuk dijadikan sumber makanan mereka (Putri, Samudro and Handayani, 2012).

Pengolahan khusus dalam pengelolaan limbah tenun pada sungai Kota Troso yaitu menggunakan peran dari Bakteri Endofit, khususnya dalam mengurangi kadar COD pada limbah tenun tersebut dengan metode bioremediasi. Mikroorganisme salah satunya bakteri endofit dan bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dapat ikut teroksidasi dalam melakukan pengujian COD. Pada dasarnya, pengolahan secara biologi dalam pengendalian pencemaran air, termasuk bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri bukan hal baru, akan tetapi telah memainkan peran sentral dalam pengolahan limbah konvensional sejak tahun 1990-an (Mara and Horan, 2003). Penelitian sebelumnya yaitu “Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Lokal Untuk Bioremediasi Limbah Tekstil Menggunakan Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik” yaitu menggunakan pengujian COD dengan refluks tertutup yang memanfaatkan bakteri sebagai proses bioremediasi pada limbah tekstil dapat mengurangi kandungan COD pada limbah tekstil sebesar 98,38%, sehingga konsentrasi tersebut berada dibawah baku mutu yang layak dibuang ke lingkungan (Sastrawidana *et al.*, 2008).

Bioremediasi pada limbah cair tenun menggunakan bakteri terus dikembangkan karena diyakini sebagai strategi penanganan limbah yang efektif, murah, dan ramah lingkungan. Saat ini, bioremediasi telah berkembang pada pengolahan air limbah yang mengandung senyawa kimia yang sulit didegradasi contohnya pada kegiatan tenun, antara lain logam berat, maupun senyawa-senyawa organik.

Penelitian ini diharapkan dapat mereduksi kandungan pencemaran air limbah tenun Desa Troso, Kabupaten Jepara khususnya *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan memanfaatkan kemampuan Bakteri Endofit dalam tahapan bioremediasi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan mengenai “Bagaimana analisis penyisihan kandungan *Chemical*

Oxygen Demand (COD) pada air limbah tenun di Jepara dengan menggunakan peran Bakteri Endofit?”

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Bakteri Endofit dalam mendegradasi kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah industri tenun Desa Troso, Kabupaten Jepara.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal, antara lain :

1. Manfaat Umum

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap masyarakat terutama dalam melakukan pengolahan air yang tercemar oleh limbah tenun, sehingga dapat melakukan pengolahan limbah secara mandiri dalam mengurangi pencemaran terhadap lingkungan.

2. Manfaat Khusus Penelitian

Penelitian ini memberikan pengetahuan untuk mengetahui kinerja bakteri endofit dalam mengolah air limbah sebagai upaya mengurangi kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah tenun Desa Troso, Jepara.

1.5 Asumsi Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada asumsi bahwa bakteri endofit merupakan bakteri yang berpotensi untuk menurunkan COD. Apabila bakteri endofit tumbuh dan bekerja secara efektif pada limbah tenun dalam setiap konsentrasi, maka konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang terkandung dalam limbah tenun dapat berkurang hingga dibawah baku mutu yaitu berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk parameter COD yaitu sebesar 150 mg/L mengenai baku mutu air limbah industri dan tekstil.

1.6 Ruang Lingkup

Batasan masalah dalam penelitian meliputi :

1. Penelitian dilaksanakan pada kegiatan yang berlokasi pada Sungai di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara.
2. Pengujian analisis penyisihan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan Bakteri Endofit.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Tenun

Air limbah (*wastewater*) merupakan air yang telah digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari untuk memenuhi berbagai aktivitasnya. Aktivitas tersebut dapat berupa aktivitas rumah tangga, perkantoran, pertokoan, fasilitas umum, industri, dan lain sebagainya. Air limbah dapat dikatakan pula sebagai air bekas yang tidak terpakai yang berasal dari aktivitas manusia dalam menggunakan air bersih (Supriyatno, 2000).

Salah satu limbah cair yang banyak dijumpai adalah limbah tenun ataupun limbah industri tekstil. Limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut berasal dari pencelupan yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan karena limbah tersebut mengandung bahan-bahan pencemar yang sangat kompleks dan intensitas warna yang tinggi. Beberapa tipe pewarnaan tersebut merupakan racun dan berdampak karsinogenik dan mutagenik bagi kehidupan perairan dan manusia (Rodríguez Couto, 2009).

Proses pewarnaan dan pembilasan menghasilkan limbah yang berwarna dan COD yang tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya zat-zat organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut. Warna pada limbah tersebut berasal dari warna yang tak larut dan kotoran yang berasal dari serat alam, sehingga dapat bersifat racun dan resisten terhadap degradasi saat memasuki perairan (Effendi, 2003).

Industri tenun dalam proses produksinya banyak menggunakan bahan kimia diantaranya Fe, Pb, Cd, dan air. Limbah zat warna yang dihasilkan termasuk ke dalam limbah B3 yang dapat mengakibatkan matinya organisme perairan. Berdasarkan riset, kandungan limbah yang dihasilkan diantaranya logam, fenol, senyawa organik toksik, fosfat, kadmium, dan besi (Al-Kadasi, 2004).

Berdasarkan uji karakteristik limbah cair tenun Troso diperoleh hasil kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 520 mg/l, kromium total 0,003 mg/l, *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 1935 mg/l, *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 5593 mg/l, fenol sebesar 2,348 mg/l dan pH sebesar 8. Berdasarkan Perda Provinsi Jateng No. 5 Tahun 2012 maka air limbah tenun Desa Troso telah melampaui ambang batas baku mutu, sehingga pencemaran dari air limbah tersebut dapat terjadi (Martin *et al.*, 2016).

2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD atau *Chemical Oxygen Demand* merupakan sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganik dan organik. Penurunan COD menekankan kebutuhan oksigen dimana senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dipecah secara biokimia (Ginting and Ginting, 2007).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik pada air, sehingga parameter COD

menunjukkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Pengujian COD dilakukan untuk menghitung konsentrasi bahan organik yang dapat dioksidasi dengan menggunakan oksidator kuat dalam media asam (Tchobanoglous, Burton and Stensel, 1991).

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Sumber COD yang terdapat pada industri tenun, berasal dari tahapan pewarnaan yang menggunakan bahan kimia seperti pada tahapan dasar. Keberadaan COD di lingkungan memberikan dampak pada manusia dan lingkungan, seperti terdapat biota air yang mati karena konsentrasi oksigen terlarut dalam air sangat sedikit (Lumaela, Otok and Sutikno, 2013).

Prinsip pengujian COD dilakukan dengan penambahan Kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang sebelumnya telah ditambahkan asam pekat dan katalis Perak sulfat, kemudian dipanaskan dengan waktu tertentu. Selanjutnya, kelebihan Kalium bikromat diukur melalui titrasi. Dengan demikian, Kalium bikromat yang digunakan pada oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kekurangan dari proses tersebut yaitu senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (Cloudsley-Thompson, 1980).

Secara teoritis, COD atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) merupakan jumlah oksigen ($mg\ O_2$) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 L sampel air, dengan pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent), sehingga bahan organik yang mudah terurai maupun yang sulit terurai atau kompleks akan teroksidasi. Angka COD merupakan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah mampu dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Tarumingkeng, Coto and Hardjanto, 2004).

Prosedur dalam pengujian COD dengan cara menambahkan larutan Kalium dikromat yang konsentrasinya sudah diketahui, kemudian asam sulfat yang berfungsi sebagai katalis, dan sampel. Ketiganya dicampurkan ke dalam refluks (diuapkan dan dikondensasi) selama 2 jam. Pada proses tersebut, berbagai senyawa organik akan dihilangkan pada pemanasan campuran Kalium dikromat dan Asam sulfat (Hammer and Hammer, 2008).

2.3 Bakteri Endofit

Bakteri endofit merupakan bakteri yang mampu hidup pada suatu jaringan pada tanaman selama periode waktu tertentu pada siklus hidupnya. Bakteri endofit mampu membentuk koloni pada suatu jaringan dengan melakukan endosimbiosis tanpa menimbulkan ciri tertentu pada tanaman (Strobel and Daisy, 2003). Bakteri endofit dapat menghasilkan hormon Indole Acetic Acid (IAA) yang akan menyebabkan pemanjangan dan pembesaran sel, serta mengubah ekspresi gen secara cepat, sehingga menyebabkan sel pada daerah perpanjangan memproduksi protein baru

sebagai penyusun dinding sel sehingga akan mempengaruhi perkembangan tanaman (Khan and Doty, 2009).

Bakteri endofit merupakan bakteri yang hidup di dalam jaringan tanaman inang tanpa menyebabkan gejala penyakit. Bakteri endofit melalui akar untuk masuk ke jaringan tanaman. Namun, bunga, batang, dan kotiledon dapat menjadi jalur masuk bakteri endofit. Bakteri endofit ini, dapat hidup di dalam pembuluh vaskular atau ruang intersel, akar, batang, daun, dan buah. Jumlah bakteri endofit dalam tanaman tidak dapat ditentukan dengan pasti, namun dapat diketahui dengan cara mengisolasi pada media agar (Desriani *et al.*, 2014).

Bakteri endofit memiliki sifat yang unik karena fisiologi tumbuhan yang berasal dari spesies yang sama namun dapat tumbuh pada lingkungan yang berbeda, sehingga bakteri yang dihasilkan akan berbeda pula sesuai dengan kondisi lingkungannya (Hung and Annapurna, 2004).

Kelompok bakteri endofit pada tanaman bersifat menguntungkan bagi tanaman. Berfungsi sebagai agens biokontrol yang dapat melindungi tanaman dari infeksi patogen secara langsung dimana bakteri endofit mampu menginduksi ketahanan tanaman dengan cara merangsang pembentukan asam salisilat, peroksidase, fitoaleksin, PR-protein, dan senyawa fenolik. Kelompok bakteri endofit dapat berperan sebagai agen hayati dengan memproduksi senyawa-senyawa antimikrob berupa enzim, toksin, maupun gas yang mampu menghambat perkembangan patogen (Pradana and Munif, 2016).

Bakteri Endofit mampu memproduksi metabolit sekunder berupa zat bioaktif yang sama dengan tanaman inang. Kelebihan dalam memproduksi zat bioaktif dari mikroorganisme endofit yaitu mikroorganisme ini mudah ditumbuhkan, memiliki siklus hidup yang pendek daripada tanaman, dan mampu menghasilkan senyawa bioaktif dalam jumlah besar (Nur Lestari dan Dewa Ayu Citra Rasmi, 2016). Menurut (Long, Schmidt and Baldwin, 2008), bakteri endofit membantu penyerapan nutrisi seperti pelarutan fosfat, mengikat besi (iron chelation) dan fiksasi nitrogen. Bakteri endofit juga mampu mencegah infeksi dari bakteri patogen sehingga saat dilakukan proses fisiologis dapat dilakukan dengan baik tanpa adanya gangguan dari mikroorganisme lain yang bersifat patogen.

2.4 Efisiensi Removal Bakteri Endofit terhadap COD

Berdasarkan penelitian (Fadhilah, Fajri and Nurmiyanto, 2018), penurunan kandungan COD pada limbah oleh kemampuan bakteri didasarkan pada semakin rendah konsentrasi limbah maka semakin besar pula konsentrasi COD yang dapat diturunkan dengan efisiensi removal mencapai 69% dengan konsentrasi limbah 50% dan berhasil menurunkan konsentrasi COD hingga dibawah baku mutu yaitu sesuai dengan SK Gubernur DIY No. 7 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Pariwisata.

Keberhasilan pengolahan limbah secara biologis dalam waktu tertentu ditentukan oleh kemampuan bakteri untuk membentuk endapan, dengan demikian akan memudahkan pemisahan partikel organik maupun anorganik dengan air limbah.

Pengolahan air limbah tergantung pada pembentukan endapan yang terbentuk oleh mikroorganisme terutama bakteri disebabkan oleh agregasi bakteri sehingga membentuk endapan. Sehingga, dalam penelitian pengolahan limbah tekstil menggunakan bakteri dapat mereduksi konsentrasi COD sebesar 62% (Herlambang, 2009).

Penelitian lain melakukan kajian bioremediasi pengolahan limbah tekstil diperoleh bahwa bakteri yang *adapted* dengan lingkungan limbah potensial digunakan untuk mengolah limbah tekstil. Mikroba memegang peranan penting terhadap keberhasilan biodegradasi limbah tekstil. Sehingga, hasil penurunan COD dalam penelitian dari konsentrasi sebelum diolah sebesar 6000 mg/L dan setelah mengalami pengolahan menjadi 97,13 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 98,3% (Sastrawidana *et al.*, 2008).

2.5 Bioremediasi

Bioremediasi menggunakan makhluk hidup untuk merombak substansi maupun bahan berbahaya bagi lingkungan sehingga menjadi komponen yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Bioremediasi merupakan salah satu alternatif atau cara yang dilakukan untuk mencegah kerusakan lingkungan dari limbah tenun menggunakan bakteri yang berpotensi merombak polutan. Limbah tersebut diurai oleh bakteri sampai volumenya lebih sedikit melalui reaksi enzimatik. Bakteri mampu menurunkan bahan organik dalam limbah cair tenun salah satunya penurunan COD (Wignyanto, Nur Hidayat, 2009).

Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya menurunkan konsentrasi polutan tersebut. Pada proses bioremediasi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi struktur polutan beracun menjadi tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak berbahaya dan tidak beracun (Priadie, 2012).

Bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik atau anorganik polutan secara biologi dalam kondisi terkendali yang bertujuan untuk mengontrol dan mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Suryani, 2011). Bioremediasi adalah penggunaan organisme hidup seperti mikroorganisme untuk mendegradasi lingkungan ke dalam bentuk kurang beracun (Vidali, 2001).

Jenis-jenis bioremediasi diantaranya biostimulasi, bioaugmentasi, bioremediasi intrinsik. Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi optimalisasi dalam proses bioremediasi yaitu adanya populasi mikroba yang mampu menurunkan polutan, keberadaan kontaminan terhadap populasi mikroba, dan faktor lingkungan (Vidali, 2001).

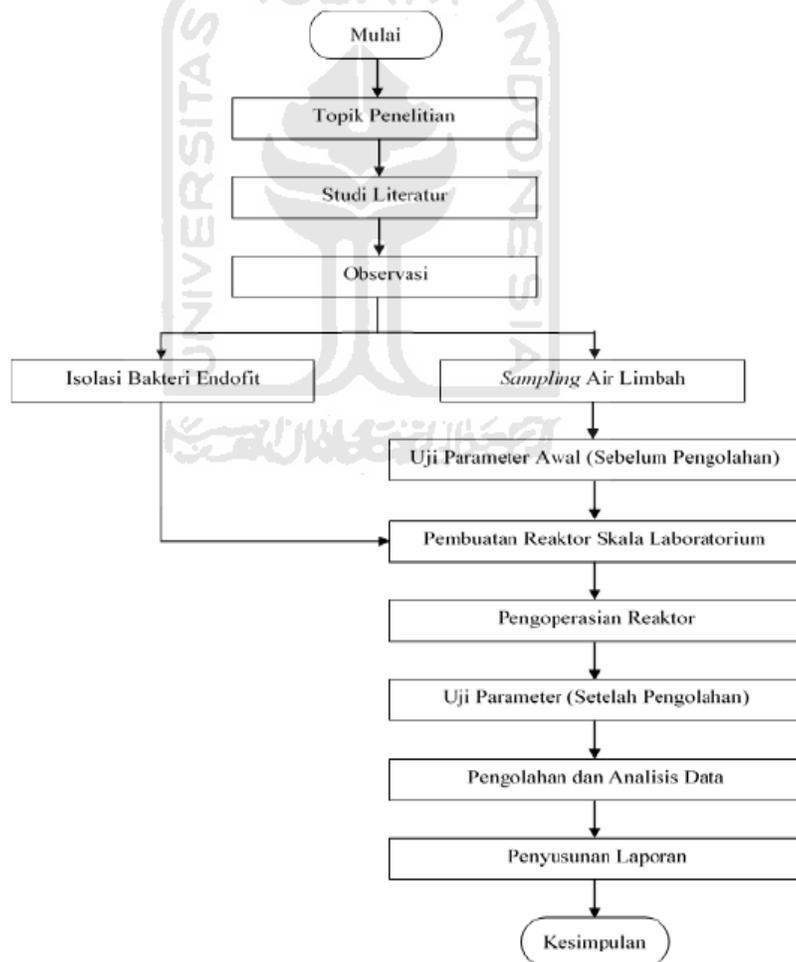
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penelitian dimulai pada November 2019 sampai Februari 2020.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kemampuan Bakteri Endofit dalam mengolah limbah tenun untuk mengurangi kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan metode bioremediasi Bakteri Endofit. Adapun alur pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.3 Sampling Air Limbah

Air limbah yang digunakan berasal dari limbah tenun yang berada di Desa Troso, Kabupaten Jepara. Air limbah tersebut merupakan produk dari pencucian kain tenun dan proses pewarnaan kain tenun yang diproduksi oleh industri rumahan tenun di Desa Troso. Metode pengambilan sampel limbah cair tenun menggunakan metode *grab sampling* mengacu pada SNI 6989.59:2008. Sampel limbah tersebut diambil secara langsung dan disimpan dalam jerigen plastik berukuran 20 L seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sampel Air Limbah
(Sumber : dokumentasi pribadi)



Gambar 3. 3 Proses Pengambilan Sampel Air Limbah
(Sumber : dokumentasi pribadi)

3.4 Isolasi Bakteri Endofit

Isolat bakteri endofit yang digunakan merupakan isolat bakteri yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh (Sa'adah, 2020). Sampel tanaman sebagai sumber Bakteri Endofit diambil dari tanaman yang mengalami pencemaran oleh limbah cair tenun di Desa Troso pada saluran air seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Tempat Pengambilan Sampel Tanaman

Terdapat 4 jenis akar tanaman yang diambil, diantaranya padi (*Oryza sativa*), talas (*Colocasia esculenta*), rumput jariji (*Digitaria sanguinalis*), dan kremah air (*Alternanthera philoxeroides*). Kemudian, akar tersebut dikumpulkan pada kantong plastik *ziplock* dan disimpan dalam *ice box* selama perjalanan menuju laboratorium. Kedua sampel tersebut lalu dimasukkan ke dalam kulkas dengan suhu 5⁰C.

Berikut merupakan hasil dari sampling 4 jenis tanaman berdasarkan sumber akar tanaman dengan kode kultur bakteri menggunakan media *Nutrient Agar* (NA) sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Jenis Tanaman dan Kode Kultur Bakteri

No.	Jenis Tanaman	Kode Kultur Bakteri
1	<i>Oryza sativa</i>	NA R1
2	<i>Colocasia esculenta</i>	NA R2
3	<i>Digitaria sanguinalis</i>	NA R3
4	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	NA R4

3.4.1 Identifikasi Bakteri

Bakteri yang berhasil tumbuh pada media perlu diidentifikasi untuk mengetahui morfologi pada masing-masing bakteri tersebut. Pada tahap identifikasi bakteri mengacu pada panduan morfologi bakteri. Morfologi bakteri

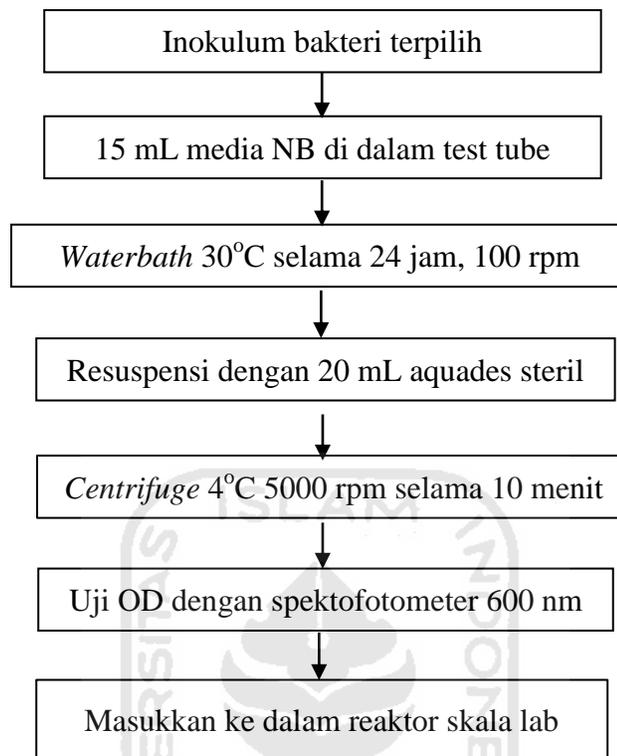
yang diidentifikasi yaitu *shape, chromatogenesis, elevation, surface, opacity, dan consistency*.

3.4.2 Kultivasi Bakteri

Bakteri yang telah diidentifikasi kemudian dipindahkan masing-masing ke media agar (*Nutrient Agar*) baru pada cawan petri yang telah steril. Tahap ini disebut tahap purifikasi yang bertujuan memisahkan bakteri berdasarkan morfologi untuk mendapatkan *single colony*. *Single colony* digunakan untuk proses kultivasi bakteri. Pada proses pemindahan bakteri dilakukan secara steril menggunakan metode gores atau metode *streak* dengan alat bantu jarum ose. Setelah tahapan ini selesai, bakteri yang telah dipindahkan tadi diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24 jam. Proses inkubasi berfungsi untuk mempercepat pertumbuhan bakteri sekaligus menghindari adanya kontaminan.

Setelah proses inkubasi selesai, kemudian kembali mengidentifikasi pertumbuhan bakteri pada media NA tersebut. Bakteri yang tumbuh dengan baik dan menghasilkan *single colony* dapat dilanjutkan dengan kultivasi pada agar miring. Sedangkan bakteri yang masih mengalami kontaminasi perlu dilakukan *streak* ulang pada cawan petri berisi media NA steril.

Tahap selanjutnya yaitu melakukan inokulasi bakteri. Tahap ini dilakukan dengan memindahkan bakteri terpilih dari agar miring berisi media NA ke dalam test tube berisi media NB (*Nutrient Broth*) untuk memudahkan dalam proses pencampuran ke dalam limbah cair yang digunakan. Pemindahan bakteri tersebut dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Tahapan Kultivasi Bakteri

3.5 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium

Pada penelitian ini, reaktor yang digunakan berupa toples berbahan kaca dengan kapasitas ± 800 ml yang dilapisi dengan *aluminium foil*. Penggunaan aluminium foil tersebut berfungsi sebagai pelapis untuk menghalangi adanya cahaya matahari yang dapat menembus ke dalam reaktor, hal ini akan berpotensi mengakibatkan terganggunya fase hidup bakteri oleh faktor luar. Berikut merupakan detail reaktor yang digunakan dalam proses degradasi limbah tenun.



Gambar 3. 6 Reaktor Skala Laboratorium

Sebelum reaktor ini siap digunakan, reaktor harus dalam keadaan steril. Reaktor kaca tersebut disterilisasi dengan oven selama 1 jam pada suhu 105°C . Reaktor yang telah steril kemudian diisi dengan 500 ml limbah tenun yang telah disterilisasi menggunakan *autoclave* selama 30 menit. Proses sterilisasi sangat penting dilakukan untuk menghindari terjadinya kontaminasi oleh bakteri lain yang dalam proses reduksi limbah. Adapun konsentrasi yang digunakan pada limbah tenun ini yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%, dengan pengenceran limbah dilakukan menggunakan *aquadest* steril.

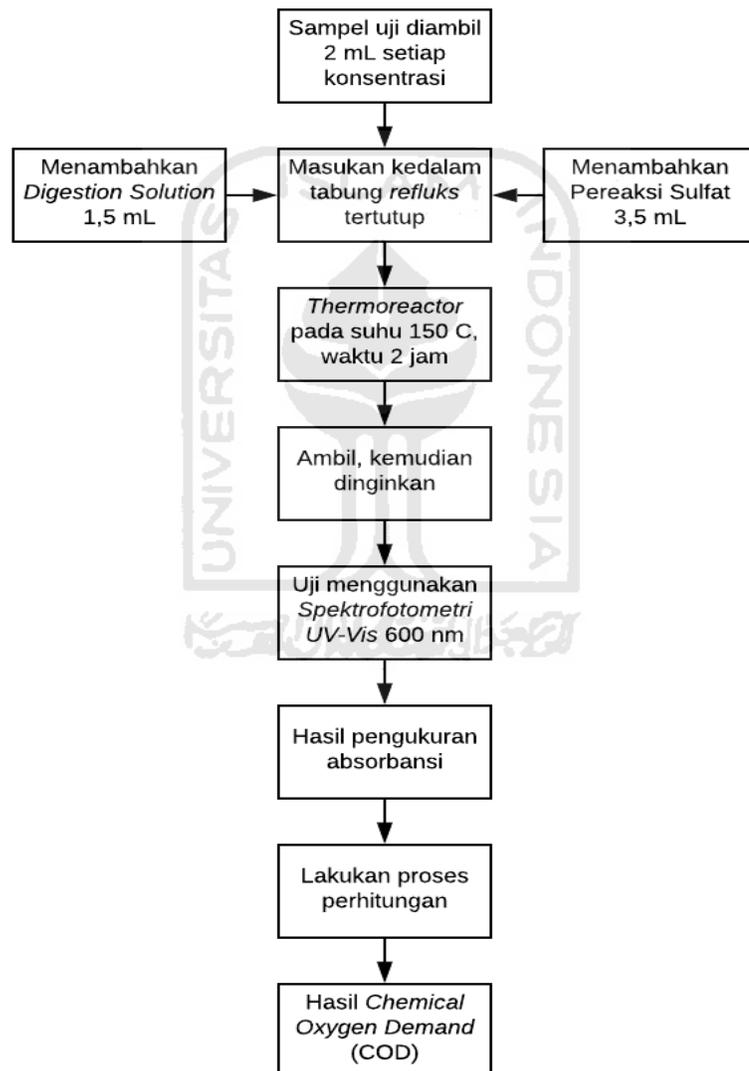
3.6 Running Reaktor

Pelaksanaan running reaktor dilakukan selama satu minggu setelah tahapan inokulasi bakteri ke dalam limbah tenun yang ada pada reaktor. Jumlah reaktor yang digunakan disesuaikan dengan jumlah bakteri yang tumbuh dengan baik pada tahap isolasi, dimana masing-masing jenis bakteri terdapat pada satu reaktor. Pengisian limbah dan bakteri yang dilakukan yaitu limbah sebanyak 500 mL dengan masing-masing konsentrasi dan bakteri pada NB sebanyak 20 mL, dapat dikatakan rasio perbandingan limbah dan bakteri sebesar 25 : 1. Pengujian sampel dilakukan berkala dalam kurun waktu 7 hari dengan interval waktu pengujian parameter yakni *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakuan sesuai jadwal berikut pada tabel 3.1

Tabel 3. 3 Jadwal Pengujian Parameter

Hari ke-	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam	168 jam
Pengujian <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	√	√	-	√	-	-	-	√

Pengambilan sampel air limbah pada reaktor dilakukan dengan mengambil limbah dengan menggunakan pipet volume 50 mL pada permukaan air untuk menghindari adanya endapan sehingga meminimalisir adanya kesalahan akurasi saat pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD). Tahapan pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) mengacu pada **SNI 6989.73:2019**. Berikut merupakan tahapan dalam pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) :



Gambar 3. 7 Tahapan Pengujian COD

3.7 Pengolahan dan Analisis Data

3.7.1 Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Konsentrasi limbah pewarna tenun memiliki konsentrasi COD sebesar 3855 mg/L. Pada rentang tersebut, tingkat konsentrasi air limbah pewarna mempengaruhi tingkat kematian pada tanaman maupun makhluk hidup lainnya (Tangahu and Ningsih, 2016). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai konsentrasi pada limbah cair tenun yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Analisis ini dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi awal *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah dan dibandingkan dengan konsentrasi akhir *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang telah diuji pada media reaktor. Tingkat efisiensi bakteri dalam reaktor dalam mengolah limbah cair tenun dapat dianalisis berdasarkan presentase removal hasil pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD). Adapun rumus yang digunakan dalam hasil perhitungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu :

$$\text{Kadar COD} \left(\frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} \right) = C \times f$$

$$C = \text{nilai contoh uji} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$f = \text{faktor pengenceran}$$

Hasil pengujian dibandingkan dengan peraturan atau baku mutu yang berlaku yaitu Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk parameter COD yaitu sebesar 150 mg/L mengenai baku mutu air limbah industri dan tekstil dan selanjutnya diolah dalam bentuk data grafik untuk melihat tren dari proses pengolahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Endofit

Pada proses identifikasi diawali dengan proses karakterisasi dengan melihat kekerabatan antarisolat bakteri menggunakan similaritas. Similaritas bakteri dapat diketahui dengan menggunakan karakter dari morfologi koloni, morfologi sel maupun fisiologi biokimia. Karakter-karakter tersebut digunakan dalam mengelompokkan bakteri tertentu (Mata *et al.*, 2002).

Pada tahap menentukan karakterisasi bakteri endofit dilakukan sebagai langkah lanjutan dalam melakukan kulturisasi bakteri endofit yang digunakan untuk memperbanyak kultur bakteri dan dapat diinokulasikan pada reaktor untuk mendegradasi polutan khususnya COD limbah cair tenun. Kultur bakteri yang diinokulasikan pada reaktor diantaranya NA R2 A1, NA R4 A1, NA R1 B2, NA R2 C2(1), NA R2 C2(2), dan NA R4 A2(2).

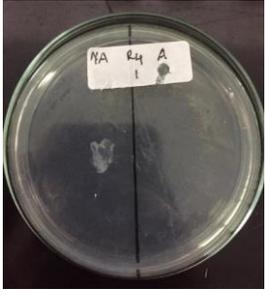
Pada proses identifikasi bakteri juga dilakukan analisis pengujian *Optical Density* (OD) dengan menunjukkan nilai absorbansi tiap bakteri menggunakan *spektrofotometer* dengan panjang gelombang 600 nm. Berikut merupakan nilai OD dari bakteri yang akan diinokulasi :

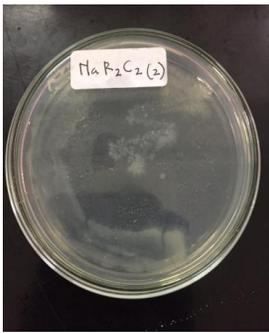
Tabel 4.1 Nilai *Optical Density* Bakteri Terpilih

Kode Bakteri	Nilai Optical Density (OD)
NA R2 A1	1,843
NA R4 A1	1,453
NA R1 B2	0,50
NA R2 C2(1)	1,907
NA R2 C2(2)	0,50
NA R4 A2(2)	1,235

Dari data OD yang diperoleh nilai absorbansi tertinggi yaitu NA R2 C2(1) yaitu sebesar 1,907. Menurut (Lizayana, Mudatsir and Iswadi, 2016), hal tersebut dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi yang memadai, pH optimum, serta suhu yang mendukung sehingga menyebabkan densitas bakteri menjadi tinggi, akibatnya saat dihitung nilai absorbansi menggunakan *spektrofotometer* cahaya yang dilewatkan akan menjadi sedikit disebabkan oleh banyaknya cahaya yang diserap oleh bakteri. Pengujian optical density ini bertujuan untuk mengetahui hubungan tingkat kekeruhan dengan jumlah koloni bakteri yang tumbuh. Semakin tinggi nilai absorbansi maka jumlah bakteri semakin banyak (Lizayana, Mudatsir and Iswadi, 2016).

Tabel 4. 2 Morfologi pada Koloni Bakteri Terpilih

No	Kode Bakteri	Shape	Chromatogenesis	Elevation	Surface	Opacity	Consistency	Gambar
1	NA R2 A1	<i>Round</i>	<i>Light Yellow</i>	<i>Raised</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Buttery</i>	
2	NA R4 A1	<i>Irregular</i>	<i>White</i>	<i>Raised</i>	<i>Rough</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>	

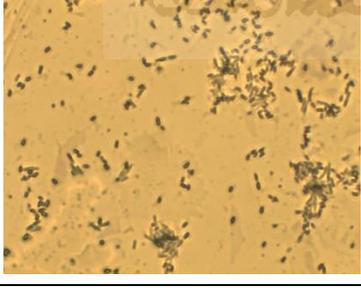
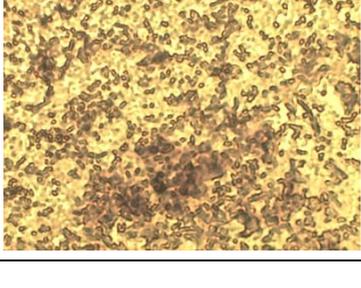
No	Kode Bakteri	Shape	Chromatogenesis	Elevation	Surface	Opacity	Consistency	Gambar
3	NA R1 B2	<i>Rizoid</i>	<i>White</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>	
4	NA R2 C2 (1)	<i>Irregular</i>	<i>Light Brown</i>	<i>Raised</i>	<i>Rough</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>	
5	NA R2 C2 (2)	<i>Irregular</i>	<i>Light Yellow</i>	<i>Flat</i>	<i>Rough</i>	<i>Transparant</i>	<i>Buttery</i>	

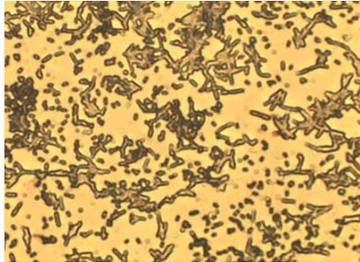
No	Kode Bakteri	Shape	Chromatogenesis	Elevation	Surface	Opacity	Consistency	Gambar
6	NA R4 A2 (2)	Rizoid	White	Raised	Rough	Opaque	Buttery	



Selain melakukan pengamatan morfologi bakteri, dilakukan juga pengamatan identifikasi bakteri dengan metode pewarnaan gram. Pewarnaan gram merupakan suatu teknik pewarnaan yang berfungsi untuk mengelompokkan bakteri gram positif dan gram negatif sebagai ciri suatu bakteri. Dari pewarnaan gram tersebut dapat diketahui morfologi sel diantaranya sifat gram, bentuk sel, dan susunan sel.

Tabel 4.3 Hasil Pewarnaan Gram pada Koloni Bakteri Terpilih

Kode Bakteri	Gambar	Sifat Gram	Bentuk Sel	Susunan Sel
NA R2 A1		Negatif	Basil	Berantai
NA R4 A1		Negatif	Coccus	Berantai
NA R1 B2		Negatif	Coccus	Berantai
NA R2 C2(1)		Negatif	Basil	Berantai

Kode Bakteri	Gambar	Sifat Gram	Bentuk Sel	Susunan Sel
NA R2 C2(2)		Negatif	Basil	Berantai
NA R4 A2(2)		Negatif	Basil	Berantai

Isolasi dan karakterisasi dari bakteri endofit pendegradasi polutan penting untuk meningkatkan efisiensi dalam sistem pengolahan limbah atau dalam hal ini bioremediasi (Shehzadi *et al.*, 2016).

Berdasarkan karakteristik yang dilakukan secara makroskopis, mikroskopis, dan fisiologis, selanjutnya dapat dilakukan proses identifikasi bakteri dengan buku panduan *Bergey's manual determination* untuk mengetahui genus dari akar tanaman *Oryza sativa* yaitu terdapat 4 genus diantaranya genus dari *Pseudomonas*, genus dari *Bacillus*, genus dari *Enterobacter*, dan genus dari *Azotobacter* (Ayu, Hartanti and Pertanian, 2020).

Umbi Talas (*Colocasia esculenta*) memiliki kandungan pati yang tinggi sehingga digunakan untuk mengisolasi bakteri amilolitik. Adapun terdapat tujuh isolat yang teridentifikasi. Hasil menunjukkan ketujuh isolat tersebut diduga teridentifikasi sebagai *Pseudomonas knackmussii* yaitu dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus siamensis*, *Bacillus subtilis*, dan *Bacillus altitudinis* yang ketiganya berasal dari genus *Bacillus* (Wulandari and Purwaningsih, 2019). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa golongan bakteri amilolitik dari tanaman talas berasal dari genus *Bacillus*, *Lactibacillus*, *Clostridium*, *Mikrococcus*, dan *Actinomyces* (Reddy, Nimmagadda and Rao, 2003).

Bakteri aerobik dari sistem perakaran *Digitaria Sanguinalis* mampu fiksasi N_2 diisolasi dari sampel akar tanaman tersebut. Pertumbuhan optimal dan fiksasi N_2 terjadi pada pH 6,5 dan suhu 30-37°C. Pengamatan terhadap morfologi serta hasil dari fisiologis menunjukkan bahwa isolat dari tanaman *Digitaria Sanguinalis* merupakan jenis isolat dari Azotobacteraceae. Azotobacteraceae merupakan isolat bakteri yang termasuk dalam genus *Azotobacter* (Barber and Evans, 1976).

Alternanthera philoxeroides menghasilkan isolat bakteri yang telah diamati di bawah cahaya mikroskop dan dipilih berdasarkan morfologinya. Setelah melalui proses pertumbuhan selama 36 jam pada suhu 25 °C, ditemukan isolat bakteri dari tanaman *Alternanthera philoxeroides* yaitu bakteri *Pseudomonas syringa* yang merupakan bakteri gram negatif aerobik. *Pseudomonas syringa* termasuk pada genus *Pseudomonas* (Liu *et al.*, 2016).

4.2 Analisis Parameter Uji Chemical Oxygen Demand (COD)

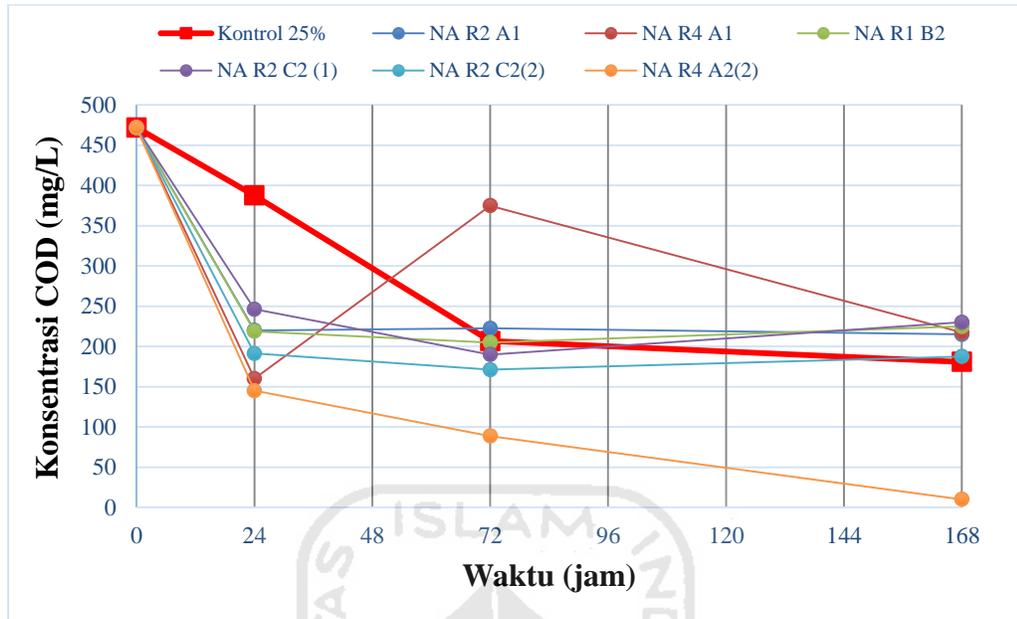
Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Metode pengujian COD yang digunakan yaitu metode refluks tertutup mengacu pada SNI 6989:73:2019. Hasil pengujian konsentrasi COD tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk industri tekstil dan batik dengan kadar maksimum sebesar 150 mg/L.

Pengolahan limbah cair tenun dilakukan menggunakan sistem reaktor skala laboratorium menggunakan limbah konsentrasi 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan dalam kurun waktu 0 jam, 24 jam, 72 jam, dan 168 jam.

Pada proses pengujian parameter COD dengan menggunakan bakteri endofit dilakukan selama satu minggu, sehingga didapatkan data pada grafik berikut :

4.2.1 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 25%

Air limbah tenun yang digunakan memiliki kadar air limbah 25% dengan pengenceran sebanyak 75% *aquadest* dikombinasikan dengan 6 jenis bakteri endofit, dengan kode bakteri NA R2 A1, NA R4 A1, NA R1 B2, NA R2 C2(1), NA R2 C2(2), dan NA R4 A2(2). Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat hasil penurunan bahan pencemar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah konsentrasi 25% pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 25%

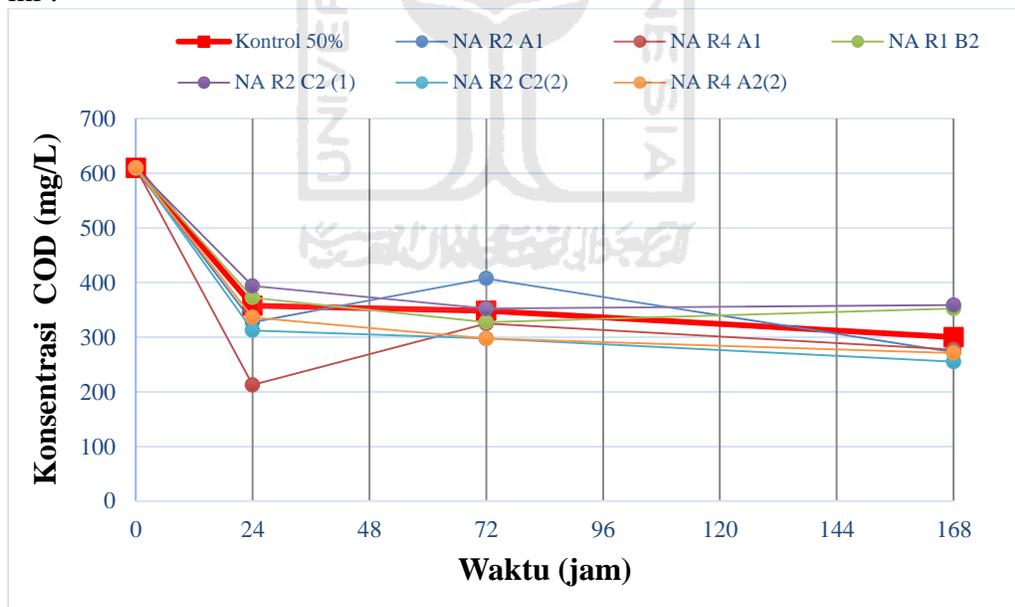
Pada Gambar 4.1 terdapat grafik pengujian konsentrasi COD yang fluktuatif. Pada grafik tersebut, keadaan awal air limbah tenun yang dilakukan pada limbah konsentrasi 25% menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 472 mg/L. Pada grafik ditunjukkan bahwa terdapat satu bakteri yang memiliki kemampuan yang sangat signifikan dalam penurunan konsentrasi COD. Bakteri NA R4 A2(2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 327 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 472 mg/L menjadi 145 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 56,25 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 145 mg/L menjadi 88,75 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi penurunan yang sangat signifikan sebesar 78,75 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 88,75 mg/L menjadi 10 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R4 A2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang sangat signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 462 mg/L yaitu dari 472 mg/L menjadi 10 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 97,88%. Apabila dilihat kemampuan bakteri NA R4 A2 (2) dalam mereduksi COD pada limbah konsentrasi 25%, bakteri tersebut mampu menurunkan konsentrasi COD hingga dibawah baku mutu yaitu 150 mg/L dengan konsentrasi limbah sebesar 10 mg/L.

Pada Gambar 4.1 terdapat penurunan konsentrasi COD pada grafik oleh bakteri NA R4 A2(2) yang mampu menurunkan kadar COD hingga di bawah

kontrol. Adapun kontrol yang muncul saat pengujian limbah konsentrasi 25% ini yaitu pada keadaan awal sebesar 472 mg/L, saat 24 jam sebesar 387,5 mg/L, saat 72 jam sebesar 206,67 mg/L, dan pada saat 168 jam sebesar 180,94 mg/L. Kemampuan bakteri dalam mengolah limbah tenun didukung oleh penelitian (Setiarini and Mangkoediharjo, 2013) bahwa apabila bakteri tersebut aktif akan mempengaruhi pengolahan dalam penurunan kadar COD pada limbah. Adapun grafik yang mengalami kenaikan pada waktu tertentu disebabkan adanya kondisi bakteri yang berkembang biak sehingga dapat memicu kompetisi pada bakteri dan mengakibatkan kemampuan dalam mereduksi parameter COD menjadi berkurang. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya (Miwada, Lindawati and Tatang, 2006).

4.2.2 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 50%

Air limbah tenun yang digunakan memiliki kadar air limbah 50% dengan pengenceran sebanyak 50% *aquadest* dan dikombinasikan dengan 6 jenis bakteri endofit, dengan kode bakteri bakteri NA R2 A1, NA R4 A1, NA R1 B2, NA R2 C2(1), NA R2 C2(2), dan NA R4 A2(2). Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat hasil penurunan bahan pencemar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah cair tenun dengan konsentrasi 50% pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 50%

Pada Gambar 4.2 terdapat grafik pengujian konsentrasi COD yang fluktuatif. Pada grafik tersebut, keadaan awal air limbah tenun yang dilakukan

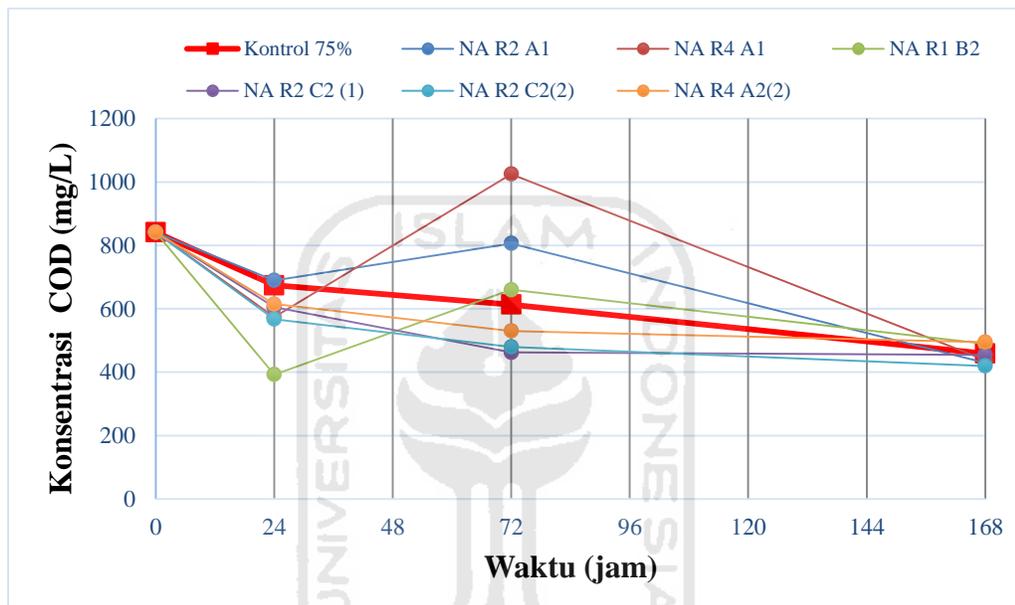
pada limbah konsentrasi 50% menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 609,75 mg/L. Pada grafik ditunjukkan bahwa terdapat dua bakteri yang memiliki kemampuan yang sangat signifikan dalam penurunan konsentrasi COD. Bakteri pertama yaitu NA R2 C2 (2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 297,25 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 609,75 mg/L menjadi 312,5 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 15 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 312,5 mg/L menjadi 297,5 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi kembali penurunan konsentrasi COD sebesar 42,5 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 297,5 mg/L menjadi 255 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R2 C2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 354,75 mg/L yaitu dari 609,75 mg/L menjadi 255 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 58,18%.

Bakteri kedua yaitu NA R4 A2 (2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 273,5 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 609,75 mg/L menjadi 336,25 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 38,75 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 336,25 mg/L menjadi 297,5 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi penurunan konsentrasi COD kembali sebesar 26,25 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 297,5 mg/L menjadi 271,25 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R4 A2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang cukup signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 338,5 mg/L yaitu dari 609,75 mg/L menjadi 271,25 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 55,51%.

Pada Gambar 4.2 terdapat penurunan konsentrasi COD oleh bakteri NA R2 C2(2) dan bakteri NA R4 A2(2) pada grafik yang mampu menurunkan kadar COD hingga di bawah kontrol, namun terdapat pula yang masih berada di atas kontrol. Adapun kontrol yang muncul saat pengujian limbah konsentrasi 50% ini yaitu pada keadaan awal sebesar 609,75 mg/L, saat 24 jam sebesar 357,5 mg/L, saat 72 jam sebesar 348,44 mg/L, dan pada saat 168 jam sebesar 300 mg/L. Kemampuan bakteri dalam mengolah limbah tenun didukung oleh penelitian (Setiarini and Mangkoediharjo, 2013) bahwa apabila bakteri tersebut aktif akan mempengaruhi pengolahan dalam penurunan kadar COD pada limbah. Adapun grafik yang mengalami kenaikan pada waktu tertentu disebabkan adanya kondisi bakteri yang berkembang biak sehingga dapat memicu kompetisi pada bakteri dan mengakibatkan kemampuan dalam mereduksi parameter COD menjadi berkurang. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya (Miwada, Lindawati and Tatang, 2006).

4.2.3 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 75%

Air limbah tenun yang digunakan memiliki kadar air limbah 75% dengan pengenceran sebanyak 25% *aquadest* dan dikombinasikan dengan 6 jenis bakteri endofit, dengan kode bakteri NA R2 A1, NA R4 A1, NA R1 B2, NA R2 C2(1), NA R2 C2(2), dan NA R4 A2(2). Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat hasil penurunan bahan pencemar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah cair tenun dengan konsentrasi 75% pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 75%

Pada Gambar 4.3 terdapat grafik pengujian konsentrasi COD yang fluktuatif. Pada grafik tersebut, keadaan awal air limbah tenun yang dilakukan pada limbah konsentrasi 75% menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 841,33 mg/L. Pada grafik ditunjukkan bahwa terdapat tiga bakteri yang memiliki kemampuan yang sangat signifikan dalam penurunan konsentrasi COD. Bakteri pertama yaitu NA R2 C2 (1) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 236,33 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 841,33 mg/L menjadi 605 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 142,5 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 605 mg/L menjadi 462,5 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi kembali penurunan konsentrasi COD sebesar 7,5 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 462,5 mg/L menjadi 455 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R2 C2 (1) sehingga mengalami

penurunan konsentrasi COD yang signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 386,33 mg/L yaitu dari 841,33 mg/L menjadi 455 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 45,92%.

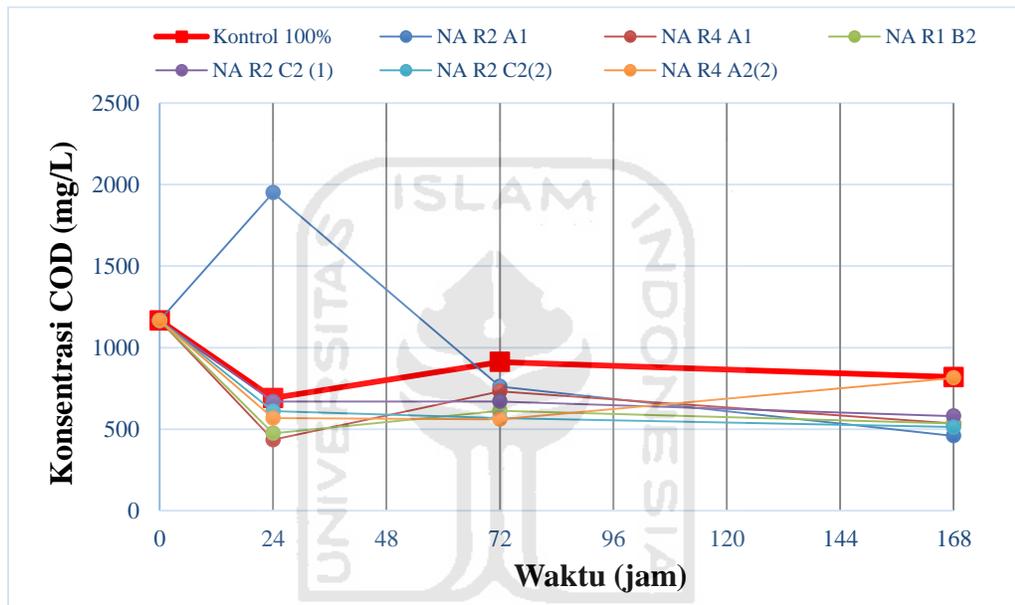
Bakteri kedua yaitu NA R2 C2 (2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 278,83 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 841,33 mg/L menjadi 567,5 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 87,5 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 567,5 mg/L menjadi 480 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi kembali penurunan konsentrasi COD sebesar 60 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 480 mg/L menjadi 420 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R2 C2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 421,33 mg/L yaitu dari 841,33 mg/L menjadi 420 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 50,08%.

Bakteri ketiga yaitu NA R4 A2 (2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 226,33 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 841,33 mg/L menjadi 615 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 85 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 615 mg/L menjadi 530 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi penurunan konsentrasi COD kembali sebesar 35 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 530 mg/L menjadi 495 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya kemampuan bakteri NA R4 A2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang cukup signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 346,33 mg/L yaitu dari 841,33 mg/L menjadi 495 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 41,16%.

Pada Gambar 4.2 terdapat penurunan konsentrasi COD oleh bakteri NA R2 C2(1) dan NA R2 C2(2) bakteri NA R4 A2(2) pada grafik yang mampu menurunkan kadar COD hingga di bawah kontrol, namun terdapat bakteri NA R4 A2(2) masih berada di atas kontrol pada saat 168 jam. Hal ini terjadi akibat adanya berkembang biak bakteri pada reaktor saat 168 jam sehingga konsentrasi COD bertambah tinggi. Adapun kontrol yang muncul saat pengujian limbah konsentrasi 75% ini yaitu pada keadaan awal sebesar 841,33 mg/L, saat 24 jam sebesar 674,17 mg/L, saat 72 jam sebesar 613,33 mg/L, dan pada saat 168 jam sebesar 458,75 mg/L. Kemampuan bakteri dalam mengolah limbah tenun didukung oleh penelitian (Setiarini and Mangkoediharjo, 2013) bahwa apabila bakteri tersebut aktif akan mempengaruhi pengolahan dalam penurunan kadar COD pada limbah. Adapun grafik yang mengalami kenaikan pada waktu tertentu disebabkan adanya kondisi bakteri yang berkembang biak sehingga dapat memicu kompetisi pada bakteri dan mengakibatkan kemampuan dalam mereduksi parameter COD menjadi berkurang. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya (Miwada, Lindawati and Tatang, 2006).

4.2.4 Pengujian COD pada Limbah Konsentrasi 100%

Air limbah tenun yang digunakan memiliki kadar air limbah 100% tanpa adanya pengenceran dan dikombinasikan dengan 6 jenis bakteri endofit, dengan kode bakteri NA R2 A1, NA R4 A1, NA R1 B2, NA R2 C2(1), NA R2 C2(2), dan NA R4 A2(2). Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat hasil penurunan bahan pencemar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah cair tenun dengan konsentrasi 100% pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kadar COD pada Reaktor dengan Limbah Tenun Konsentrasi 100%

Pada Gambar 4.4 terdapat grafik pengujian konsentrasi COD yang fluktuatif. Pada grafik tersebut, keadaan awal air limbah tenun yang dilakukan pada limbah konsentrasi 100% menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 1166,72 mg/L. Pada grafik ditunjukkan bahwa terdapat satu bakteri yang memiliki kemampuan yang sangat signifikan dalam penurunan konsentrasi COD. Bakteri NA R2 C2(2) saat 24 jam mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 556,72 mg/L yaitu dari konsentrasi sampel keadaan awal 1166,72 mg/L menjadi 610 mg/L. Pada saat 72 jam, terjadi penurunan kembali sebesar 42,5 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 610 mg/L menjadi 567,5 mg/L. Pada saat 168 jam, terjadi kembali penurunan sebesar 55 mg/L yaitu dari konsentrasi COD 567,5 mg/L menjadi 512,5 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan limbah dengan menggunakan aktivitas bakteri yang dapat menguraikan kadar organik dan bekerja secara optimal. Dapat dilihat hasil pada grafik bahwa adanya

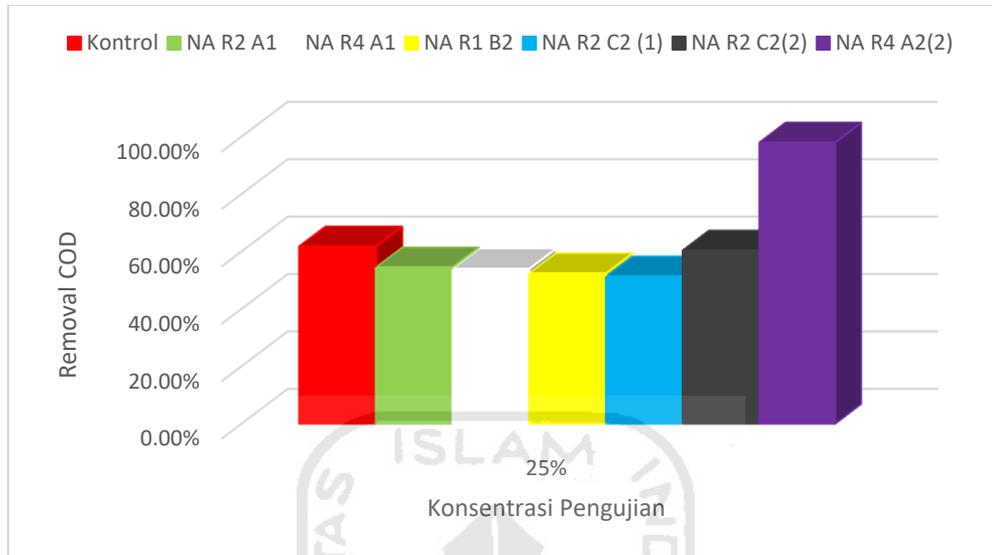
kemampuan bakteri NA R2 C2 (2) sehingga mengalami penurunan konsentrasi COD yang sangat signifikan pada sampel dalam keadaan awal dan akhir sebesar 654,22 mg/L yaitu dari 1166,72 mg/L menjadi 512,5 mg/L dengan efisiensi removal COD sebesar 56,07%.

Pada Gambar 4.4 terdapat penurunan konsentrasi COD pada grafik oleh bakteri NA R2 C2(2) yang mampu menurunkan kadar COD hingga di bawah kontrol. Adapun kontrol yang muncul saat pengujian limbah konsentrasi 100% ini yaitu pada keadaan awal sebesar 1166,72 mg/L, saat 24 jam sebesar 690,42 mg/L, saat 72 jam sebesar 911,56 mg/L, dan pada saat 168 jam sebesar 819,17 mg/L. Kemampuan bakteri dalam mengolah limbah tenun didukung oleh penelitian (Setiarini and Mangkoediharjo, 2013) bahwa apabila bakteri tersebut aktif akan mempengaruhi pengolahan dalam penurunan kadar COD pada limbah. Adapun grafik yang mengalami kenaikan pada waktu tertentu disebabkan adanya kondisi bakteri yang berkembang biak sehingga dapat memicu kompetisi pada bakteri dan mengakibatkan kemampuan dalam mereduksi parameter COD menjadi berkurang. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya (Miwada, Lindawati and Tatang, 2006).

4.3 Pengaruh Beban *Chemical Oxygen Demand* (COD) terhadap Kinerja Bakteri

Pengolahan limbah menggunakan bakteri endofit pada reaktor dengan konsentrasi yang berbeda-beda cukup bisa mereduksi kadar COD pada limbah tenun. Pengaruh kemampuan bakteri endofit terhadap penurunan konsentrasi COD dapat dilihat pada perhitungan efisiensi removal. Perhitungan efisiensi removal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif degradasi polutan dalam hal ini COD yang dapat dilakukan oleh bakteri endofit. Untuk lebih jelasnya, presentase removal *Chemical Oxygen Demand* (COD) dapat dilihat pada grafik di bawah ini :

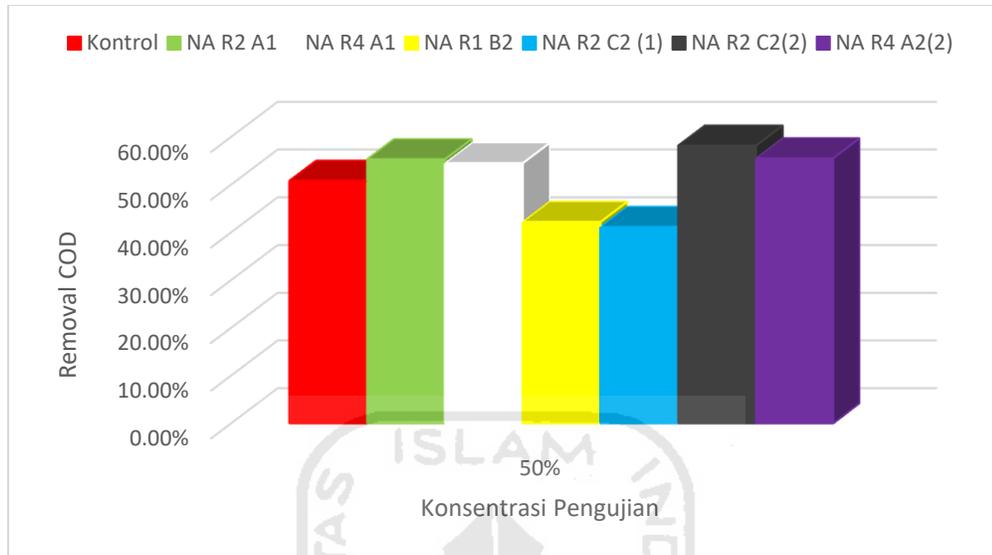
4.3.1 Konsentrasi 25%



Gambar 4.5 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 25%

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik presentase removal COD oleh bakteri endofit pada limbah tenun konsentrasi 25%. Presentase removal pengolahan air limbah tenun menggunakan bakteri endofit dapat dikatakan cukup baik. Kemampuan dalam meremoval COD tertinggi mampu dilakukan oleh bakteri NA R4 A2(2) yaitu sebesar 97,88%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri NA R4 A2(2) memiliki kemampuan dan kinerja yang besar dalam meremoval COD pada limbah tenun 25%. Sedangkan, kemampuan dalam removal COD terendah terdapat pada bakteri NA R2 C2(1) dengan efisiensi removal sebesar 51,27%. Akan tetapi, angka persen removal pada bakteri NA R2 C2(1) cukup mampu mereduksi konsentrasi COD pada limbah 25% tersebut dalam jumlah besar.

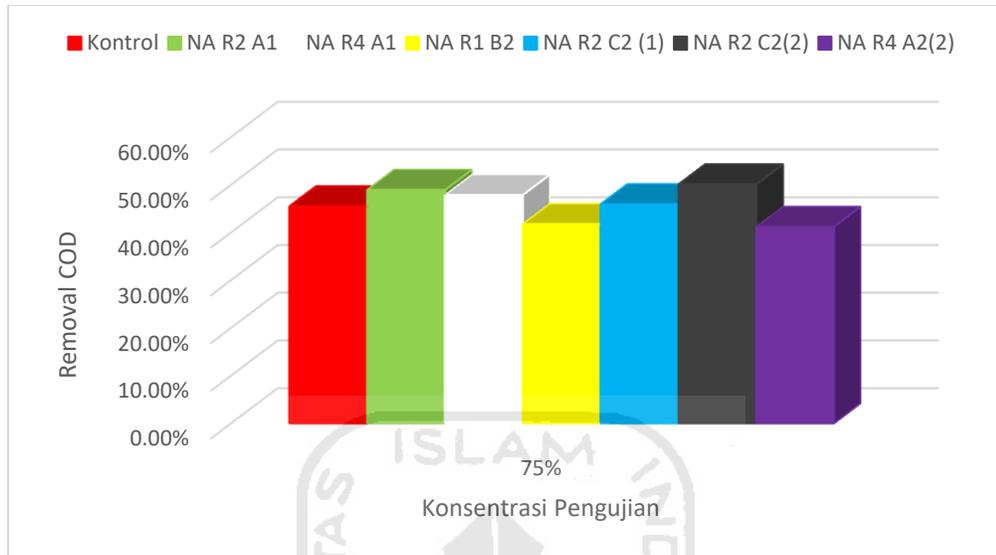
4.3.2 Konsentrasi 50%



Gambar 4.6 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 50%

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat grafik presentase removal COD oleh bakteri endofit pada limbah tenun konsentrasi 50%. Presentase removal pengolahan air limbah tenun menggunakan bakteri endofit dapat dikatakan cukup baik. Kemampuan dalam meremoval COD tertinggi mampu dilakukan oleh bakteri NA R2 C2(2) yaitu sebesar 58,18%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri NA R2 C2(2) memiliki kemampuan dan kinerja yang cukup besar dalam meremoval COD pada limbah tenun 50%. Sedangkan, kemampuan dalam removal COD terendah terdapat pada bakteri NA R2 C2(1) dengan efisiensi removal sebesar 41,16%.

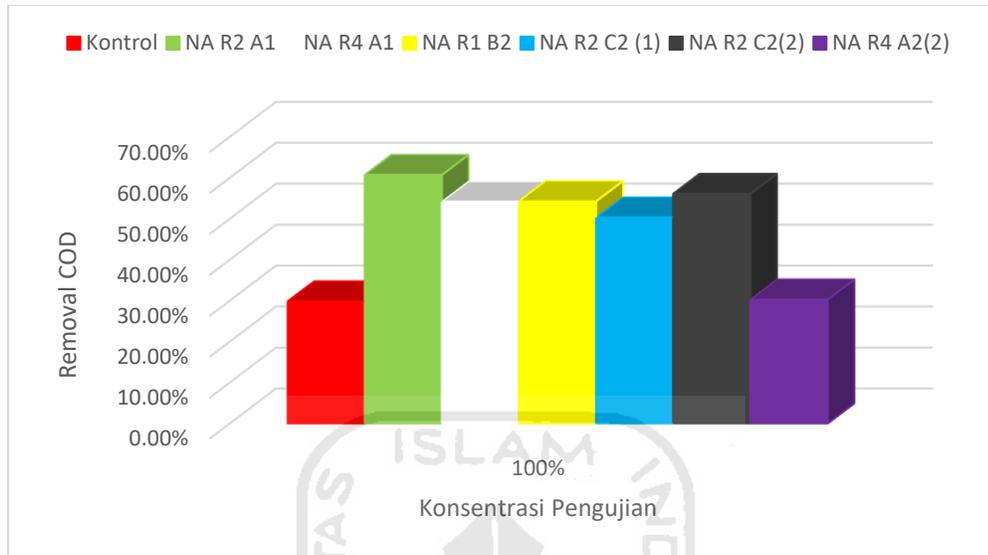
4.3.3 Konsentrasi 75%



Gambar 4.7 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 75%

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat grafik presentase removal COD oleh bakteri endofit pada limbah tenun konsentrasi 75%. Presentase removal pengolahan air limbah tenun menggunakan bakteri endofit dapat dikatakan cukup baik. Kemampuan dalam meremoval COD tertinggi mampu dilakukan oleh bakteri NA R2 C2(2) yaitu sebesar 50,08%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri NA R2 C2(2) memiliki kemampuan dan kinerja yang cukup besar dalam meremoval COD pada limbah tenun 75%. Sedangkan, kemampuan dalam removal COD terendah terdapat pada bakteri NA R4 A2(2) dengan efisiensi removal sebesar 41,16%.

4.3.4 Konsentrasi 100%



Gambar 4.8 Efisiensi Removal COD pada Limbah Konsentrasi 100%

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat grafik presentase removal COD oleh bakteri endofit pada limbah tenun konsentrasi 100%. Presentase removal pengolahan air limbah tenun menggunakan bakteri endofit dapat dikatakan cukup baik. Kemampuan dalam meremoval COD tertinggi mampu dilakukan oleh bakteri NA R2 A1 yaitu sebesar 60,68%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri NA R2 A1 memiliki kemampuan dan kinerja yang cukup besar dalam meremoval COD pada limbah tenun 100%. Sedangkan, kemampuan dalam removal COD terendah terdapat pada bakteri NA R4 A2(2) dengan efisiensi removal sebesar 30,25%.

4.3.5 Perbandingan Kemampuan Bakteri Endofit dalam Removal COD tiap Konsentrasi Limbah

Tabel 4. 4 Perbandingan Kemampuan Bakteri Endofit dalam Removal COD tiap Konsentrasi Limbah

Persen Removal tiap Bakteri Endofit	Konsentrasi Limbah			
	25%	50%	75%	100%
Kontrol	61.67%	50.80%	45.47%	29.79%
NA R2 A1	54.45%	55.31%	48.89%	60.68%
NA R4 A1	53.92%	54.49%	47.85%	54.14%
NA R1 B2	52.33%	42.19%	41.76%	54.25%
NA R2 C2 (1)	51.27%	41.16%	45.92%	50.29%
NA R2 C2(2)	60.28%	58.18%	50.08%	56.07%
NA R4 A2(2)	97.88%	55.51%	41.16%	30.25%

Presentase removal COD pada pengolahan air limbah menggunakan bakteri endofit dapat dikatakan mengalami fluktuasi pada beberapa konsentrasi pengujian dan bakteri yang berperan di dalamnya. Nilai presentase removal COD tertinggi diperoleh pada bakteri NA R4 A2(2) konsentrasi limbah 25% dengan nilai presentase removal sebesar 97,88%. NA R4 A2(2) yang berasal dari tanaman *Alternanthera philoxeroides* ini mampu meremoval COD dengan tren yang terus menurun dan terjadi dibawah konsentrasi reaktor kontrol tanpa bakteri. Hal ini didukung oleh penelitian (Erguven and Yildirim, 2016), menunjukkan bahwa bakteri endofit memiliki kemampuan mendegradasi COD hingga 94% yaitu dari konsentrasi COD 15600 mg/L menjadi 1090 mg/L dan merupakan bakteri yang cocok untuk pengolahan bioremediasi.

Nilai efisiensi removal pada penurunan COD tertinggi terjadi pada limbah dengan konsentrasi yang rendah. Penurunan COD terkecil dapat dilihat pada pengujian reaktor limbah konsentrasi 100% dengan bakteri NA R4 A2(2) sebesar 30,25%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan bakteri NA R4 A2(2) dalam meremoval kontaminan dalam limbah 100% kurang baik. Akan tetapi, efisiensi removal COD pada bakteri NA R4 A2(2) terus mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya konsentrasi limbah. Penurunan COD yang rendah pada konsentrasi limbah yang tinggi sejalan dengan penelitian (Husin, 2008) yang mengatakan bahwa meningkatnya konsentrasi COD menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan COD. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi COD pada limbah, semakin besar pula jumlah substrat yang terkandung pada limbah. Sehingga, terbatasnya jumlah mikroorganisme pengurai aktif yang menyebabkan kemampuan mendegradasi

substrat terbatas dengan demikian beban organik yang diuraikan oleh mikroba akan semakin besar.

Penurunan COD yang dialami pada setiap reaktor menunjukkan penurunan yang berbeda-beda. Akan tetapi, efisiensi penurunan COD pada reaktor yang diinokulasi oleh bakteri lebih besar dibandingkan dengan reaktor yang tidak diinokulasi oleh bakteri. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Sa'adah, 2020).

Pada pengujian COD pada limbah tenun ini dapat dilihat pada tabel 4.2 bahwasannya reaktor kontrol yang tidak diberi perlakuan penambahan bakteri endofit juga mengalami penurunan konsentrasi COD. Penurunan konsentrasi COD pada kontrol ini disebabkan oleh partikel-partikel yang turun dan mengalami pengendapan karena adanya gaya gravitasi. Partikel yang turun dan mengendap tersebut merupakan bahan organik tersuspensi yang berasal dari limbah tenun dimana molekul yang terdapat pada limbah ini tidak semua dapat larut dalam air yang disebabkan adanya rantai hidrokarbon. Hal tersebut menyebabkan sebagian partikel berkurang dan terjadi peningkatan suplai oksigen. Suplai oksigen merupakan faktor yang mempengaruhi adanya penurunan COD (Wicheisa *et al.*, 2018). Penelitian lain menyebutkan bahwa senyawa organik dapat dengan mudah terurai yang diasosiasikan oleh padatan tersuspensi yang dapat mengendap lebih banyak. Sehingga, pada umumnya sebanyak 60% dari padatan tersuspensi dalam air limbah adalah padatan yang mengendap (Metcalf and Eddy, 2003).

Berdasarkan data di atas, konsentrasi COD pada limbah 25% dengan bakteri NA R4 A2(2) sebesar 146 mg/L pada waktu 24 jam; 88,75 mg/L pada waktu 72 jam; dan 10 mg/L pada waktu 168 jam sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk parameter COD yaitu sebesar 150 mg/L mengenai baku mutu air limbah industri dan tekstil.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut, bahwa adanya peran bakteri endofit pada penurunan konsentrasi COD hingga dibawah baku mutu didukung oleh penelitian sebelumnya (Shehzadi *et al.*, 2016) mengatakan bahwa bakteri endofit mampu mendegradasi polutan organik pada lingkungan akuatik maupun terestrial. Adanya penurunan COD membuktikan bahwa bakteri pendegradasi mampu menguraikan bahan organik pada limbah. Hal ini dibuktikan bahwa efektivitas penguraian bahan organik dengan penambahan bakteri menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa adanya bakteri. Mikroorganisme dapat mengkonsumsi polutan organik dan mengubah polutan organik tersebut menjadi karbondioksida, air, dan energi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Penambahan bakteri akan merangsang proses penguraian terjadi lebih cepat dibandingkan dengan tidak adanya bakteri. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dapat mendegradasi COD hingga 69%. Terdapat pula perlakuan kontrol yang tidak ditambahkan bakteri menunjukkan angka degradasi yang sangat sedikit (Fidiastuti and Suarsini, 2017). Bakteri pada umumnya dapat berkembang

biak, sehingga dalam kurun waktu yang lama bakteri akan melakukan proses penguraian bahan pencemar yang semakin besar.

Selain itu, kemampuan bakteri endofit dalam mendegradasi COD ditunjukkan oleh penelitian (Ijaz *et al.*, 2015), bakteri endofit ini dipilih berdasarkan kemampuannya dalam mendegradasi COD dalam limbah cair, dimana hasil menunjukkan bahwa bakteri endofit memiliki potensi untuk menghilangkan kontaminan organik dan anorganik dari limbah cair. Bakteri yang diinokulasi menunjukkan persistensi dalam air sehingga mampu menurunkan kadar COD pada limbah cair dan efluen yang diolah memenuhi standar untuk dibuang ke lingkungan tanpa adanya resiko yang ditimbulkan. Hal ini memberikan bukti pengolahan menggunakan bakteri endofit merupakan upaya berkelanjutan dan pendekatan yang baik untuk remediasi limbah cair secara insitu.

Menurut (Wahyu, 2009) COD menggambarkan kandungan bahan organik di perairan. Namun, COD dapat menggambarkan kandungan bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi baik *biodegradable* maupun *nonbiodegradable*. Tingginya nilai COD menggambarkan tingkat pencemaran suatu perairan. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya penambahan bakteri dalam pengolahan air limbah dapat memberikan pengaruh besar pada penurunan nilai COD pada air hasil olahan. Hal itu menunjukkan bahwa telah terjadi pemanfaatan bahan organik oleh bakteri.

Pengolahan limbah tenun menggunakan peran bakteri merupakan pengolahan yang cukup efisien dalam mengurangi kadar COD yang terkandung dalam limbah. Hal ini didukung oleh pernyataan (Effendi, 2003) yang menyebutkan bahwa terjadinya penurunan konsentrasi COD diakibatkan adanya proses oksidasi oleh mikroba yang merombak bahan-bahan organik maupun anorganik dalam sampel air limbah menjadi karbondioksida dan air.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa limbah cair tenun memiliki konsentrasi COD yang sangat tinggi dan setiap reaktor berisi bakteri memiliki kinerja yang berbeda-beda dalam pengolahannya. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada proses isolasi bakteri, bakteri yang dipilih yaitu bakteri yang tumbuh pada media NA. Kultur bakteri yang diinokulasikan pada reaktor adalah kultur bakteri NA R1 yang diisolasi dari akar *Oryza Sativa*, NA R2 yang diisolasi dari akar *Colocasia esculenta*, dan NA R4 yang diisolasi dari akar *Alternanthera philoxeroides*, masing-masing isolat bakteri berasal dari akar tanaman yang tercemar limbah tenun.
2. Pada reaktor, mengalami keadaan yang fluktuatif di beberapa reaktor berisi limbah dengan konsentrasi yang berbeda-beda dan bakteri yang berbeda-beda pula. Untuk efisiensi removal konsentrasi COD terbesar yaitu pada reaktor berisi limbah dengan konsentrasi 25% dikombinasikan dengan bakteri NA R4 A2(2) yang berasal dari akar tanaman *Alternanthera philoxeroides* dengan efisiensi removal sebesar 97,88%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang diberikan yaitu :

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut dalam hal identifikasi bakteri dan kemampuannya dalam meremoval atau mereduksi polutan secara optimal.
2. Diperlukan pengujian jumlah bakteri pada air limbah dalam reaktor untuk mengetahui laju pertumbuhan dan daya tahan hidup bakteri pada setiap kurun waktu yang telah ditetapkan dalam proses pengolahan limbah cair tenun.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Al-Kadasi (2004) 'Metode Penelitian Air Limbah Industri Tenun Songket', Usaha Nasional, Surabaya.

Ayu, D., Hartanti, S. and Pertanian, F. (2020) 'Isolasi Bakteri Endofit Pelarut Fosfat Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa*) var.situbagendit Isolation Phosphate Solvent Endophytic Bacteria From Roots *Oryza sativa* var.situbagendit 1', 13(April), pp. 8–14.

Barber, L. E. and Evans, H. J. (1976) 'Characterization of a nitrogen fixing bacterial strain from the roots of *Digitaria sanguinalis*', *Canadian Journal of Microbiology*. doi: 10.1139/m76-034.

Boyd, C. E. (1990) 'Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn university', *Alabama P462*.

BPS (2017) Kabupaten Jepara dalam Angka 2016. Jepara: Badan Pusat Statistik Kabupaten Jepara.

Cloudsley-Thompson, J. L. (1980) 'Concepts of Applied Ecology, by Robert S. de Santo. (Heidelberg Science Library.) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg—New York: ix + 310 pp., 78 figs and appendix, 23.4 × 15.2 × 1.3 cm, paperbound, DM. 28 or US\$ 14, 1978.', *Environmental Conservation*. doi: 10.1017/s0376892900007335.

Desriani, D. *et al.* (2014) 'Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit dari Tanaman Binahong dan Katepeng China', *Jurnal Kesehatan Andalas*, 3(2), pp. 89–93. Available at: <http://jurnal.fk.unand.ac.id/index.php/jka/article/view/33/28>.

Effendi, H. (2003) 'Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Edisi 5, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.', *Kanisius*.

Erguven, G. O. and Yildirim, N. (2016) 'Efficiency of some soil bacteria for chemical oxygen demand reduction of synthetic chlorsulfuron solutions under agiated culture conditions', *Cellular and Molecular Biology*. doi: 10.14715/cmb/2016.62.6.17.

Fadhilah, J., Fajri, J. A. and Nurmiyanto, A. (2018) 'Pengolahan Air Limbah Pencucian Pt . Kai Yogyakarta Menggunakan Floating Treatment Wetland Kombinasi Dengan Tanaman Performance of Floating Treatment Wetland Using *Brachiaria Mutica* Combined With Bacteria To Treat High Density Oil Waste From Pt . Kai Yogy', pp. 1–12.

Fidiastuti, H. R. and Suarsini, E. (2017) 'Potensi Bakteri Indigen Dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara in Vitro', *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 3(1), p. 1. doi: 10.23917/bioeksperimen.v3i1.3665.

Ginting, P. and Ginting, I. P. (2007) 'Sistem Pengelolaan Lingkungan Dan Limbah Industri', *Yrama Widya, Bandung*. doi: 10.1103/PhysRevB.77.094104.

Hammer, M. J and M.J Hammer, Jr. (2008). 'Water and Wastewater Technology'. *Sixth Edition. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 41.*

Herlambang, A. (2009) 'Teknologi Pengolahan Limbah Tekstil Dengan Sistem Lumpur Aktif', *Direktorat Teknologi Lingkungan. Kedeputan Bidang Teknologi Informasi, Energi dan Material. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.*

Hung, P. Q. and Annapura, K. (2004) 'Isolation and Characterization of Endophytic Bacteria in Soybean (*Glycine Sp .*)', 101, pp. 92–101.

Husin, A. (2008) 'Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Biofiltrasi Anaerob Dalam Reaktor Fixed – Bed Tesis Biofiltrasi Anaerob Dalam Reaktor Fixed – Bed', pp. 1–74.

Ijaz, A. *et al.* (2015) 'Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands', *Ecological Engineering*. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.07.025.

Khan, Z. and Doty, S. L. (2009) 'Characterization of bacterial endophytes of sweet potato plants', *Plant and Soil*. doi: 10.1007/s11104-009-9908-1.

Liu, P. *et al.* (2016) 'Pseudomonas syringae pv. Actinidiae isolated from non-kiwifruit plant species in China', *European Journal of Plant Pathology*, 145(4), pp. 743–754. doi: 10.1007/s10658-016-0863-4.

Lizayana, Mudatsir and Iswadi (2016) 'Densitas Bakteri Pada Limbah Cair Pasar Tradisional', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*.

Long, H. H., Schmidt, D. D. and Baldwin, I. T. (2008) 'Native bacterial endophytes promote host growth in a species-specific manner; phytohormone manipulations do not result in common growth responses', *PLoS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.0002702.

Lumaela, A. K., Otok, B. W. and Sutikno (2013) 'Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai di Surabaya dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression', *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1), pp. 100–105.

Mara, D. and Horan, N. (2003) *Handbook of Water and Wastewater Microbiology, Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. doi: 10.1016/B978-0-12-470100-7.X5000-6.

Martin, M. *et al.* (2016) 'Toksistas Letal Akut Limbah Cair Tenun Troso terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio* L)', *Life Science*, 5(1), pp. 1–8.

Mata, J. A. *et al.* (2002) 'A detailed phenotypic characterisation of the type strains of *Halomonas* species', *Systematic and Applied Microbiology*. doi: 10.1078/0723-2020-00122.

Metcalf, W. and Eddy, C. (2003) 'Metcalf and Eddy Wastewater Engineering: Treatment and Reuse', *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse McGraw Hill*. New York, NY.

Miwada, I., Lindawati, S. and Tatang, W. (2006) 'TINGKAT EFEKTIVITAS "STARTER" BAKTERI ASAM LAKTAT PADA PROSES FERMENTASI LAKTOSA SUSU [The Effectiveness of Lactic Acid Bacteria on Milk Lactose Fermentation Process]', *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*.

Mohan, S. V. *et al.* (2005) 'Acid azo dye degradation by free and immobilized horseradish peroxidase (HRP) catalyzed process', *Chemosphere*. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.09.070.

Nugroho, A. (2010) 'BIODEGRADASI SLUDGE MINYAK BUMI DALAM SKALA MIKROKOSMOS: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment', *MAKARA of Technology Series*, 10(2), pp. 82–89. doi: 10.7454/mst.v10i2.427.

Nur Lestari dan Dewa Ayu Citra Rasmi, L. Z. D. S. D. J. (2016) 'Isolasi Bakteri Endofit Dari Sea Grass Yang Tumbuh Di Kawasan Pantai Pulau Lombok Dan Potensinya Sebagai Sumber Antimikroba Terhadap Bakteri Patogen', *JURNAL BIOLOGI TROPIS*. doi: 10.29303/jbt.v16i2.226.

Pradana, A. P. and Munif, A. (2016) 'Bakteri Endofit Asal Berbagai Akar Tanaman sebagai Agens Pengendali Nematoda Puru Akar *Meloidogyne incognita* pada Tomat', *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 12(3), p. 75. doi: 10.14692/jfi.12.3.75.

Prayudi, T. and Susanto, J. P. (2000) 'Chitosan sebagai bahan koagulan limbah cair industri tekstil', *Teknologi Lingkungan*, 1(Chitosan Sebagai Koagulan Limbah), pp. 121–125.

Priadie, B. (2012) 'TEKNIK BIOREMEDIASI SEBAGAI ALTERNATIF

DALAM UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR', *Jurnal Ilmu Lingkungan*. doi: 10.14710/jil.10.1.38-48.

Putri, A. R., Samudro, G. and Handayani, D. S. (2012) 'Penentuan Rasio BOD / COD optimal pada reaktor Aerob , Fakultatif dan Anaerob', *Penentuan Rasio BOD/COD optimal pada reaktor Aerob*, pp. 1–5.

Rahayu, D. E. and Aulia, S. (2015) 'PENURUNAN WARNA DAN TSS LIMBAH CAIR TENUN SARUNG SAMARINDA MENGGUNAKAN KITOSAN DARI LIMBAH CANGKANG KEPITING', *Jurnal Purifikasi*. doi: 10.12962/j25983806.v15.i1.20.

Reddy, N. S., Nimmagadda, A. and Rao, K. R. S. S. (2003) 'An overview of the microbial α -amylase family', *African Journal of Biotechnology*.

Rodríguez Couto, S. (2009) 'Dye removal by immobilised fungi', *Biotechnology Advances*. doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.12.001.

Sa'adah, N, N. (2018). 'Pengolahan Limbah Cair Tenun Dengan Sistem Constructed Treatment Wetland Menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiver dan Bakteri Endofit'. *Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Lingkungan. Yogyakarta*.

Sastrawidana, I Dewa K (2008) 'Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Lokal Untuk Bioremediasi Limbah Tekstil Menggunakan Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik', *Berita Biologi* 9(2).

Setiarini, D. W. and Mangkoediharjo, S. (2013) 'Penurunan BOD dan COD Pada Air Limbah Katering Menggunakan Konstruksi Subsurface- Flow Wetland dan Biofilter Dengan Tumbuhan Kana (*Canna indica*)', *Sains dan Seni POMITS*.

Shehzadi, M. *et al.* (2016) 'Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant-degradation and plant growth-promotion potentials', *Plant Biosystems*. doi: 10.1080/11263504.2015.1022238.

Strobel, G. and Daisy, B. (2003) 'Bioprospecting for Microbial Endophytes and Their Natural Products', *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. doi: 10.1128/mmbr.67.4.491-502.2003.

Suprihatin, H. (2014) 'KANDUNGAN ORGANIK LIMBAH CAIR INDUSTRI JETIS SIDOARJO DAN ALTERNATIF PENGOLAHANNYA', ©2014 *Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau*.

Supriyatno, B. (2000) 'Pengelolaan Air Limbah yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Volume 1 , pp. 17–26.

Suryani, Y. (2011) 'Bioremediasi Limbah Merkuri dengan Menggunakan Mikroba pada Lingkungan yang Tercemar', *Jurnal Istek*.

Tarumingkeng, R. C., Coto, Z. and Hardjanto (2004) 'BOD DAN COD SEBAGAI PARAMETER PENCEMARAN AIR DAN BAKU MUTU AIR LIMBAH Sigid Hariyadi', *Makalah Individu*, 28(Pps 702), pp. 1–12.

Tchobanoglous, G., Burton, F. and Stensel, D. (1991) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition)*, Metcalf & Eddy, Inc. doi: 10.1016/0191-2615(91)90038-K.

Vidali, M. (2001) 'Bioremediation. An overview', in *Pure and Applied Chemistry*. doi: 10.1351/pac200173071163.

Wicheisa, Fransiska Vony (2018) 'Penurunan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (Cod) pada Limbah Cair *Laundry* Orens Tembalang dengan Berbagai Variasi Dosis Karbon Aktif Tempurung Kelapa' *Jurnal Kesehatan Masyarakat (E-Journal)* Volume 6, Nomor 6, Oktober 2018 (ISSN: 2356-3346).

Wignyanto, Nur Hidayat, dan A. A. (2009) 'BIOREMEDIASI LIMBAH CAIR SENTRA INDUSTRI TEMPE SANAN SERTA PERENCANAAN UNIT PENGOLAHANNYA (KAJIAN PENGATURAN KECEPATAN AERASI DAN WAKTU INKUBASI)', *Jurnal Teknologi Pertanian*.

Wulandari, D. and Purwaningsih, D. (2019) 'Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri Amilolitik pada Umbi *Colocasia esculenta* L. Secara Morfologi, Biokimia, dan Molekuler', *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 6(2), pp. 247–258.



“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian OD Bakteri Endofit

No.	Nama Bakteri	Absorbansi
1	NA R2 A1	1.843
2	NA R4 A1	1.453
3	NA R1 B2	0.5
4	NA R2 C2(1)	1.907
5	NA R2 C2(2)	0.5
6	NA R4 A2(2)	1.235

Lampiran 2 Hasil Pengujian Parameter COD

No	Keterangan	Kode	0	24	72	168
1	Kontrol	Kontrol 1 (25%)	472.00	387.50	206.67	180.94
		Kontrol 2 (50%)	609.75	357.50	348.44	300.00
		Kontrol 3 (75%)	841.33	674.17	613.33	458.75
		Kontrol inti (100%)	1166.72	690.42	911.56	819.17

Konsentrasi 25%					
No	Bakteri	0	24	72	168
1	NA R2 A1	472.00	220.00	222.50	215.00
2	NA R4 A1	472.00	160.00	375.00	217.50
3	NA R1 B2	472.00	218.75	205.00	225.00
4	NA R2 C2 (1)	472.00	246.25	190.00	230.00
5	NA R2 C2(2)	472.00	191.25	171.25	187.50
6	NA R4 A2(2)	472.00	145.00	88.75	10.00

Konsentrasi 50%					
No	Bakteri	0	24	72	168
1	NA R2 A1	609.75	327.50	407.50	272.50
2	NA R4 A1	609.75	212.50	325.00	277.50
3	NA R1 B2	609.75	372.50	327.50	352.50
4	NA R2 C2 (1)	609.75	393.75	352.50	358.75
5	NA R2 C2(2)	609.75	312.50	297.50	255.00
6	NA R4 A2(2)	609.75	336.25	297.50	271.25

Konsentrasi 75%					
No	Bakteri	0	24	72	168
1	NA R2 A1	841.33	690.00	806.25	430.00
2	NA R4 A1	841.33	573.75	1025.00	438.75
3	NA R1 B2	841.33	392.50	660.00	490.00
4	NA R2 C2 (1)	841.33	605.00	462.50	455.00
5	NA R2 C2(2)	841.33	567.50	480.00	420.00
6	NA R4 A2(2)	841.33	615.00	530.00	495.00

Konsentrasi 100%					
No	Bakteri	12	24	72	168
1	NA R2 A1	1166.72	1950.00	761.25	458.75
2	NA R4 A1	1166.72	435.00	732.50	535.00
3	NA R1 B2	1166.72	475.00	612.50	533.75
4	NA R2 C2 (1)	1166.72	668.75	670.00	580.00
5	NA R2 C2(2)	1166.72	610.00	567.50	512.50
6	NA R4 A2(2)	1166.72	567.50	560.00	813.75

Lampiran 3 Efisiensi Removal COD

Bakteri	Konsentrasi			
	25%	50%	75%	100%
Kontrol	19.84%	38.01%	46.45%	46.77%
NA R2 A1	61.26%	60.22%	55.61%	68.83%
NA R4 A1	60.81%	59.49%	54.71%	63.65%
NA R1 B2	59.46%	48.54%	49.42%	63.74%
NA R2 C2 (1)	59.59%	37.79%	45.40%	43.87%
NA R2 C2(2)	63.11%	52.52%	43.40%	47.66%
NA R4 A2(2)	98.03%	49.50%	33.30%	16.89%

Lampiran 4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik

NO	PARAMETER	KADAR MAKS (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)							
			Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas, Pemintalan Penenunan	Perekatan (Sizing) Desizing	Pengikisan, Pemasakan (Klering, Scouring)	Pemucatan (Bleaching)	Merseri sasi	Pencelupan (Dyeing)	Pencetakan (Printing)
1.	Temperatur	38 °C	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	BOD ₅	60	6,00	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
3.	COD	150	15,0	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3,0	0,9
4.	TSS	50	5,00	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1,0	0,3
5.	Fenol total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
6.	Khrom total (Cr)	1,0	0,10	-	-	-	-	-	0,02	0,006
7.	Amoniak total (NH ₃ -N)	8,0	0,80	0,056	0,08	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
8.	Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,0054	0,005	0,006	0,002
9.	Minyak dan lemak	3,0	0,30	0,021	0,03	0,07	0,054	0,045	0,06	0,018
10.	pH	6,0 - 9,0								
11.	Debit Maksimum (m ³ /ton produk tekstil)	100	7	10	24	18	15	20	6	

Catatan :

- Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram parameter per liter air limbah.
- Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam kilogram parameter per ton produk tekstil
- Air limbah blow down boiler, regenerasi ion exchange dan lain-lain apabila terpisah harus memenuhi Baku Mutu Air Limbah Golongan. Apabila jadi satu harus memenuhi Baku Mutu Air Limbah Industri tekstil.

Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian

SAMPLING

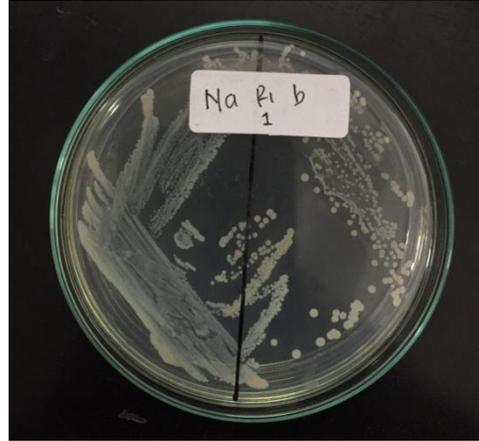


SAMPEL AIR LIMBAH



KULTURISASI BAKTERI





PENGUJIAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD)





“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



- Nama Lengkap : Afafun Nafisah
Tempat dan Tanggal Lahir : Duri, 28 Januari 1998
Status Anak : Putri ke-3 dari 4 bersaudara
Nama Bapak : Wahyudi Eko
Nama Ibu : Endang Widiastuti
Pendidikan Penulis : - SDS Cendana Mandau (2004-2010)
- SMPS Cendana Mandau (2010-2013)
- SMAS Cendana Mandau (2013-2016)
- Universitas Islam Indonesia (2016-sekarang)
- Kegiatan diluar akademik :
- Kepala Department Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP UII Periode 2018/2019
 - Advokasi Politik Kemahasiswaan Lembaga Eksekutif Mahasiswa Periode 2017/2018
 - Dalam Negeri Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia Periode 2016/2017