

TUGAS AKHIR
EFEKTIVITAS BAKTERI *INDIGENOUS* DALAM
MEREDUKSI ZAT WARNA PADA LIMBAH TENUN

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

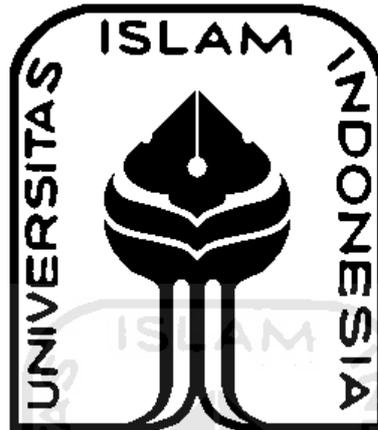


PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS BAKTERI *INDIGENOUS* DALAM MEREDUKSI ZAT WARNA PADA LIMBAH TENUN

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



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

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

NIK. 165131306

Tanggal: 10-11-2020

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

NIK. 185130401

Tanggal: 13-10-2020

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



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

NIK. 025100406

Tanggal: 11 November 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIFITAS BAKTERI *INDIGENOUS* DALAM
MEREDUKSI ZAT WARNA PADA LIMBAH TENUN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 12 November 2020



Tim Penguji :

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

()

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

()

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

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. 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, 15 September 2020

Yang membuat pernyataan,



Itsna Maulidya
NIM: 16513023

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Januari-Februari 2020 ini dengan judul: **Efektivitas Bakteri *Indigenous* dalam Mereduksi Zat Warna pada Limbah Tenun**. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi tugas akhir penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kekuatan dan energi sehingga dapat menjalani dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini,
2. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku pembimbing 1, serta Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberi saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian berlangsung dan penulisan tugas akhir ini,
3. Ayah, Ibu dan Kakak tercinta Abdul Kholiq, Maemunah, dan Retnowati serta seluruh keluarga yang senantiasa tak pernah lelah memberikan segala doa, motivasi dan kasih sayangnya.
4. Teman kelompok tugas akhir (Zakia, Ismail, Shonia, Roi, Akbar, Afaf, dan Irfan) yang telah berjuang bersama dan saling menyemangati untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Sahabat tersayang (Unzilla, Firda, Devita, Intan, Sinta, Sandi, dan Yulia) yang selalu membantu, menemani, dan memberikan semangat serta doa.
6. Sahabat kecil (Luluk, Via, Okta, Lilis, Faula dan Rima) yang telah menyemangati dan terus mendukung saya dalam proses penyelesaian tugas akhir.
7. Sahabat jauh saya (Evelyne, Eka, Sadira, dan Kintan) yang senantiasa menyemangati dan menemani saya dalam proses pengerjaan tugas akhir walaupun dari jauh.
8. Sahabat kuliah (Gandhes, Husna, Adin, Maya, Husna, dan Mei) yang telah saling menyemangati untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. *Staff* laboratorium teknik lingkungan yang telah membantu proses penelitian tugas akhir saya dan pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan namanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 15 september 2020

Itsna Maulidya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRAK

ITSNA MAULIDYA Efektivitas Bakteri *Indigenous* dalam Mereduksi Zat Warna pada Limbah Tenun. Dibimbing oleh Dr. JONI FAJRI ALDILLA, S.T., M.Eng. dan DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Produksi tenun ikat Troso di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara yang tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah yang memadai menyebabkan pencemaran lingkungan yang kian parah setiap waktunya. Indikator pencemaran dapat dilihat dari berubahnya warna beberapa badan air yang digunakan sebagai tempat pembuangan limbah. Perubahan warna disebabkan oleh penggunaan pewarna sintesis, terutama zat warna azo yang umumnya digunakan pada proses pewarnaan kain industri tekstil. Pewarna azo sering digunakan karena dinilai lebih efisien dibandingkan dengan pewarna alami. Di lain sisi, pewarna azo merupakan salah satu jenis zat warna yang sulit diuraikan secara alami di lingkungan sehingga memiliki potensi pencemaran yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun Troso. Terdapat enam isolat bakteri *indigenous* yang dengan morfologi berbeda-beda yang digunakan dalam penelitian ini. Keenam isolat bakteri *indigenous* NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1 NAT2B2, dan NAT2C2 yang berasal dari tanah terkontaminasi limbah tenun Troso itu sendiri memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam mereduksi zat warna baik pada konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, maupun 100%. Persentase dekolorisasi tertinggi terjadi pada konsentrasi limbah 75% oleh isolat bakteri *indigenous* NAT2C2. Persentase dekolorisasi yang dicapai dengan masa pengujian 7 hari adalah 53,71%.

Kata kunci : Bakteri *Indigenous*, Limbah Tenun, Reduksi Zat Warna

ABSTRACT

ITSNA MAULIDYA. *The Effectivity of Indigenous Bacteria for Reducing Color Materials in Weaving Wastewater. Supervided by Dr. JONI FAJRI ALDILLA, S.T., M.Eng. dan DEWI WULANDARI, S.Hut., M.Agr., Ph.D.*

The production of Troso weaving in Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Jepara which is not balanced with adequate threatment make environmental pollution that increased continously. The indicator pollution can be seen from discoloration of several water bodies that are used for weaving wastewater's disposal sites. Discoloration is caused by the used of synthetic dyes, especially azo dye which is commonly used in textile coloring process. Azo dye often used because It's more efficient than natural dye. On the other hand, azo dye is a kind of dye that is difficults to be degraded naturally in the environment so it has a high pollution petential. The aim of this research is to learn the potention of indigenous bacteria for reducing color materials on Troso's weaving wastewater. The bacterial isolates was isolated from soil that has been contaminated by Troso's weaving wastewater

itself. There are six indigenous bacteria isolates with different morphology that used in this study. The six indigenous bacteria isolates NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, and NAT2C2 were isolated from soil that has been contaminated by Troso's weaving wastewater have different abilities to reducing color on 25%, 50%, 75%, and 100% wastewater consentration. The highest decolorization percentage occurs at 75% wastewater consentration by NAT2C2 indigenous bacteria isolate. Decolorization percentage that has been achieved in 7 days testing is 53,71%.

Keywords : Color Materials, Indigenous Bacteria, Weaving wastewater



DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
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 Isolasi Bakteri	6
2.3 Bakteri <i>Indigenous</i>	7
2.4 Bioremediasi	8
2.5 Dekolorisasi	9
2.6 Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	11
3.2 Sampling	12
3.3 Identifikasi Bakteri	12
3.4 Pembuatan Media	13
3.5 Kulturasasi Bakteri	13
3.4 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium	15
3.5 <i>Running</i> Reaktor	16
3.6 Pengolahan dan Analisis Data	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Karakterisasi Isolat Bakteri <i>Indigenous</i>	19
4.2 Reduksi Zat Warna pada Limbah Tenun oleh Bakteri <i>Indigenous</i>	26
4.2.1 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 25%	26

4.2.2 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 50%	29
4.2.3 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 75%	30
4.2.4 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 100%	32
4.2.5 Pengaruh Bakteri <i>Indigenous</i> terhadap Kenaikan Konsentrasi Warna	33
4.3 Persentase Dekolorisasi Bakteri <i>Indigenous</i> pada Limbah Tenun	34
4.3.1 Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 25%	34
4.3.2 Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 50%	35
4.3.3 Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 75%	36
4.3.4 Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 100%	37
4.4 Pengaruh Variasi Beban Limbah Terhadap Kinerja Bakteri	37
4.5 <i>Performance</i> Dekolorisasi Tertinggi oleh Isolat Bakteri <i>Indigenous</i>	40
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	59



DAFTAR TABEL

1	Penelitian Terdahulu	9
2	Jadwal Pengujian Parameter	16
3	Baku Mutu pada Air Limbah Industri Tekstil	17
4	Kode Kultur Bakteri <i>Indigenous</i>	19
5	Morfologi Koloni Bakteri <i>Indigenous</i>	20
6	Karakteristik Koloni Bakteri <i>Indigenous</i>	23
7	Persentase dekolorisasi oleh Isolat Bakteri <i>Indigenous</i>	38
8	Perbandingan Hasil Persentase Dekolorisasi	40



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR GAMBAR

1	Struktur Kimia Naftol (Pamurni, 1996)	6
2	Struktur Kimia Naftol AS (Pamurni, 1996)	6
3	Alur Pengerjaan Penelitian	11
4	Sampel Air Limbah	12
5	Tahapan Kulturasasi Bakteri	14
6	Reaktor Skala Laboratorium	16
7	Tahapan Pengujian Warna	17
8	Koloni Bakteri Belum <i>Single Colony</i>	23
9	<i>Nutrient Broth</i> berisi Isolat Bakteri	24
10	Proses <i>Waterbath</i>	24
11	Kurva Fase Pertumbuhan Bakteri	25
12	Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 25%	26
13	Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 50%	29
14	Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 75%	30
15	Grafik Reduksi Warna pada Konsentrasi Limbah 100%	32
16	Diagram Persentase dekolorisasi Konsentrasi Limbah 25%	34
17	Diagram Persentase dekolorisasi Konsentrasi Limbah 50%	35
18	Diagram Persentase dekolorisasi Konsentrasi Limbah 75%	36
19	Diagram Persentase dekolorisasi Konsentrasi Limbah 100%	37



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR LAMPIRAN

1	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Warna	49
2	Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 25%	50
3	Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 50%	51
4	Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 75%	52
5	Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 100%	53
6	Hasil Perhitungan Konsentrasi Warna Sampel Kontrol	54
7	Dokumentasi Sampling	55
8	Gambar Pengecekan Sifat Gram Bakteri	57



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenun ikat Troso menjadi salah satu produk ciri khas daerah Jepara yang terkenal akan keunggulan kreasi motif tenunnya. Tenun ikat Troso termasuk ke dalam warisan budaya yang dimiliki oleh warga Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara sejak tahun 1935 dan berkembang hingga saat ini (Asrori *et al*, 2016). Perkembangan ini membawa dampak positif dalam hal peningkatan permintaan tenun ikat Troso. Sampai saat ini kancah pasar tenun ikat Troso tidak hanya di tingkat lokal, melainkan sampai ke beberapa pasar negara besar seperti Kanada, Inggris, Belanda, Jepang, dan Amerika (Alamsyah *et al*, 2014).

Peningkatan permintaan tenun yang terjadi berbanding lurus dengan aktivitas produksi yang mengakibatkan bertambahnya kuantitas limbah tenun yang dihasilkan. Hal ini menimbulkan permasalahan baru berkaitan dengan lingkungan hidup, mengingat upaya Pemerintah Kabupaten Jepara dalam rangka melakukan pengendalian dengan cara membuat percontohan Instalasi Pengolahan Air Limbah khusus untuk industri tenun Troso belum beroperasi sebagaimana yang telah diharapkan (Wasiyanto, 2004). Sampai saat ini para pengrajin masih memilih cara praktis dengan membuang limbah produksi langsung ke saluran umum atau badan air yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu indikator utama terjadinya pencemaran dapat dilihat dari berubahnya warna air sungai sesuai dengan penggunaan zat warna pada proses pewarnaan tenun.

Pewarna sintetik sudah lama digunakan untuk pewarnaan kain pada industri tekstil termasuk di dalamnya industri tenun. Hal ini dikarenakan pewarna sintetik dianggap lebih efisien dalam segi biaya maupun waktu dibandingkan dengan pemakai pewarna alami. Namun di lain sisi, tingginya penggunaan pewarna sintetik terutama zat warna azo yang biasa digunakan oleh industri tekstil akan mempengaruhi jumlah bahan pencemar dalam limbah cair hasil produksi. Pencemaran oleh zat warna azo tidak hanya berdampak pada berkurangnya nilai estetika dan terganggunya kehidupan biota air pada suatu perairan saja. Limbah dengan kandungan zat warna azo juga dapat berdampak pada kesehatan karena mengandung senyawa rekalsitran yang bersifat karsinogenik dan mutagenik, yang dapat menjadi salah satu sumber penyakit (Deby, 2018). Berkaitan dengan upaya pencegahan dampak yang mungkin terjadi, maka diperlukan inovasi baru dalam hal pengolahan limbah tenun ikat Troso terutama untuk parameter warna.

Salah satu metode pengolahan limbah yang sekarang banyak digunakan adalah bioremediasi, yaitu penggunaan sistem biologi untuk mengurangi polusi udara, air, atau sistem terestrial. Prospek yang dihasilkan dari penggunaan mikroorganisme dalam proses remediasi lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya. Hal ini dikarenakan molekul polutan dalam limbah dapat dipecah oleh mikroorganisme pada proses metabolisme yang dilakukannya. Hasil pemecahan ini nantinya dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk menunjang pertumbuhan tanpa menghasilkan *secondary pullution* (Marimuthu *et al*, 2013). Bakteri *indigenous* merupakan salah satu bakteri

pengurai yang sering dimanfaatkan untuk bioremediasi limbah karena efektivitasnya dalam mereduksi parameter pencemar sudah terbukti dalam beberapa penelitian.

Sejauh ini telah dilakukan beberapa penelitian mengenai potensi bakteri *indigenous* yang diisolasi dari berbagai sumber untuk mereduksi zat warna pada beberapa jenis limbah. Beberapa jenis limbah tersebut diantaranya adalah limbah cair industri batik tulis (Ratna *et al*, 2010), limbah cair industri tekstil (Buthelezi *et al*, 2012) sampai dengan limbah cair pabrik kulit (Hasminar *et al*, 2017). Salah satu hasil penelitian mengenai efektivitas bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna pada limbah tekstil menunjukkan aktivitas dekolorisasi tertinggi mencapai 97,04% (Buthelezi *et al*, 2012).

Pengujian potensi bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna perlu dilakukan karena enzim lignolitik yang dihasilkannya terbukti memiliki kemampuan untuk merombak ikatan rantai panjang penyusun zat warna sintetik melalui reaksi reduksi-oksidasi. Hal ini dapat terjadi karena kemiripan sebagian struktur kimia lignin dengan struktur zat warna sintetik sehingga struktur tersebut dapat cocok dengan sisi aktif lignolitik yang dihasilkan oleh bakteri *indigenous* (Siswanto *et al*, 2007). Selain memiliki kemampuan dalam mereduksi zat warna, ketersediaan bakteri *indigenous* di tanah subur Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal untuk kepentingan studi penelitian. Padahal biodiversitas bakteri *indigenous* di tanah Indonesia menjadi salah satu bukti bahwa jumlah isolat bakteri *indigenous* yang berhasil diisolasi dari berbagai jenis limbah dari tanah Indonesia tidak sedikit jumlahnya (Octavia, 2010). Biodiversitas bakteri *indigenous* ini dapat dilihat dari penelitian sebelumnya yang telah berhasil mengisolasi bakteri *indigenous* dari limbah tekstil di daerah Salatiga (Intan, 2018). Kemudian diperkuat dengan hasil penelitian Hasminar *et al* (2017) yang turut mengisolasi dan menguji potensi beberapa spesies bakteri *indigenous* seperti *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas pseudomallei*, dan *Actinobacillus sp* dari dan oleh limbah cair pabrik kulit. Oleh karena itu aktivitas bioremediasi dengan pemanfaatan bakteri *indigenous* memiliki potensi besar untuk dikembangkan guna pengolahan limbah. Dengan demikian, penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa potensi bakteri *indigenous* dilihat dari efektivitasnya dalam mereduksi zat warna pada limbah cair tenun Troso.

1.2 Perumusan Masalah

Perkembangan industri tenun ikat Troso menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan hidup akibat penanganan limbah cair yang belum memadai. Zat warna sintetik yang digunakan dalam proses produksi tenun, terutama dalam proses pewarnaan mengakibatkan badan sungai di kawasan Troso berubah warna dan tidak dapat lagi dimanfaatkan warga sekitar sebagai mana mestinya. Produksi limbah cair dalam jumlah besar harus diimbangi dengan pengolahan limbah yang optimal sehingga dapat efektif mereduksi parameter pencemar. Berdasarkan pernyataan dan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah yang didapatkan adalah mengenai “Bagaimana efektivitas bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun Troso?”

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa potensi bakteri *indigenou*s dilihat dari efektivitasnya dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun Troso.

1.4 Manfaat Penelitian

Terdapat dua jenis manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini, kedua manfaat tersebut adalah :

1. Manfaat Khusus

Bagi peneliti, hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk menambah pengetahuan baru mengenai pengolahan limbah tekstil dengan bakteri *indigenou*s dan dapat digunakan sebagai acuan untuk penanganan permasalahan yang timbul di dunia nyata berkaitan dengan pencemaran limbah tekstil terutama limbah tenun.

2. Manfaat Umum

Bagi masyarakat dan pemerintah setempat, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan alternatif pengolahan limbah cair tenun Troso yang sederhana dan ekonomis sehingga pencemaran lingkungan dapat dikendalikan.

1.5 Asumsi Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah dan tujuan dari penelitian yang dilakukan, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah bakteri *indigenou*s mempunyai keterkaitan dan peran tersendiri dalam proses reduksi zat warna yang ada pada limbah tenun Troso.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang menjadi acuan dalam penelitian ini adalah :

1. Kulturasasi bakteri *indigenou*s yang telah diisolasi dari tanah terkontaminasi limbah tenun Troso.
2. Pengolahan limbah tenun Troso menggunakan reaktor skala laboratorium.
3. Pengujian parameter sampling warna pada limbah tenun Troso.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



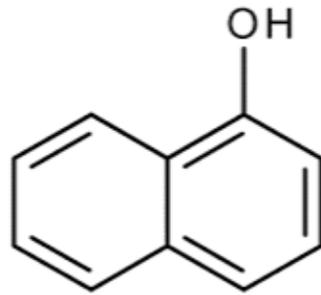
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Tenun

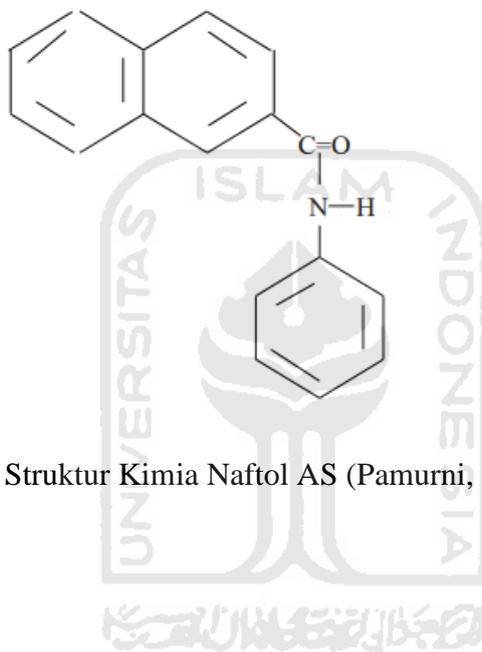
Karakteristik limbah tenun hasil proses pewarnaan diantaranya adalah memiliki pH tinggi di atas 9, memiliki warna yang pekat dan memiliki kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang cukup tinggi. Kandungan pH yang tinggi dipicu dari penggunaan alkali dalam proses pencelupan kain tenun. Kemudian warna limbah yang pekat disebabkan karena banyaknya sisa zat warna yang tidak berdiskasi dengan baik pada serat kain. Sedangkan sisa-sisa bahan pewarna termasuk di dalamnya zat pembasah dan zat pembantulah yang menyebabkan kandungan COD dalam limbah cukup tinggi, karena sisa-sisa bahan tersebut termasuk ke dalam jenis zat warna organik (Hidayat *et al*, 2014).

Limbah industri tekstil yang terbagi menjadi limbah cair dan padat mengandung 10 -15% zat warna. Zat warna yang terlepas ke lingkungan secara bebas tanpa proses pengolahan sering kali mengakibatkan pencemaran lingkungan (Aksu *et al*, 2003). Pewarna terbentuk dari sejumlah zat organik dengan sifat tidak jenuh yang saling tergabung. Pada umumnya terdapat dua gugus utama dalam gabungan zat organik tak jenuh, yaitu kromofor dan ausokrom. Kedua gugus ini memiliki peranan masing-masing, kromofor yang berfungsi sebagai pembawa warna akan menerima elektron sedangkan ausokrom yang bertugas mengikat warna akan memberikan elektron yang dapat mengatur kelarutan warna sehingga warna yang terbentuk akan tetap dan stabil. Gugus kromofor terdiri dari beberapa gugus, diantaranya adalah gugus karbonil ($-C=O$), gugus azo ($-N=N-$), gugus etilen ($C=C-$), dan gugus nitro ($-NO_2$). Sedangkan auksokrom terbentuk dari beberapa gugus penting yang diantaranya adalah $-NH_2$, $-COOH$, $-SO_3H$ dan $-OH$ (Rahmacandran *et al*, 2010). Beberapa kelompok pewarna dengan karakter dan struktur kimia yang kompleks dan stabil, akan memberikan warna yang tahan lama pada bahan baku yang digunakan, yang kemungkinan bersifat sukar terdegradasi (Gurulakshmi *et al*, 2008).

Zat warna naftol atau azoic menjadi satu dari beberapa jenis pewarna sintetis yang banyak dimanfaatkan untuk proses pewarnaan tenun ikat. Pewarna naftol terbentuk dari komponen penggandeng (*coupler*) di dalam serat kain, yaitu campuran naftol dan garam diazonium yang terdiri dari senyawa amina aromatik. Naftol merupakan zat warna yang masuk ke dalam golongan azo, dimana zat warna ini sukar atau bahkan tidak dapat larut dalam air, oleh karena itu zat warna naftol mempunyai gugusan azo (azoic color) (Yulita, 2016). Struktur kimia naftol dan naftol AS dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Struktur Kimia Naftol (Pamurni, 1996)



Gambar 2 Struktur Kimia Naftol AS (Pamurni, 1996)

2.2 Isolasi Bakteri

Berbagai jenis bakteri yang diinginkan dapat diperoleh melalui proses isolasi bakteri. Proses ini dilakukan untuk memisahkan mikroorganisme yang dibutuhkan untuk kegiatan pengujian dari mikroorganisme lain yang tidak dibutuhkan menggunakan bantuan media selektif, sampai diperoleh biakan atau kultur murni. Tahapan isolasi bakteri dimulai dari pengambilan bakteri lingkungan awalnya, dilanjutkan dengan proses penumbuhan bakteri dalam media buatan sampai dengan didapatkan kultur murni yang diinginkan. Dari beberapa populasi yang kemungkinan diperoleh, isolat bakteri dapat dipisahkan satu persatu sehingga dapat diketahui sifat, morfologi, bahkan kemampuan bakteri untuk masing-masing isolat. Prosedur aseptik harus diterapkan dalam proses pemindahan bakteri dari satu tempat ke tempat lain agar terhindar dari terjadinya kontaminasi. Aseptik yang dimaksud adalah bebas dari kontaminan berupa mikroorganisme lain yang tidak diketahui jenis maupun asalnya (Singleton *et al*, 2006).

Terdapat tiga macam teknik kultur yang dapat digunakan untuk membiakkan isolate murni, yaitu :

a. Teknik penuangan (*pour plate*)

Teknik penuangan dalam proses isolasi bakteri bertujuan untuk

memperkirakan jumlah bakteri yang berhasil hidup dalam suatu cairan. Perhitungan jumlah bakteri dalam teknik penuangan ini menghasilkan data dalam satuan koloni (Irianto, 2012)

b. 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. Hal ini bertujuan agar koloni tunggal yang terbentuk tidak tumbuh bersamaan dengan isolat lainnya (Irianto, 2012)

c. Teknik Penyebaran (*spread plate*)

Teknik ini hampir sama dengan teknik tuang. Yang membedakan keduanya adalah teknik penuangan media yang digunakan. Pada teknik ini, proses isolasi bakteri dimulai dari pengenceran sampel, kemudian dilanjutkan dengan proses penuangan media ke dalam cawan petri. Setelah proses penuangan, media perlu didiamkan beberapa saat hingga memadat sebelum proses penuangan sampel bakteri dilakukan (Waluyo, 2007).

2.3 Bakteri *Indigenus*

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 ekstraseluler, yang mana enzim ini memiliki kemampuan untuk merombak senyawa aromatik, polimer sintetik, dan zat warna melalui reaksi reduksi - 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).

Salah satu bakteri yang banyak dimanfaatkan untuk proses bioremediasi adalah bakteri *indigenus*. Bakteri *indigenus* dikenal sebagai bakteri yang diisolasi dari habitat asalnya, sehingga bakteri *indigenus* akan cenderung tumbuh dan berkembangbiak lebih baik jika ditumbuhkan pada lingkungan asalnya. Hal ini dikarenakan bakteri *indigenus* tidak perlu menyesuaikan diri lagi untuk dapat bertahan hidup (Arief *et al*, 2010). Secara alamiah untuk memperoleh bakteri *indigenus* dapat dilakukan dengan mengisolasi bakteri dari limbah yang merupakan habitat aslinya, untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan kultur secara murni secara *in vitro*. Konsorsia bakteri *indigenus* yang telah berhasil diisolasi dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air limbah dengan syarat bakteri terkait memiliki potensi yang mencukupi. Proses yang paling penting dari proses pengolahan limbah dengan bakteri adalah perubahan bertahap substrat yang umumnya berupa bahan organik dari susunan molekul kompleks menjadi molekul dengan susunan yang lebih sederhana. Perubahan susunan ini dapat terjadi karena adanya reaksi enzimatik yang dilakukan oleh bakteri *indigenus* itu sendiri. Telah banyak hasil memuaskan yang dihasilkan oleh bakteri dalam proses

pengolahan air limbah. Hal ini tidak lain dikarenakan salah satu sumber nutrisi yang dibutuhkan mikroba untuk bertahan hidup adalah senyawa organik yang terkandung dalam limbah. Penguraian senyawa dari susunan kompleks ke sederhana dan stabil akan mengakibatkan penurunan kadar zat pencemar dalam air limbah (Agus, 2011).

Biodegradasi oleh bakteri *indigenous* 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 sumbuat 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).

2.4 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan upaya pemanfaatan makhluk hidup untuk merombak substansi atau bahan berbahaya bagi lingkungan menjadi komponen yang aman untuk lingkungan. Salah satu alternatif yang banyak dilakukan untuk mencegah kerusakan lingkungan dari limbah cair adalah dengan menggunakan bakteri yang berpotensi untuk merombak polutan. Limbah akan diurai bakteri sampai volumenya lebih sedikit melalui reaksi enzimatik. Pada umumnya bakteri mampu menurunkan kadar bahan organik di dalam limbah dengan pH tinggi (Wigyanto *et al*, 2009).

Bioremediasi terbagi menjadi proses degradasi secara aerobik dan anaerobik oleh mikroorganisme. Degradasi anaerobik pada pengolahan limbah yang mengandung zat warna tekstil akan berupa pemotongan reduktif ikatan zat warna itu sendiri, degradasi aerobik merupakan pengolahan lanjutan yang mana produk yang didegradasi merupakan hasil dari proses pertama sampai dengan menghasilkan produk akhir yang aman untuk dilepas ke lingkungan (Ratna *et al*, 2012).

Suhu, pH, kandungan air, nutrisi, karakteristik tanah, akseptor elektron, populasi mikroba yang mampu mendegradasi polutan, dan ketersediaan populasi mikroba (*bioavailability*) merupakan beberapa faktor yang mempunyai pengaruh penting dalam proses bioremediasi. Secara umum, bioremediasi terbagi menjadi dua teknik, yaitu bioremediasi *in situ* dan *ex situ*. Bioremediasi *in situ* merupakan teknik bioremediasi yang dilakukan langsung pada wilayah kontaminasi dengan faktor penghambat yang minimal. Beberapa teknologi bioremediasi *in situ* antara lain *bioventing*, *biosparging*, dan *bioaugmentation*. Sedangkan bioremediasi *ex situ* adalah pelaksanaan bioremediasi di tempat yang lain seperti di laboratorium *land farming* dan bioreaktor (Yani *et al*, 2003).

2.5 Dekolorisasi

Proses dekolorisasi limbah pewarna industri dapat dilakukan antara lain melalui beberapa metode seperti fisika dan kimia. Contoh metode dekolorisasi secara fisik adalah ultrasonifikasi, sedangkan dekolorisasi secara kimia dapat dilakukan dengan koagulasi menggunakan ferrosulfat. Kedua metode ini memiliki efektivitas yang cukup baik, tetapi dalam aplikasinya mempunyai kendala yakni membutuhkan biaya tinggi dan menyebabkan *secondary pollution*. *Secondary pollution* adalah pencemaran susulan yang muncul dari proses pengolahan limbah sebelumnya, sehingga terjadi akumulasi di lingkungan (Awaluddin *et al*, 2001).

Melihat kelemahan yang dimiliki proses pengolahan limbah secara fisika dan kimia tersebut, diperlukan metode yang lebih efektif dan ramah lingkungan, yaitu pengolahan secara biologi melalui proses biodegradasi, yang biasa disebut dengan bioremediasi (Sandhya, 2010). Metode biologi mempunyai tiga mekanisme yang dapat dilakukan pada tahap dekolorisasi yaitu biodegradasi, bioakumulasi dan biosorpsi. Ketiga metode tersebut telah terbukti mempunyai potensi dalam menghilangkan kandungan warna pada limbah tekstil (Padmesh *et al*, 2005)

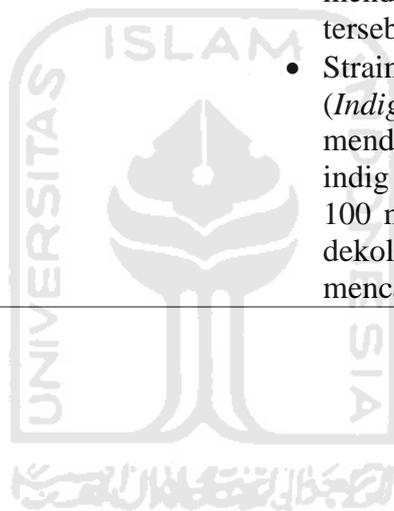
2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu berkaitan dengan reduksi zat warna pada limbah tekstil menggunakan bakteri *indigenus* :

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Hipotesa
1.	<i>Textile dye removal from wastewater effluents using bioflocculant produced by indigenous bacteria isolates</i>	^a Buthelezi S.P. ^b Olaniran A.O. ^c Pillay B	2012	<ul style="list-style-type: none">• Bioflokulan dari bakteri <i>indigenus</i> sangat efektif untuk mereduksi berbagai zat warna yang diuji dalam penelitian ini. Efisiensi tertinggi yang diperoleh mencapai 97,04%.• Efisiensi dekolorisasi sebagian besar dipengaruhi oleh jenis pewarna, pH, suhu, dan konsentrasi flokulan.
2.	<i>Exploring decolorization and halotolerance characteristics by indigenous acclimatized bacteria : chemical structure of azo dyes and dose-</i>	^a Chen B.Y. ^b Hsueh C.C. ^c Chen W.M.	2011	<ul style="list-style-type: none">• Efektifitas dekolorisasi bakteri <i>indigenus</i> sangat dipengaruhi oleh struktur kimia pewarna azo.• Presentase removal untuk setiap isolat bakteri berbeda-beda, dengan rata-rata mencapai >50%.

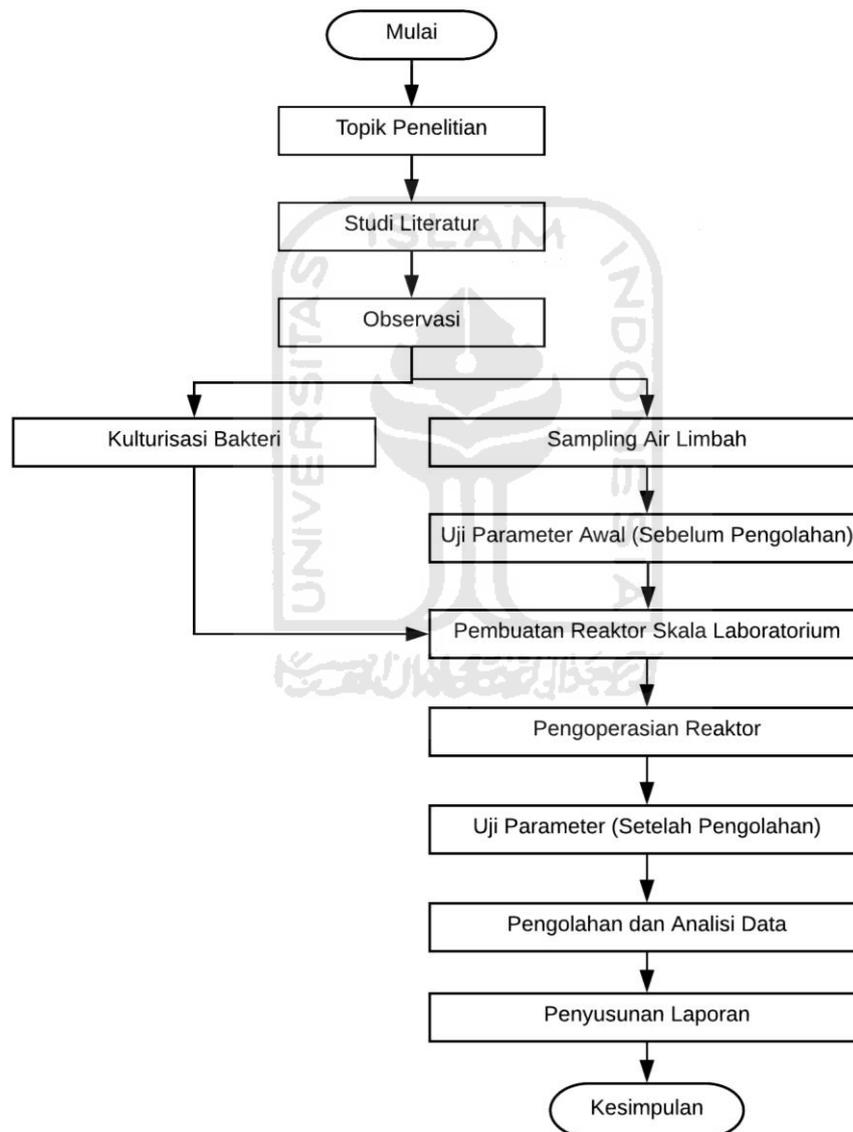
	<i>response assessment.</i>			<ul style="list-style-type: none"> • Ketika elektrofitas ikatan azo meningkat dan/atau hambatan <i>steric</i> (rata-rata tingkat masa permukaan air laut menurut pasang surut) dalam ikatan pewarna azo kurang signifikan, maka efektifitas dekolorisasi pewarna azo lebih baik.
3.	Dekolorisasi pewarna indigosol oleh bakteri tanah	^a M. Agil ^b Endang S	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Pewarna indigosol yang digunakan untuk proses pewarnaan di industri tekstil bersifat rekalsitran dan hanya beberapa jenis bakteri yang mampu mendekolorisasi senyawa tersebut. • Strain bakteri tanah (<i>Indigenous</i>) mampu mendekolorisasi pewarna indig osol pada konsentrasi 100 mg/l dengan aktivitas dekolorisasi tertinggi mencapai 88,39%.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan yaitu Laboratorium Bioteknologi dan Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian dimulai pada bulan November 2019 hingga Februari 2020. Alur pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Alur Pengerjaan Penelitian

3.2 Sampling

Limbah cair tenun Troso diambil dari tempat pewarnaan industri rumahan tenun yang berada di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara. Limbah cair yang disampling merupakan limbah hasil proses pewarnaan dan pencucian kain tenun. Adapun karakteristik sampel limbah tenun Troso sebelum pengolahan adalah konsentrasi zat warna sebesar 277,14 Pt-Co, COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 1008 mg/l, suhu 27,6°C, pH 10, DHL (Daya Hantar Listrik) 10,1 mS/cm dan TDS (*Total Dissolved Solids*) 6473 mg/L. Sampel air limbah diambil menggunakan jirigen dengan kapasitas 20 L yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Sampel Air Limbah
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

3.3 Identifikasi Bakteri

Isolat bakteri *indigenous* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari konsorsium bakteri *indigenous* hasil ekstraksi dan isolasi bakteri dari tanah kontaminan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Sa'adah (2020). Pada penelitian tersebut, sejumlah isolat bakteri *indigenous* berhasil tumbuh pada media berupa *nutrient agar*. Bakteri yang telah berhasil tumbuh, perlu diidentifikasi untuk mengetahui morfologi masing-masing isolat bakteri. Metode identifikasi bakteri yang digunakan mengacu pada panduan morfologi bakteri oleh Jackie Reynold (2010). Morfologi bakteri yang perlu diidentifikasi diantaranya adalah *shape*, *chromogenesis*, *elevation*, *surface*, *opacity*, dan *consistency*. Selain morfologi bakteri, pengetesan cat gram bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat gram bakteri apakah negatif atau positif. Berikut tahapan pengetesan gram bakteri pada gambar 5.



Gambar 5 Tahapan Uji Cat Gram Bakteri

3.4 Pembuatan Media

Media yang diperlukan untuk proses persiapan bakteri terdiri dari *Nutrient Agar* (NA) dan media *Nutrient Broth* (NB). Kedua media dibuat dengan campuran agar sebanyak 2% dari aquadest steril yang digunakan. Media NA dituangkan ke dalam cawan dan *testube* steril sebanyak 10-15 ml untuk keperluan isolasi dan kultur bakteri pada agar miring. Sedangkan untuk media NB diperlukan sebanyak 15 ml media dalam *test tube* 50 ml untuk proses inokulasi bakteri.

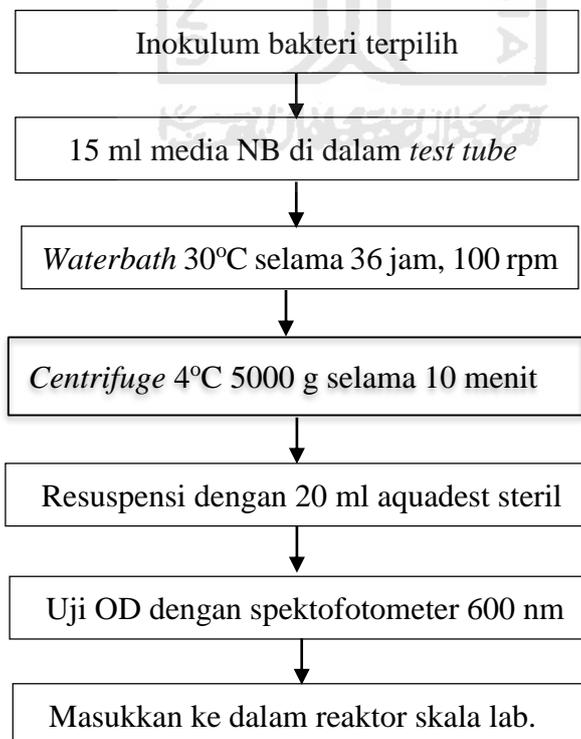
3.5 Kulturasasi Bakteri

Bakteri yang telah diidentifikasi kemudian dipindahkan satu persatu ke dalam media NA (*Nutrient Agar*) baru pada cawan petri steril. Penggunaan NA dikarenakan NA merupakan salah satu media selektif yang sering digunakan untuk

menumbuhkan dan mengembangbiakkan bakteri. NA merupakan media biakan yang dibuat dari ekstrak *beef*, pepton, dan agar dengan kandungan karbohidrat di dalamnya. Karbohidrat sangat dibutuhkan oleh bakteri karena karbohidrat merupakan substrat utama untuk metabolisme bakteri. Salah satu jenis substrat yang berperan penting dalam pertumbuhan bakteri adalah unsur karbon, sedangkan unsur karbon dapat ditemukan dalam senyawa karbohidrat (Radji, 2011). Proses pemindahan ini merupakan proses purifikasi yang bertujuan memisahkan bakteri berdasarkan morfologinya masing-masing sampai dengan diperoleh *single* koloni. *Single* koloni nantinya dapat dipergunakan untuk keperluan perbanyakan bakteri. Pemindahan bakteri dilakukan secara steril menggunakan metode *streak* atau metode gores dengan alat bantu jarum ose. Proses *streak* selesai, bakal bakteri dalam cawan petri berisi media NA perlu diisolasi dengan cara diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama 36 jam. Proses inkubasi diperlukan untuk mempercepat pertumbuhan bakteri sekaligus untuk menghindari terjadinya kontaminasi.

Media NA yang telah melewati proses inkubasi perlu diidentifikasi kembali pertumbuhan bakterinya. Bakteri yang tumbuh dengan baik dan menghasilkan *single* koloni dapat dikultur ke dalam agar miring untuk memaksimalkan proses pemeliharaan isolat bakteri (Machmud, 2001). Sedangkan bakteri yang masih mengalami kontaminasi harus *distreak* ulang pada cawan petri berisi media NA.

Tahap selanjutnya adalah inokulasi bakteri, yaitu memindahkan bakteri terpilih dari agar miring berisi media NA ke *test tube* berisi media NB (*Nutrient Broth*). NB digunakan karena memiliki kandungan dan fungsi yang tidak jauh berbeda dengan NA. Perbedaannya hanya terletak pada bentuknya yang berupa media cair, hal inilah yang akan mempermudah proses pemindahan bakteri ke limbah cair (Rohyani *et al*, 2014). Pemindahan bakteri tersebut dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :



Gambar 6 Tahapan Kultivasi Bakteri

3.4 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini berupa toples kaca berlapis *aluminium foil* dengan kapasitas ± 800 ml berisi 500 ml limbah dan 20 ml bakteri. Penggunaan *aluminium foil* sebagai pelapis reaktor kaca bertujuan untuk menghalangi cahaya matahari yang dapat menembus masuk ke dalam reaktor, sehingga limbah tetap terjaga pada kondisi optimum dan potensi terganggunya fase pertumbuhan bakteri oleh faktor luar dapat dihindari (Harmes, 2005). Sebelum digunakan, reaktor kaca perlu disterilisasi dengan cara dioven selama 1 jam pada suhu 105°C . Reaktor yang telah steril kemudian diisi oleh 500 ml limbah tenun yang sebelumnya telah disterilisasi menggunakan *autoclave* selama 30 menit. Sterilisasi merupakan tahapan yang penting untuk menghindari terjadinya kontaminasi bakteri lain dalam proses reduksi limbah. Kontaminasi oleh bakteri lain selain bakteri *indigenous* dapat mempengaruhi hasil penelitian karena pada dasarnya penelitian ini membutuhkan hasil berupa efektifitas bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna dalam limbah tenun. Sehingga enzim yang dihasilkan dalam masing-masing reaktor harus *pure* dari 1 koloni bakteri *indigenous*, agar hasil yang didapatkan tepat sasaran menunjukkan kemampuan bakteri *indigenous* dalam mereduksi parameter uji.

Konsentrasi limbah yang digunakan dalam penelitian ini dibuat bervariasi, yaitu konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, dan 100%. Variasi konsentrasi limbah perlu digunakan untuk mengetahui kinerja bakteri pada masing-masing kondisi lingkungan yang berbeda, karena umumnya terdapat perbedaan mekanisme kerja isolat bakteri pada masing-masing lingkungan hidup yang dalam hal ini adalah limbah tenun itu sendiri (Hames, 2005). Pengenceran untuk membuat variasi limbah tersebut dilakukan dengan menggunakan air steril. Setelah reaktor siap, 20 ml bakteri hasil proses kulturisasi dapat dimasukkan ke dalam reaktor secara homogen. Namun sebelum itu, jumlah koloni bakteri dalam 20 ml aquadest tersebut perlu diuji *Optical Density* (OD) dengan spektrofotometri λ 600 nm terlebih dahulu untuk mengetahui jumlah koloni bakteri yang hidup. Jika hasil absorbansi menunjukkan angka $\geq 0,5$ maka bakteri sudah dapat dituang ke dalam reaktor skala laboratorium berisi limbah (Syafudin *et al*, 2012).

Penelitian ini juga membutuhkan reaktor kontrol yang mana dibuat sejumlah 4 buah berisi limbah dengan konsentrasi masing-masing 25%, 50%, 75%, dan 100%. Kontrol yang digunakan berupa kontrol negatif yang merupakan reaktor dengan perlakuan sama tanpa adanya penambahan bakteri. Detail reaktor dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Reaktor Skala Laboratorium
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

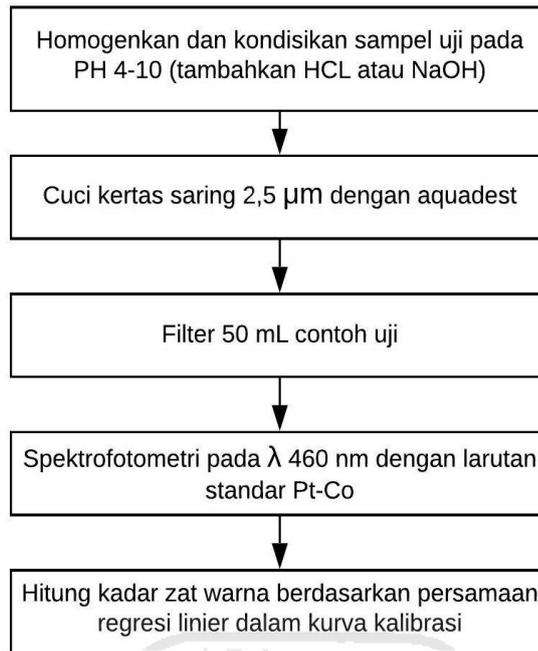
3.5 Running Reaktor

Running reaktor dilakukan selama satu minggu tepat setelah proses penuangan bakteri ke dalam limbah tenun yang ada pada rektor. Jumlah reaktor yang digunakan disesuaikan dengan jumlah bakteri yang tumbuh dengan baik pada proses isolasi, karena satu reaktor diperuntukkan untuk satu jenis bakteri. Pengujian sampel dilakukan berkala dalam kurun waktu 7 hari. Proses pengolahan selama 7 hari digunakan karena melalui interval waktu ini, pola pertumbuhan dan kemampuan reduksi zat warna oleh bakteri terhadap perubahan kualitas effluent sudah dapat diamati (wigyanto *et al*, 2009). Interval waktu pengujian zat warna pada disampel dilakukan sesuai jadwal seperti yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2 Jadwal Pengujian Parameter

Hari ke-	0	24	48	72	4	5	6	7
	jam	jam	jam	jam	hari	hari	hari	hari
Pengujian Warna	√	√		√				√

Sampel air limbah diambil dengan cara memipet 50 ml air limbah yang ada pada permukaan untuk menghindari endapan yang dapat ikut terhisap sehingga mengganggu akurasi konsentrasi dari zat warna itu sendiri. Tahapan pengujian parameter zat warna dilakukan berdasarkan acuan yang ada pada SNI 6989.80:2011 yang uraiannya dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Tahapan Pengujian Warna

3.6 Pengolahan dan Analisis Data

Data penelitian yang diperoleh perlu diolah dan dianalisa agar dapat menjawab tujuan mengenai penentuan jenis bakteri yang tepat untuk proses pengolahan dan tingkat efisiensi bakteri *indigenus* dalam mereduksi zat warna di limbah tenun Troso. Tingkat efisiensi dari bakteri *indigenus* dalam mengolah limbah cair tenun dapat dianalisa dari persentase removal hasil pengujian parameter. Data hasil pengujian diolah dalam bentuk grafik untuk melihat tren dari proses pengolahan. Hasil pengujian juga dapat dibandingkan dengan peraturan yang berlaku tentang baku mutu air limbah tekstil yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16 Tahun 2019 untuk menilai kelayakan bakteri dalam mereduksi zat warna. Baku mutu air limbah tekstil untuk zat warna dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3 Baku Mutu pada Air Limbah Industri Tekstil

Debit m ³ /hari	Warna Pt-Co
≤ 100	200
100 < x < 1000	200
≥ 1000	200

Keterangan :

Pt-Co : *true colour*

Hasil data kadar zat warna yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung persentase reduksi zat warna atau persentase dekolorisasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Persentase Dekolorisasi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}}$$



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Isolat Bakteri *Indigenus*

Pada penelitian ini, isolat bakteri *indigenus* diperoleh dari konsorsium bakteri hasil ekstraksi dan isolasi tanah kontaminan limbah tenun yang dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Sa'adah (2020). Isolat bakteri yang berhasil ditumbuhkan pada penelitian tersebut berasal dari beberapa lokasi terdampak pencemaran limbah tenun yaitu area pertanian warga dan saluran irigasi yang umumnya digunakan sebagai saluran pembuang limbah tenun sebelum masuk ke sungai. Sampel tanah diambil dari empat area yang masing-masing ditumbuhi oleh empat jenis tanaman yang berbeda. Keempat sumber isolat diberi kode tersendiri untuk mempermudah proses penamaan pada saat isolasi bakteri. Kode untuk isolasi bakteri *indigenus* dapat dilihat pada tabel 4.

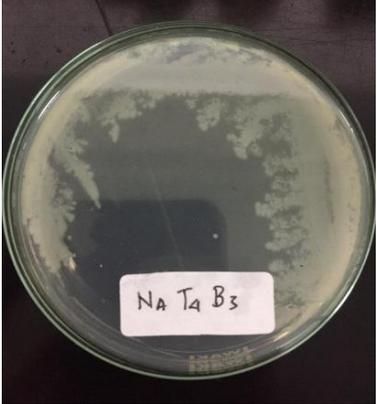
Tabel 4 Kode Kultur Bakteri *Indigenus*

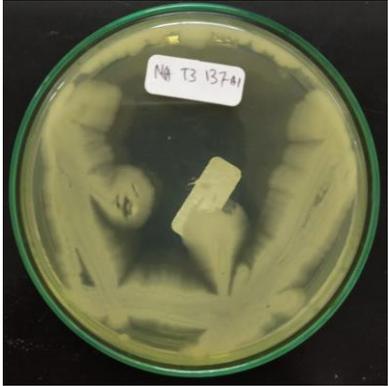
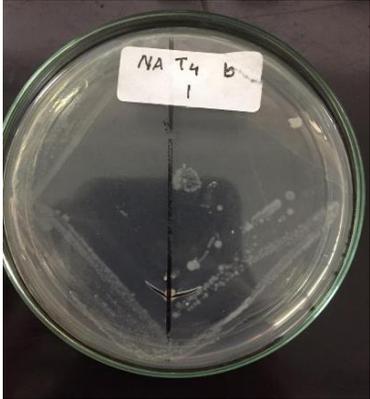
Media	Lokasi Sampling	Jenis Tanaman yang Tumbuh	Kode Kultur
NA	Area persawahan	<i>Oryza sativa</i>	NA T1
	Saluran irigasi	<i>Colocasia esculenta</i>	NA T2
	Saluran irigasi	<i>Digitaria sanguinalis</i>	B
	Saluran irigasi	<i>Althernanthera philoxeroides</i>	NA T3

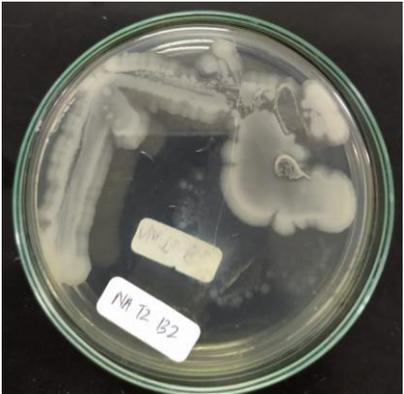
Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan berupa penelitian tahap kedua dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Sa'adah dan Erdina (2020) mengenai "Pengolahan Limbah Cair Tenun dengan Sistem *Constructed Treatment Wetland* Menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiver dan Bakteri *Indigenus* serta Bakteri *Endophyte*". Sumber bakteri didapatkan dari hasil ekstraksi tanah pada penelitian sebelumnya, sehingga yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah *reculture* bakteri yang mana diawali dengan proses identifikasi morfologi bakteri. Setelah identifikasi, bakteri dipisahkan sesuai morfologi pada cawan baru yang berisi media *nutrient agar*. Proses pemindahan dilakukan secara steril menggunakan bantuan jarum ose dan dilakukan berulang sampai dengan didapatkan *single colony*.

Proses *reculture* bakteri yang telah dilakukan menghasilkan beberapa isolat bakteri *indigenus* dengan morfologi yang berbeda. Morfologi bakteri diamati secara visual dengan panduan buku karakterisasi koloni bakteri yang mencakup karakteristik, yaitu *shape, chromogenesis, elevation, surface, opacity, dan consistency*. Selain morfologi bakteri, karakteristik bakteri yang meliputi sifat gram, bentuk dan susunan sel juga diuji. Uraian morfologi dan karakteristik isolat bakteri *indigenus* yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 5 dan 6 sebagai berikut :

Tabel 5 Morfologi Isolat Bakteri *Indigenus*

Kode	Gambar	Morfologi					
		<i>Shape</i>	<i>Chromogenesis</i>	<i>Elevation</i>	<i>Surface</i>	<i>Opacity</i>	<i>Consistency</i>
NAT4B3		<i>Rhizoid</i>	<i>White bone</i>	<i>Flat</i>	<i>Rough</i>	<i>Translucent</i>	<i>Buttery</i>
NAT1A1		<i>Irregular</i>	<i>White milk</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>

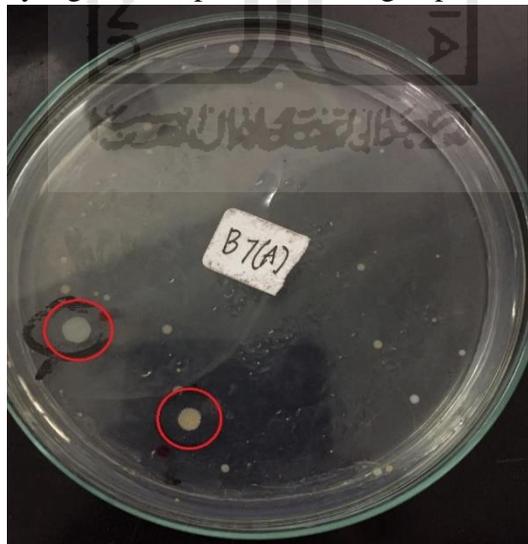
Kode	Gambar	Morfologi					
		<i>Shape</i>	<i>Chromogenesis</i>	<i>Elevation</i>	<i>Surface</i>	<i>Opacity</i>	<i>Consistency</i>
B7A1		<i>Irregular</i>	<i>White milk</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>
NAT4B1		<i>Irregular</i>	<i>White</i>	<i>Raised</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Viscid</i>

Kode	Gambar	Morfologi					
		Shape	Chromogenesis	Elevation	Surface	Opacity	Consistency
NAT2B2		<i>Irregular</i>	<i>White</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Transparant</i>	<i>Buttery</i>
NAT2C2		<i>Round</i>	<i>White bone</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Opaque</i>	<i>Buttery</i>

Tabel 6 Karakteristik Koloni Bakteri *Indigenus*

Isolat Bakteri	Sifat Gram
NAT4B3	Positif
NAT1A1	Negatif
B7A1	Negatif
NAT4B1	Positif
NAT2B2	Positif
NAT2C2	Positif

Proses untuk mendapatkan *single colony* tidak selalu berhasil dalam satu kali proses purifikasi secara manual. Sering kali bakteri yang tumbuh dalam satu cawan petri lebih dari satu isolat, yang mana seharusnya dalam satu cawan petri hanya tumbuh satu jenis bakteri dengan ciri-ciri morfologi yang sama. Oleh karena itu proses identifikasi harus dilakukan dengan teliti agar dapat melihat perbedaan morfologi masing-masing isolat dalam satu cawan petri. Apabila terjadi pertumbuhan lebih dari satu bakteri dalam satu cawan, maka proses purifikasi harus diulang kembali untuk memisahkan bakteri dengan morfologi yang berbeda ke cawan yang berbeda pula. Kegagalan tumbuhnya *single colony* ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor kesterilan alat yang digunakan untuk proses isolasi. Membuka tutup cawan petri terlalu lebar pada saat proses *streak* juga dapat menjadi salah satu faktor masuknya kontaminan karena memudahkan bakteri yang ada di udara masuk ke dalam inokulan. Hal ini mengharuskan proses purifikasi dilakukan secara berulang hingga *single colony* benar-benar didapatkan. Nomor bakteri pada tabel 5 menjadi salah satu indikasi berapa kali koloni dipurifikasi ulang sampai dengan membentuk *single colony*. Contoh kultur bakteri yang harus dipurifikasi ulang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Koloni Bakteri Belum *Single Colony*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar 9 dapat dilihat terdapat beberapa isolat bakteri dengan morfologi yang berbeda. Dua koloni bakteri dalam lingkaran merah, masing-masing memiliki bentuk yang sama yaitu *round* tetapi memiliki *chromogenesis* yang berbeda yaitu *white milk* dan *light yellow*. Hal ini berarti kedua isolat bakteri

harus *distreak* ulang dengan penomoran kultur bakteri berbeda, yaitu B7A1 dan B7A2.

Single colony yang didapatkan perlu dipindahkan ke media *nutrient agar* miring dalam *test tube*. Pemindahan koloni ke dalam agar miring merupakan salah satu metode penyimpanan paling sederhana untuk memelihara isolat bakteri melalui peremajaan secara berkala (Machmud, 2001). Proses penyimpanan ini diharapkan dapat menjaga kualitas dan kinerja bakteri sebelum melalui proses selanjutnya yang memakan waktu relatif lama.

Setelah isolat bakteri tubuh pada agar miring, pemindahan isolat bakteri ke dalam *nutrient broth* dapat dilakukan. Pemindahan ini dimaksudkan untuk memudahkan proses pemindahan isolat bakteri ke dalam reaktor skala laboratorium yang berisi limbah cair tenun. Pemindahan dilakukan secara steril dengan cara *streak* menggunakan jarum ose. *Nutrient broth* yang diperlukan untuk satu isolat bakteri adalah 15 ml, dimana NB tersebut sebelumnya telah dipersiapkan dalam *test tube* 50 ml. Setelah proses pemindahan selesai, isolat bakteri masih harus dibiarkan tumbuh dengan bantuan *shaker waterbath*. Bentuk *test tube* berisi NB beserta isolat bakteri dan proses *waterbath* dapat dilihat pada gambar 10 dan 11.



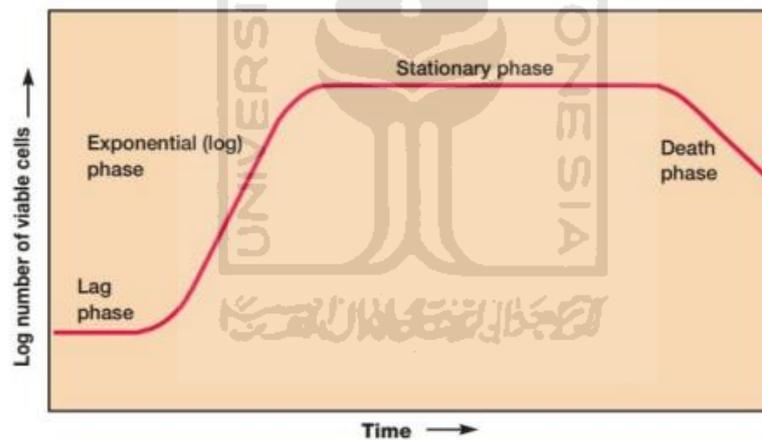
Gambar 10 *Nutrient Broth* berisi Isolat Bakteri
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 11 Proses *Waterbath*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar 9 dapat dilihat dua *test tube* berisi *nutrient broth* dengan kondisi yang berbeda, yaitu bening dan keruh. *Nutrient broth* keruh merupakan *nutrient broth* berisi isolat bakteri *indigenous* yang telah melewati proses *shaking* di *waterbath*. Kekeruhan yang terjadi merupakan indikasi bahwa isolat bakteri telah tumbuh dengan baik. Proses *waterbath* diusahakan selalu dalam kondisi steril agar tidak ada kontaminan yang masuk ke dalam *test tube*. Oleh karena itu, pada proses ini juga digunakan kontrol negatif untuk memastikan bakteri yang tumbuh dalam *nutrient broth* merupakan isolat bakteri *indigenous* yang memang ingin ditumbuhkan.

Proses *waterbath* dilakukan minimal 36 jam dengan kecepatan 100 rpm. Durasi waktu ini ditentukan berdasarkan fase pertumbuhan bakteri. Fase pertumbuhan bakteri umumnya melewati empat fase, yaitu fase penyesuaian (*lag phase*), fase eksponensial (*log phase*), fase stasioner (*stationary phase*), dan fase penurunan (*death phase*). Fase penyesuaian merupakan fase bakteri untuk beradaptasi terhadap lingkungan baru sebelum terjadi pertumbuhan dan perkembangan. Fase eksponensial merupakan fase paling penting dibandingkan fase-fase lainnya karena pada fase ini kecepatan pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri sangat cepat dan maksimum. Fase stasioner merupakan fase pada saat kecepatan dan perkembangbiakan bakteri mencapai titik terendah. Fase terakhir yaitu fase penurunan yang mana populasi bakteri akan terus menurun berbanding lurus dengan jumlah peningkatan kematian sel bakteri. Kurva pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada gambar 12 sebagai berikut :



Gambar 12 Kurva Fase Pertumbuhan Bakteri
(Tim Mikrobiologi FK Unibraw, 2003)

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa fase eksponensial merupakan fase dengan aktifitas bakteri sangat tinggi, baik dalam hal metabolisme maupun pembelahan selnya. Fase eksponensial umumnya berlangsung dalam kurun waktu 36 – 48 jam atau 2 x 24 jam (Tim Mikrobiologi FK Unibraw, 2003). Oleh karena itu proses *waterbath* dilakukan minimal selama 36 jam untuk memastikan bakteri masih pada fase eksponensial agar aktivitas bakteri yang digunakan untuk proses pengolahan limbah berlangsung maksimal. Hal ini juga berkaitan dengan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan kerja bakteri yaitu usia bakteri itu sendiri. Usia bakteri berkaitan dengan tingkat kerentanan mikroorganisme yang mana pada prinsipnya kerentanan bakteri paling tinggi terjadi pada fase

eksponensial. Sedangkan pada fase stasioner dianggap kurang efektif karena metabolisme pada bakteri tidak terlalu aktif.

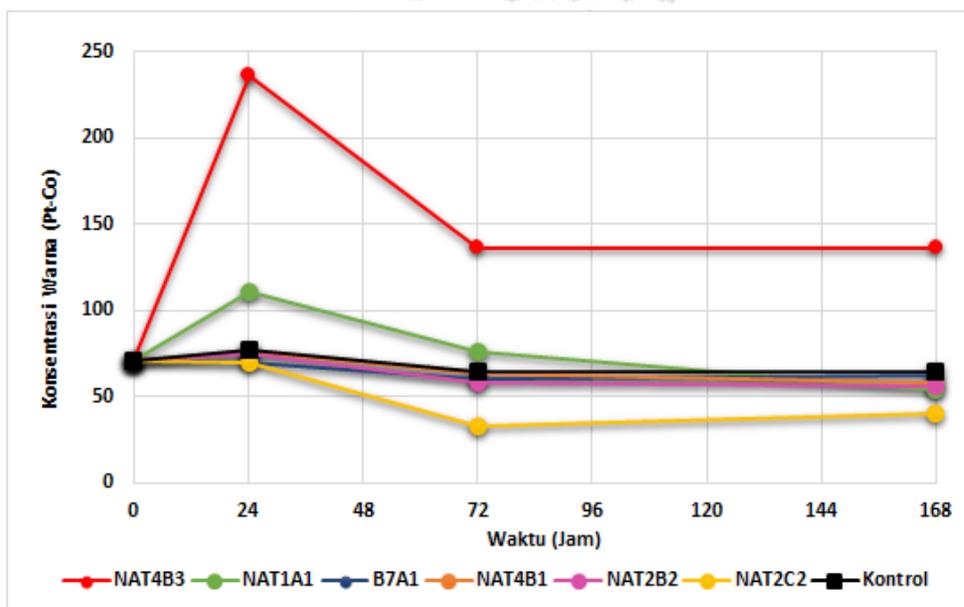
Setelah melewati proses *waterbath*, bakteri yang telah tumbuh harus dipisahkan dulu dengan media tumbuhnya yaitu *nutrient broth*. Pemisahan bakteri dengan *nutrient both* dilakukan dengan bantuan alat *centrifuge* pada suhu 4°C dan kecepatan 5000 g selama 10 menit. Setelah keduanya terpisah, *test tube* berisi endapan bakteri disuspensi dengan 20 ml *aquadest* steril untuk mempermudah pemindahannya ke dalam reaktor skala mikro berisi limbah cair tenun. Sebelum proses inokulasi bakteri ke dalam limbah, jumlah bakteri harus dipastikan mencukupi terlebih dahulu dengan melalui uji *optical dencity* (OD) dengan nilai absorbansi harus $\geq 0,5$. Adapun nilai absorbansi untuk isolat NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, dan NAT2C2 berturut-turut adalah 1,26, 1,23, 1,35, 1,39, 0,95, dan 1,31.

4.2 Reduksi Zat Warna pada Limbah Tenun oleh Bakteri *Indigenus*

Pada penelitian ini, keenam isolat bakteri yaitu NAT4B1, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2 dan NAT2C2 diuji dalam empat variasi konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada masing-masing konsentrasi limbah, kontrol negatif disertakan untuk menjadi pembanding hasil pengolahan limbah oleh bakteri *indigenus* nanti. Waktu pengujian dilakukan selama 7 hari atau 168 jam, dengan pengambilan sampel uji pada waktu pengujian 0 jam, 24 jam, 72 jam, dan 168 jam. Berikut uraian penjelasan hasil reduksi zat warna oleh keenam isolat bakteri untuk masing-masing konsentrasi limbah :

4.2.1 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 25%

Sampel air limbah hasil pengolahan isolat bakteri *indigenus* pada konsentrasi limbah 25% di setiap waktu pengujian yaitu 0 jam, 24 jam, 72 jam dan 168 jam menghasilkan data yang cukup fluktuatif. Data hasil pengujian yang telah dikembangkan dalam grafik dapat dilihat pada gambar 13 sebagai berikut :



Gambar 13 Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 25%

Besaran reduksi konsentrasi warna pada jam ke 0, 24, 72, dan 168 jam pada keenam isolat dan sampel kontrol menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Konsentrasi warna pada jam ke 0, 24, 72, dan 168 untuk isolat NAT4B3 berturut-turut adalah 70,80 Pt-Co, 236,43 Pt-Co, 136,43 Pt-Co, 136,43 Pt-Co, untuk isolat NAT1A1 70,80 Pt-Co, 111,43 Pt-Co, 75,71 Pt-Co, 52,29 Pt-Co, untuk isolat B7A1 70,80 Pt-Co, 70,14 Pt-Co, 60,14 Pt-Co, 63 Pt-Co, untuk isolat NAT4B1 70,80 Pt-Co, 76,57 Pt-Co, 63,71 Pt-Co, 58,71 Pt-Co, untuk isolat NAT2B2 70,80 Pt-Co, 75,14 Pt-Co, 58 Pt-Co, 56,57 Pt-Co, untuk isolat NAT2C2 70,80 Pt-Co, 70,14 Pt-Co, 32,86 Pt-Co, 40,86 Pt-Co, dan untuk sampel kontrol 70,80 Pt-Co, 77,22 Pt-Co, 65,05 Pt-Co, 64,72 Pt-Co.

Berdasarkan hasil data pengujian dan grafik yang terbentuk, dapat dilihat bahwa pola reduksi yang terjadi pada sampel uji hasil pengolahan keenam isolat bakteri *indigenous* dan sampel kontrol menunjukkan bentuk yang berbeda-beda. Pola reduksi yang menunjukkan kesamaan dengan sampel kontrol hanya terjadi pada isolat bakteri *indigenous* NAT1A1, NAT4B1 dan NAT2B2. Pola reduksi yang terjadi pada sampel kontrol dan ketiga isolat tersebut adalah kenaikan konsentrasi warna pada jam ke 24 dan penurunan pada jam ke 72 sampai dengan jam ke 168. Terdapat dua isolat bakteri yang menunjukkan pola reduksi yang sama dengan pola kenaikan konsentrasi limbah pada jam 24, turun pada jam ke 72, dan kemudian kembali naik pada jam ke 168. Kedua isolat bakteri tersebut adalah B7A1 dan NAT2C2. Kenaikan yang terjadi pada jam ke 24 berhubungan dengan fase pertumbuhan bakteri. Pada jam ke 24, belum ada reduksi yang terjadi dikarenakan belum adanya aktivitas yang dilakukan bakteri berkaitan dengan proses reduksi zat warna karena pada jam ke 24 bakteri masih melakukan adaptasi terhadap lingkungan hidup barunya. Sedangkan kenaikan konsentrasi yang terjadi dikarenakan pertumbuhan bakteri pada jam ke 24 belum disertai dengan produksi enzim potensial yang dapat digunakan untuk reaksi enzimatik, sehingga pertumbuhan yang terjadi cenderung menambah kekeruhan dari limbah tempat bakteri hidup (Purwaning, 2016). Sedangkan isolat bakteri yang menunjukkan pola reduksi paling berbeda adalah isolat NAT4B3 dimana kenaikan konsentrasi terjadi pada jam ke 24, penurunan pada jam ke 72, dan hasil yang tetap pada jam ke 168.

Jika hasil konsentrasi warna sebelum pengolahan (0 jam) dibandingkan dengan konsentrasi setelah pengolahan pada jam ke 168, reduksi terbaik ditunjukkan oleh isolat bakteri NAT2C2. Penurunan konsentrasi warna oleh isolat NAT2C2 ini mencapai 29,94 Pt-Co dengan konsentrasi warna sebelum pengolahan adalah 70,80 Pt-Co dan konsentrasi warna setelah pengolahan adalah 40,86 Pt-Co. Reduksi yang terjadi pada sampel uji hasil pengolahan isolat bakteri NAT2C2 ini menunjukkan hasil yang lebih baik dari reduksi zat warna sampel kontrol, karena penurunan konsentrasi warna yang terjadi pada sampel kontrol hanya menunjukkan nilai 6,08 Pt-Co, dari konsentrasi 70,80 Pt-Co ke 64,72 Pt-Co.

Hasil reduksi zat warna yang bagus oleh isolat bakteri NAT2C2 menunjukkan bahwa isolat ini mampu menguraikan substrat berupa zat warna yang terdapat pada limbah konsentrasi 25% sebagai sumber karbon dengan baik. Hal ini dikarenakan pada dasarnya bakteri *indigenous* dapat mereduksi zat warna melalui reaksi enzimatik, dimana enzim hasil produksi bakteri *indigenous* akan mengurai substrat dalam air limbah dari susunan kompleks menjadi unsur-unsur yang lebih sederhana. Unsur dengan susunan sederhana yang telah berupa energi dan produk inilah yang nantinya akan dimanfaatkan bakteri untuk mendukung pertumbuhannya,

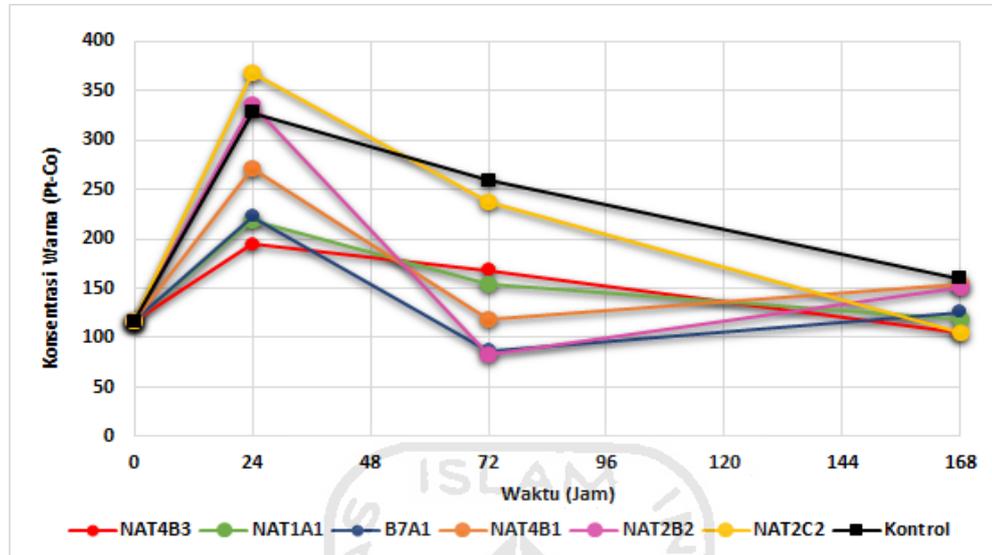
sehingga melalui proses ini kandungan zat warna dalam limbah dapat berkurang. Perombakan struktur kimiawi zat warna yang merupakan sumber karbon bagi bakteri, terutama gugus warna azo dalam limbah tenun terjadi pada gugus kromofor dan/atau ausokrom, ikatan N-N yang terdapat pada zat warna azo akan digantikan oleh HN-HN dari NH₂. Enzim reduktif yang dihasilkan bakteri mempunyai kemampuan untuk memutus ikatan N-N yang kemudian digantikan oleh 2 molekul dari NH₂. Dua asam amino aromatik yang dihasilkan inilah yang menjadi indikator terjadinya proses reduksi zat warna azo (Tan *et al*, 2001). Sedangkan reduksi konsentrasi warna sebesar 6,08 Pt-Co pada sampel kontrol terjadi karena adanya proses pengendapan selama proses pengujian (168 jam). Pengaruh pengendapan pada penurunan konsentrasi warna ini selaras dengan penggunaan metode sedimentasi pada pengolahan limbah tekstil secara konvensional, yang mana hal ini berarti proses sedimentasi memiliki persentase dalam mereduksi zat warna (Wardiyati *et al*, 2012). Pengaruh proses sedimentasi pada penurunan konsentrasi warna pada sampel kontrol menjadi alasan yang paling potensial, mengingat kondisi limbah yang digunakan dalam kondisi steril sehingga kemungkinan adanya pengaruh dari mikroorganisme lain selain bakteri *indigenous* sangat amat kecil.

Pada konsentrasi limbah 25%, terdapat pula isolat bakteri yang tidak mempunyai kemampuan untuk mereduksi zat warna, yaitu isolat NAT4B3. Hal ini diindikasikan dari nilai konsentrasi warna setelah pengolahan justru lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi warna sebelum pengolahan oleh isolat NAT4B3. Nilai konsentrasi warna sebelum pengolahan oleh isolat NAT4B3 adalah 70,80 Pt-Co dan setelah pengolahan lebih tinggi yaitu 136,43 Pt-Co, sehingga kenaikan konsentrasi yang terjadi adalah 65,63 Pt-Co. Alasan tidak adanya kemampuan NAT4B3 dalam mereduksi zat warna ini berbanding terbalik dengan apa yang terjadi pada isolat bakteri NAT2C2, dimana isolat bakteri NAT4B3 terindikasikan belum mampu menyesuaikan diri dan memanfaatkan substrat yang ada di limbah konsentrasi 25% dengan baik.

Reduksi konsentrasi warna pada isolat bakteri lainnya seperti NAT1A1, B7A1, NAT4B1, dan NAT2B2 menunjukkan hasil yang cukup baik, dimana nilai reduksi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan reduksi pada sampel kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi zat warna oleh isolat bakteri *indigenous* kecuali NAT4B3 berlangsung lebih baik dibandingkan dengan tanpa adanya pengolahan.

4.2.2 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 50%

Reduksi zat warna yang terjadi pada konsentrasi limbah 50% oleh isolat bakteri *indigenus* yang telah dikembangkan dalam grafik dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut :



Gambar 14 Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 50%

Hasil konsentrasi warna keenam isolat di limbah 50% pada waktu pengujian 0 jam, 24 jam, 72 jam dan 168 jam berturut-turut untuk isolat NAT4B3 adalah 116,25 Pt-Co, 194,29 Pt-Co, 168,57 Pt-Co, dan 104,29 Pt-Co, untuk isolat NAT1A1 116,25 Pt-Co, 218,57 Pt-Co, 154,29 Pt-Co, dan 118,57 Pt-Co, untuk isolat B7A1 116,25 Pt-Co, 222,14 Pt-Co, 86,43 Pt-Co, dan 125,71 Pt-Co, untuk isolat NAT4B1 116,25 Pt-Co, 272,14 Pt-Co, 118,57 Pt-Co, dan 154,29 Pt-Co, untuk isolat NAT2B2 116,25 Pt-Co, 336,43 Pt-Co, 82,86 Pt-Co, dan 150,71 Pt-Co, untuk isolat NAT2C2 116,25 Pt-Co, 368,57 Pt-Co, 237,14 Pt-Co, dan 104,29 Pt-Co, dan untuk sampel kontrol 116,25 Pt-Co, 327,86 Pt-Co, 259,28 Pt-Co, dan 159,64 Pt-Co.

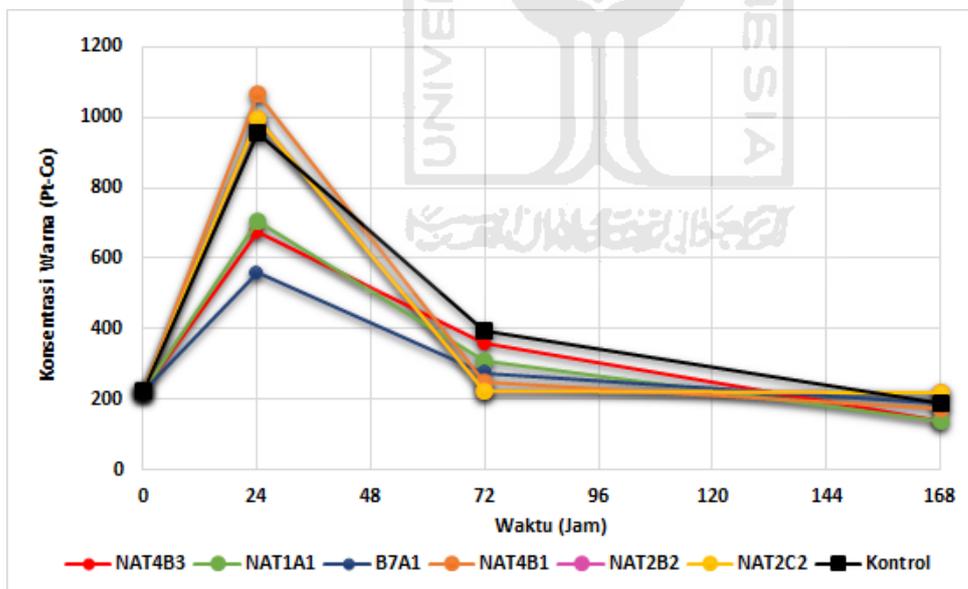
Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa mayoritas isolat bakteri pada pengolahan limbah konsentrasi 50% ini tidak menunjukkan reduksi sama sekali, kecuali isolat bakteri NAT4B3 dan NAT2C2. Namun hal ini juga selaras dengan apa yang terjadi pada sampel kontrol, dimana konsentrasi zat warna pada waktu pengujian 168 jam justru lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi warna pada 0 jam.

Jika dilihat dari angka reduksinya selama 168 jam pengolahan, isolat NAT4B3 dan NAT2C2 menunjukkan hasil paling baik dengan penurunan konsentrasi warna yang sama yaitu 11,97 Pt-Co dari konsentrasi 116,25 Pt-Co ke 104,29 Pt-Co. Sedangkan kenaikan tertinggi pada jam ke 168 jam terjadi pada isolat NAT4B1, dengan kenaikan konsentrasi warna mencapai 38,03 Pt-Co dari konsentrasi 116,25 Pt-Co menjadi 154,29 Pt-Co. Kemudian apabila dilihat pola reduksinya, gambar 13 menunjukkan bahwa isoalt bakteri NAT4B3, NAT1A1, NAT2C2 dan samoel kontrol mengalami kenaikan konsentrasi warna pada jam ke 24, kemudian turun pada jam ke 72 sampai jam ke 168. Sedangkan ketiga isolat lainnya yaitu B7A1, NAT4B1, dan NAT2B2 mengalami kenaikan konsentrasi warna di jam ke 24, turun di jam ke 72, dan kembali naik pada jam ke 168.

Reduksi yang terjadi pada sampel uji isolat bakteri NAT4B3 dan NAT2C2 menunjukkan adanya reaksi enzimatik oleh bakteri *indigenus* pada limbah konsentrasi 50%. Sedangkan tidak adanya zat warna yang tereduksi pada isolat lainnya terutama isolat NAT4B1, dikarenakan adanya perbedaan mekanisme kerja isolat bakteri pada masing-masing lingkungan hidup. Tidak semua isolat bakteri secara signifikan dapat menggunakan substrat sehingga bisa mendegradasi senyawa-senyawa spesifik yang ada pada semua jenis limbah. Sehingga dapat dikatakan, tidak adanya konsentrasi zat warna yang tereduksi pada limbah konsentrasi 50% ini dikarenakan komposisi 50% air limbah tenun dan 50% air steril bukan merupakan lingkungan hidup yang cocok bagi bakteri *indigenus* untuk menyesuaikan diri. Karena pada dasarnya bakteri *indigenus* memerlukan lingkungan hidup dengan kondisi ideal untuk tumbuh dengan baik. Adapun beberapa kondisi lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri antara lain konsentrasi substrat, komposisi medium, konsentrasi pewarna, pH, sumber karbon, oksigen, nitrogen, senyawa inhibitor dan aktivator (Hames, 2005). Salah satu kondisi lingkungan yang berpengaruh adalah kondisi substrat. Laju pertumbuhan bakteri akan lebih dominan jika kondisi substratnya sesuai, dan akan mengalami perlambatan pertumbuhan jika kondisi substrat tidak ideal (Aditiawati, 2003).

4.2.3 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 75%

Hasil reduksi konsentrasi warna pada limbah konsentrasi 75% oleh isolat bakteri *indigenus* yang telah dikembangkan dalam grafik dapat dilihat pada gambar 15 sebagai berikut :



Gambar 15 Grafik Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 75%

Pola reduksi yang terbentuk tersusun dari hasil konsentrasi warna keenam isolat dan sampel kontrol pada jam ke 0 sampai 168 jam. Konsentrasi warna pada jam ke 0, 24, 72, dan 168 jam berturut-turut untuk isolat NAT4B3 adalah 225,29 Pt-Co, 674,29 Pt-Co, 358,57 Pt-Co, dan 136,43 Pt-Co, untuk isolat NAT1A1 adalah 225,29 Pt-Co, 702,86 Pt-Co, 308,57 Pt-Co, dan 140 Pt-Co, untuk isolat B7A1 adalah 225,29 Pt-Co, 558,57 Pt-Co, 275,71 Pt-Co, dan 186,43 Pt-Co, untuk isolat

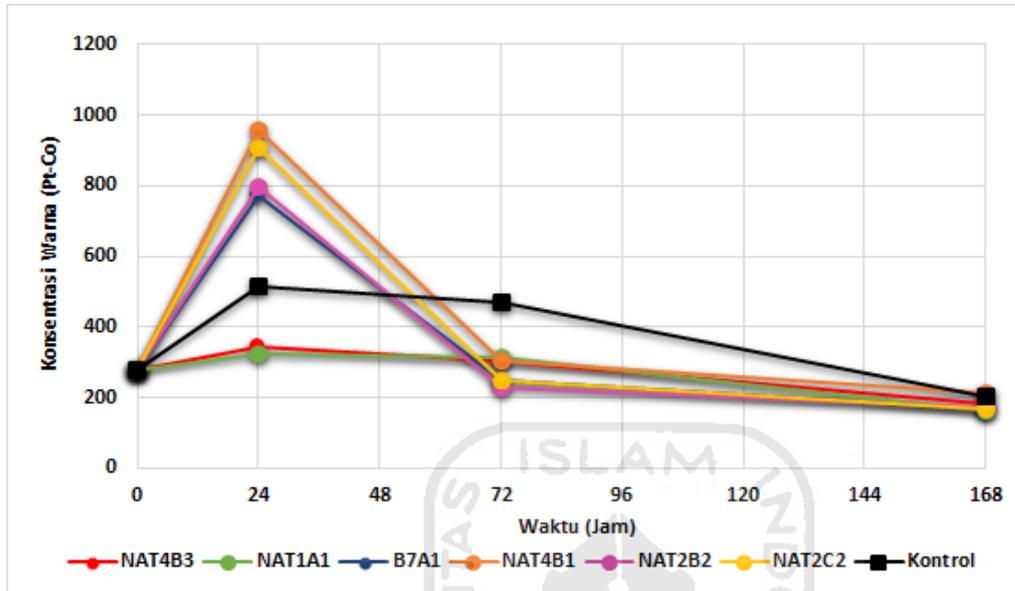
NAT4B1 adalah 225,29 Pt-Co, 1065,71 Pt-Co, 247,14 Pt-Co, dan 175,71 Pt-Co, untuk isolat NAT2B2 adalah 225,29 Pt-Co, 994,29 Pt-Co, 222,14 Pt-Co, dan 218,57 Pt-Co, untuk isolat NAT2C2 adalah 225,29 Pt-Co, 674,29 Pt-Co, 417,14 Pt-Co, dan 104,29 Pt-Co, untuk sampel kontrol adalah 225,29 Pt-Co, 952,86 Pt-Co, 396,42 Pt-Co, dan 188,21 Pt-Co.

Berdasarkan grafik yang terbentuk, semua isolat bakteri menunjukkan pola reduksi warna yang sama dengan sampel kontrol. Pola reduksi yang terbentuk adalah kenaikan konsentrasi warna pada jam ke 24, dan penurunan pada jam ke 72 sampai 168. Semua isolat bakteri menunjukkan reduksi yang cukup baik pada akhir waktu pengujian, kecuali isolat NAT2B2 yang mana hasil reduksinya masih berada di bawah hasil reduksi pada sampel kontrol. Konsentrasi warna hasil pengolahan isolat NAT2B2 sebesar 218,57 Pt-Co, sedangkan sampel kontrol menunjukkan angka yang lebih rendah yaitu 188,21 Pt-Co. Hal ini berarti proses reduksi pada sampel kontrol justru berlangsung lebih baik dibandingkan dengan proses reduksi oleh bakteri *indigenous* isolat NAT2B2. Di lain sisi, isolat bakteri NAT2C2 mampu mereduksi zat warna dengan sangat baik pada konsentrasi limbah 75% ini. Dimana penurunan konsentrasi warna hasil pengolahan isolat NAT2C2 mencapai 121 Pt-Co, dari konsentrasi konsentrasi 225,29 Pt-Co ke 104,29 Pt-Co. Angka ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan reduksi pada sampel kontrol yang hanya menunjukkan angka 37,08 Pt-Co, dari 225,29 Pt-Co ke 188,21 Pt-Co.

Terdapat beberapa poin penting yang perlu diperhatikan dari hasil reduksi zat warna pada konsentrasi limbah 75% ini. Yang pertama adalah naiknya konsentrasi zat warna di jam ke 24 pada semua sampel uji hasil pengolahan keenam isolat, dan penurunan konsentrasi di waktu pengujian setelahnya. Yang kedua adalah nilai konsentrasi warna pada isolat bakteri NAT4B1 dan NAT2C2 di jam ke 24 lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi warna pada sampel kontrol, yang mana hal ini berbeda dengan apa yang terjadi pada sampel uji hasil pengolahan isolat bakteri lainnya. Perbedaan ini dikarenakan setiap isolat bakteri memiliki perbedaan dalam hal interval waktu regenerasi dan kemampuan untuk memanfaatkan zat warna sebagai sumber karbonnya (Jain *et al*, 2005).

4.2.4 Reduksi Zat Warna pada Konsentrasi Limbah 100%

Hasil reduksi konsentrasi warna pada limbah konsentrasi 100% oleh isolat bakteri *indigenous* yang telah dikembangkan dalam grafik dapat dilihat pada gambar 16 sebagai berikut :



Gambar 16 Grafik Reduksi Warna pada Konsentrasi Limbah 100%

Konsentrasi warna hasil pengolahan bakteri *indigenous* di limbah konsentrasi 100% pada jam ke 0, 24, 72 dan 168 berturut-turut untuk isolat NAT4B3 adalah 277,14 Pt-Co, 345,71 Pt-Co, 301,43 Pt-Co, dan 182,86 Pt-Co, untuk isolat NAT1A1 277,14 Pt-Co, 322,86 Pt-Co, 315,71 Pt-Co, dan 161,43 Pt-Co, untuk isolat B7A1 277,14 Pt-Co, 772,86 Pt-Co, 247,14 Pt-Co, dan 168,57 Pt-Co, untuk isolat NAT4B1 277,14 Pt-Co, 958,57 Pt-Co, 304,29 Pt-Co, dan 215 Pt-Co, untuk isolat NAT2B2 277,14 Pt-Co, 794,29 Pt-Co, 225,71 Pt-Co, dan 172,14 Pt-Co, untuk isolat NAT2C2 277,14 Pt-Co, 908,57 Pt-Co, 245,71 Pt-Co, dan 165 Pt-Co, dan untuk sampel kontrol 277,14 Pt-Co, 512,86 Pt-Co, 470,72 Pt-Co, dan 202,50 Pt-Co.

Pada konsentrasi limbah 100%, pola reduksi yang terbentuk pada semua isolat dan sampel kontrol sama dengan apa yang terbentuk pada konsentrasi limbah 75%. Dimana kenaikan konsentrasi warna terjadi pada jam ke 24, kemudian turun pada jam ke 72 sampai jam ke 168. Kenaikan konsentrasi zat warna pada jam ke 24 terjadi cukup tajam dibandingkan dengan kenaikan pada sampel kontrol, sehingga beberapa konsentrasi warna pada beberapa isolat bakteri jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sampel kontrol.

Apabila dilihat dari nilai konsentrasi sebelum dan sesudah pengolahan, dapat dilihat bahwa isolat NAT2C2 masih termasuk isolat yang menunjukkan angka reduksi tertinggi dibandingkan dengan isolat bakteri lain. Penurunan konsentrasi warna hasil pengolahan isolat NAT2C2 mencapai angka 112,14 Pt-Co, dari 277,14 Pt-Co ke 165 Pt-Co. Reduksi oleh isolat NAT2C2 di beberapa konsentrasi limbah ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan hasil reduksi isolat lainnya, walaupun reduksi yang terjadi pada konsentrasi 100% ini tidak sebagus dengan apa yang terjadi di konsentrasi limbah 75%. Namun hal ini sesuai dengan apa yang

dinyatakan oleh Deby (2018), dimana umumnya pengaruh konsentrasi zat warna terhadap proses reduksi zat warna berbanding terbalik. Semakin tinggi konsentrasi zat warna pada suatu limbah, maka efektifitas bakteri untuk menguraikan zat warna juga semakin berkurang. Hal ini dikarenakan minimnya nutrisi pada konsentrasi limbah dengan kadar toksisitas tinggi.

Sama halnya dengan apa yang terjadi di konsentrasi limbah 75%, isolat bakteri NAT4B1 cenderung menunjukkan kelemahannya dalam mereduksi zat warna dibandingkan dengan isolat lainnya. Hasil reduksi oleh isolat NAT4B1 hanya menunjukkan nilai 62,14 Pt-Co dengan penurunan konsentrasi warna dari 277,14 Pt-Co ke 215 Pt-Co. Nilai reduksi tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan reduksi pada sampel kontrol yang mencapai 74,64 Pt-Co, dengan penurunan konsentrasi warna dari 277,14 Pt-Co ke 202,50 Pt-Co. Hal ini berarti kemampuan isolat NAT4B1 dalam mereduksi zat warna lebih rendah dibandingkan dengan reduksi akibat proses sedimentasi pada sampel kontrol.

4.2.5 Pengaruh Bakteri *Indigenous* terhadap Kenaikan Konsentrasi Warna

Berdasarkan pola reduksi konsentrasi warna yang terbentuk pada konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, dan 100% terdapat beberapa persamaan yang menjadi poin penting dari hasil penelitian ini. Poin pertama yang perlu diperhatikan adalah kenaikan konsentrasi zat warna di jam ke 24 pada hampir semua sampel uji hasil pengolahan isolat bakteri. Kenaikan konsentrasi warna tertinggi terjadi pada isolat NAT4B1 di konsentrasi limbah 75% yang mencapai angka 840,40 Pt-Co, dari konsentrasi 225,29 Pt-Co ke 1065,71Pt-Co. Hal ini berarti reduksi zat warna dapat berlangsung secara konstan setelah jam ke 24, karena pertumbuhan bakteri di atas jam ke 24 sudah memasuki waktu konstan setelah mengalami fase adaptasi di jam ke 0 sampai jam ke 24. Setelah mengalami adaptasi dan berada di fase eksponensial, kinerja bakteri akan berlangsung lebih baik sebanding dengan angka pertumbuhannya. Masa adaptasi pertumbuhan bakteri yang terjadi sebelum jam ke 24 di penelitian ini juga terjadi pada beberapa penelitian sebelumnya. Menurut Yazid (2014), kinerja bakteri *indigenous* belum maksimal pada jam ke 6 karena bakteri masih membutuhkan waktu untuk beradaptasi pada awal pertumbuhan. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Purwaning (2016) yang menunjukkan peningkatan pertumbuhan bakteri baru terjadi secara maksimal pada hari kedua atau pada jam ke 48. Peningkatan konsentrasi warna pada jam ke 24 ini juga ditandai dengan semakin meningkatnya nilai absorbansi. Nilai absorbansi yang tinggi disebabkan oleh meningkatnya pertumbuhan koloni bakteri yang tidak disertai dengan produksi enzim yang potensial dalam mendegradasi warna, sehingga media berisi bakteri cenderung semakin keruh (Deby, 2018). Setelah mengalami kenaikan di jam ke 24, mayoritas pola reduksi yang terjadi pada isolat bakteri adalah terjadi penurunan konsentrasi warna kembali pada jam ke 72 sampai 168. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan penurunan konsentrasi zat warna masih akan terjadi secara kontinyu di jam selanjutnya sampai fase kematian bakteri berlangsung.

Poin penting lainnya yang perlu dibahas adalah nilai konsentrasi warna hasil pengolahan beberapa isolat bakteri *indigenous* justru lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sampel kontrol. Hal ini berarti kemampuan beberapa isolat bakteri dalam mereduksi zat warna di beberapa konsentrasi limbah lebih rendah

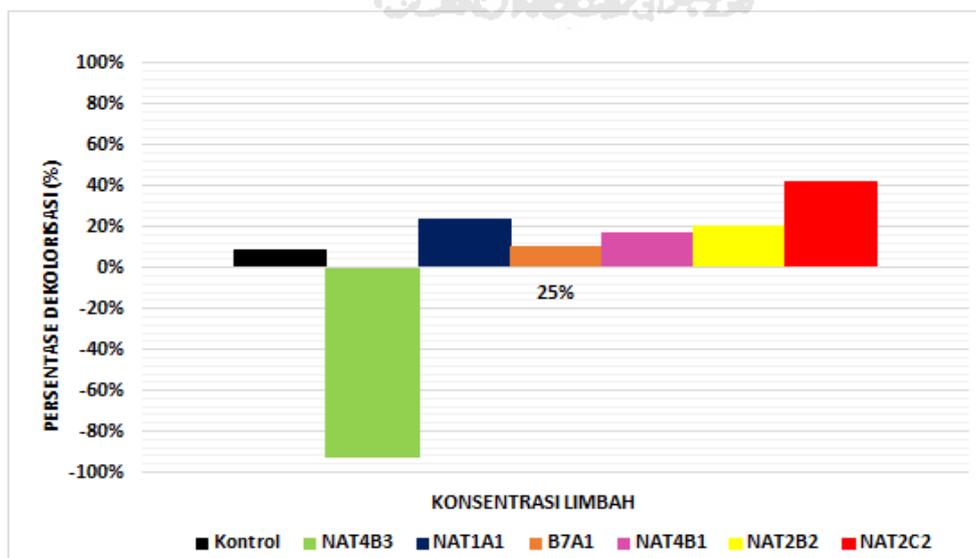
dibandingkan dengan reduksi zat warna akibat proses sedimentasi yang terjadi pada sampel kontrol (Wardiyati et al, 2012). Walaupun demikian, mayoritas konsentrasi warna hasil pengolahan isolat bakteri *indigenous* masih dalam batas aman berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P16 Tahun 2019 karena nilai konsentrasi warna pada jam ke 168 mayoritas berada di bawah nilai batas aman yaitu 200 Pt-Co, kecuali hasil pengolahan isolat NAT2B2 pada konsentrasi limbah 75% dan hasil pengolahan isolat NAT4B1 pada konsentrasi limbah 100% dengan nilai konsentrasi warna berurut-turut adalah 218,57 Pt-Co dan 215 Pt-Co. Selain masih di dalam batas aman, angka reduksi oleh mayoritas bakteri juga lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kontrol, sehingga pengolahan limbah tenun menggunakan metode bioremediasi dengan pemanfaatan bakteri *indigenous* masih memiliki potensi yang lebih unggul dibandingkan dengan pengolahan secara fisik melalui proses sedimentasi.

4.3 Persentase Dekolorisasi Bakteri *Indigenous* pada Limbah Tenun

Persentase dekolorisasi atau kemampuan mereduksi kadar warna pada limbah oleh bakteri *indigenous* dihitung dengan perbandingan konsentrasi awal warna sebelum pengolahan dengan konsentrasi warna setelah pengolahan. Sehingga hasil perhitungan yang muncul berupa persentase, dimana nilai tersebut yang akan menggambarkan kemampuan isolat bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna melalui seberapa besar nilai persentase removalnya.

4.3.1 Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 25%

Nilai persentase removal keenam isolat bakteri dari hasil perhitungan dikembangkan menjadi diagram untuk mempermudah proses analisa. Berikut diagram persentase dekolorisasi isolat bakteri *indigenous* pada konsentrasi limbah 25% yang terdapat pada gambar 17.



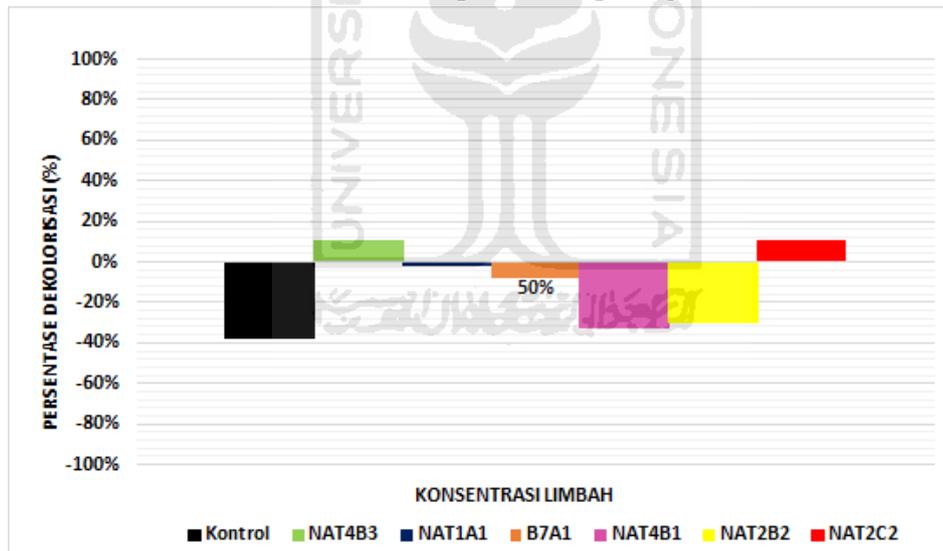
Gambar 17 Diagram Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 25%

Berdasarkan diagram batang yang terbentuk, dapat dilihat bahwa semua isolat bakteri kecuali NAT4B3 mempunyai persentase dekolorisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kontrol. Masing-masing persentase dekolorisasi isolat bakteri NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, NAT2C2 dan sampel kontrol berturut-turut adalah -92,71%, 23,32%, 11,01%, 17,07%, 20,09%, 42,29%, dan 8,59%. Dari data tersebut, persentase dekolorisasi isolat bakteri NAT2C2 menunjukkan nilai tertinggi dan isolat bakteri NAT4B3 menunjukkan nilai terendah dibandingkan dengan isolat bakteri *indigenus* lainnya.

Tingginya persentase dekolorisasi pada isolat bakteri *indigenus* NAT2C2 menggambarkan kemampuan isolat NAT2C2 yang baik dalam memanfaatkan zat organik yang terdapat pada limbah tenun, sehingga reduksi zat warna yang terjadi dapat meningkat selaras dengan pertumbuhan bakteri. Sedangkan nilai minus pada isolat NAT4B3 menunjukkan tidak adanya zat warna yang tereduksi, karena nilai konsentrasi setelah pengolahan justru lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi warna setelah pengolahan. Hal ini dapat terjadi karena rendahnya kemampuan isolat NAT4B3 dalam memanfaatkan substrat berupa zat warna sebagai sumber karbon yang terdapat pada limbah konsentrasi 25% itu sendiri.

4.3.2 Persentase dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 50%

Persentase dekolorisasi isolat bakteri *indigenus* dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun konsentrasi 50% dapat dilihat pada gambar 18 dibawah ini.



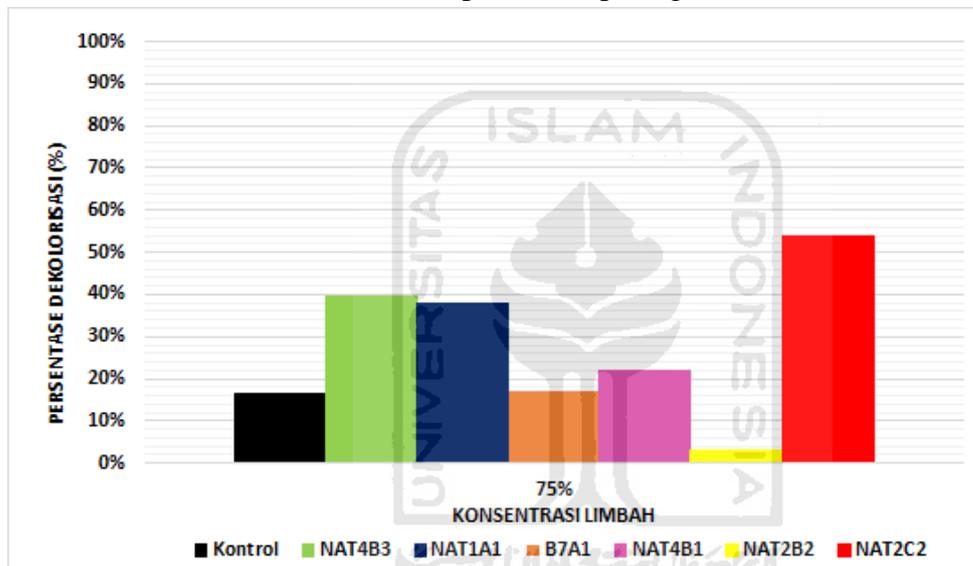
Gambar 18 Diagram Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 50%

Nilai persentase dekolorisasi untuk isolat bakteri NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, NAT2C2 dan sampel kontrol berturut-turut adalah 10,29%, -2%, -8,14%, -29,65%, -29,65%, 10,29% dan -37,32%. Nilai ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi limbah 50%, hampir semua isolat bakteri kecuali NAT4B3 dan NAT2C2 tidak menunjukkan kemampuannya dalam mereduksi zat warna karena tidak ada sedikitpun zat warna yang terremoval. Kenaikkan konsentrasi zat warna yang terjadi pada konsentrasi limbah 50% ini dapat disebabkan oleh ketidakcocokan isolat bakteri terhadap kondisi lingkungan berupa limbah konsentrasi 50%. Kondisi lingkungan yang tidak ideal ini akan mempengaruhi pertumbuhan bakteri,

karena pada dasarnya kondisi lingkungan seperti konsentrasi substrat, komposisi medium, konsentrasi pewarna, pH, sumber karbon, oksigen, dan nitrogen menjadi faktor penting yang menunjang proses pertumbuhan bakteri *indigenous* itu sendiri (Deby, 2018). Di lain sisi, masing-masing isolat bakteri mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam hal bertahan hidup dan regenerasi. Terdapat beberapa jenis bakteri yang tidak dapat bertahan hidup dalam kondisi lingkungan ekstrim dan minim nutrisi dan adapula bakteri yang masih mampu bertahan (Leroy *et al*, 2001). Hal inilah yang terjadi pada isolat bakteri NAT4B3 dan NAT2C2 yang masih mampu mereduksi zat warna pada konsentrasi limbah 50%, dimana kemampuan ini tidak dimiliki oleh isolat lainnya.

4.3.3 Persentase dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 75%

Persentase dekolorisasi isolat bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun konsentrasi 75% dapat dilihat pada gambar 19 dibawah ini.



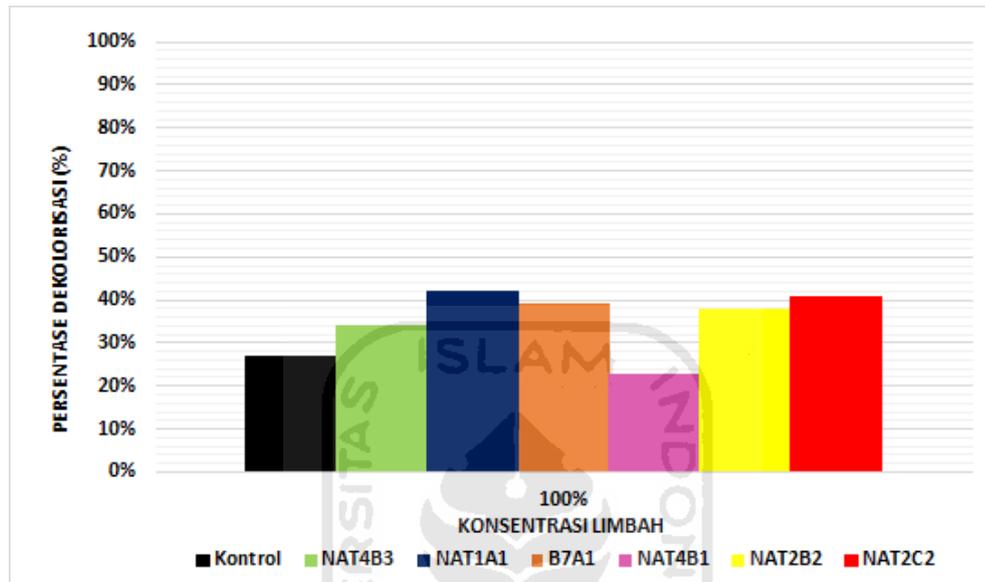
Gambar 19 Diagram Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 75%

Nilai persentase dekolorisasi oleh isolat NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, NAT2C2, dan sampel kontrol berturut-turut adalah 39,44%, 37,86%, 17,25%, 22%, 2,98%, 53,71%, dan 16,46%. Berdasarkan diagram dan data yang diperoleh, maka dapat dilihat bahwa semua isolat bakteri mampu mereduksi zat warna pada limbah tenun konsentrasi 75%. Masing-masing isolat terhitung menunjukkan persentase removal yang baik, kecuali isolat NAT2B2 karena memiliki persentase dekolorisasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel kontrol. Hal ini memiliki beberapa arti, yang pertama adalah reduksi pada sampel kontrol justru lebih baik dibandingkan dengan reduksi oleh isolat NAT2B2. Kemudian yang kedua adalah bahwa kemampuan isolat bakteri NAT2B2 dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun konsentrasi 75% lebih rendah dibandingkan dengan reduksi akibat proses pengendapan yang terjadi pada sampel kontrol. Jika isolat NAT2B2 menunjukkan persentase dekolorisasi yang tidak memuaskan, isolat NAT2C2 justru menunjukkan hal yang sebaliknya. Persentase dekolorisasi oleh isolat NAT2C2 menunjukkan nilai paling tinggi dibandingkan dengan isolat lainnya, yang mana hal ini berarti kemampuan isolat NAT2C2 dalam

mereduksi zat warna pada limbah konsentrasi limbah 75% lebih baik dibandingkan dengan kelima isolat bakteri *indigenus* lainnya.

4.3.4 Persentase dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 100%

Kemampuan bakteri *indigenus* dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun konsentrasi limbah 100% yang disajikan dalam diagram dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 5 Diagram Persentase Dekolorisasi pada Konsentrasi Limbah 100%

Berdasarkan diagram pada gambar 19, dapat dilihat bahwa semua persentase dekolorisasi oleh keenam isolat lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kontrol. Hal ini berarti reduksi zat warna oleh bakteri *indigenus* pada konsentrasi limbah 100% berlangsung dengan baik. Persentase dekolorisasi untuk isolat NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, NAT2C2, dan sampel kontrol berturut-turut adalah 34,02%, 41,75%, 39,18%, 22,42%, 37,89%, 40,46%, dan 26,93%. Pada limbah tenun konsentrasi limbah 100%, terdapat dua isolat bakteri dengan persentase dekolorisasi tertinggi yaitu NAT1A1 dan NAT2C2. Kedua isolat ini telah menunjukkan hasil reduksi yang baik pada konsentrasi-konsentrasi limbah sebelumnya, terutama pada konsentrasi limbah 75%. Hal ini berarti isolat NAT1A1 dan NAT2C2 mempunyai kemampuan yang lebih unggul dibandingkan isolat lain dalam pemanfaatan substrat untuk mendegradasi zat warna dalam limbah tenun. Terdapat pula isolat dengan kemampuan dekolorisasi terendah pada konsentrasi limbah 100% yaitu NAT4B1.

4.4 Pengaruh Variasi Beban Limbah Terhadap Kinerja Bakteri

Variasi beban limbah mempunyai pengaruh tersendiri terhadap kinerja bakteri *indigenus* dalam mereduksi zat warna. Pada penelitian ini, pengaruh tersebut dilihat melalui persentase dekolorisasi bakteri *indigenus* dalam masing-

masing konsentrasi limbah yang menjadi tolak ukur besaran beban limbah. Rincian persentase dekolorisasi oleh isolat NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, NAT2C2, dan sampel kontrol pada konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, dan 100% terdapat pada tabel 7.

Tabel 7 Persentase Dekolorisasi oleh Isolat Bakteri *Indigenus*

Bakteri	Persentase Removal (%)			
	Konsentrasi Limbah			
	25%	50%	75%	100%
NAT4B3	-92,71	10,29	39,44	34,02
NAT1A1	23,32	-2,00	37,86	41,75
B7A1	11,01	-8,14	17,25	39,18
NAT4B1	17,07	-32,72	22,00	22,42
NAT2B2	20,09	-29,65	2,98	37,89
NAT2C2	42,29	10,29	53,71	40,46
Kontrol	8,59	-37,32	16,46	26,93

Jika dilihat dari hasil keseluruhan persentase dekolorisasi oleh bakteri *indigenus* di keempat konsentrasi limbah, dapat dilihat bahwa persentase dekolorisasi pada masing-masing isolat bakteri menunjukkan nilai yang fluktuatif. Yang bisa disamakan dari persentase dekolorisasi keenam isolat dan sampel kontrol adalah terjadinya penurunan kemampuan reduksi pada konsentrasi limbah 50%. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, perbedaan kemampuan antara isolat satu dengan yang lainnya dalam menguraikan zat warna disebabkan oleh adanya perbedaan mekanisme kerja isolat bakteri pada masing-masing lingkungan hidupnya. Hanya terdapat beberapa isolat bakteri yang secara signifikan mampu memanfaatkan substrat untuk mendegradasi senyawa-senyawa spesifik yang ada pada semua jenis limbah (Deby, 2018). Berdasarkan data yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa isolat NAT2C2-lah yang mampu menyesuaikan diri di semua konsentrasi limbah. Pada konsentrasi limbah 25%, isolat NAT2C2 telah menunjukkan persentase dekolorisasi yang cukup baik pada angka 42,29%, kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi limbah 50% di angka 10,29%, kembali naik pada konsentrasi 75% di angka 53,71% dan berakhir turun pada konsentrasi limbah 100% di angka persentase dekolorisasi 40,46%.

Persentase dekolorisasi isolat NAT2C2 menunjukkan bahwa persentase dekolorisasi mengalami penurunan dari konsentrasi limbah 75% ke konsentrasi limbah 100%. Hal ini wajar terjadi karena pada umumnya, beban limbah yang tinggi akan berpengaruh pada menurunnya kemampuan bakteri *indigenus* dalam mereduksi zat warna. Penurunan kemampuan bakteri ini dikarenakan ketersediaan nutrisi yang berguna sebagai media pertumbuhan bakteri pada limbah dengan beban tinggi cenderung sudah tidak tersedia lagi, sehingga terjadi penimbunan hasil metabolisme yang bersifat toksik. Hal inilah yang menyebabkan kecenderungan penurunan jumlah populasi bakteri secara drastis pada konsentrasi limbah tinggi (Purwoko, 2007). Pada konsentrasi limbah yang tinggi, maka konsentrasi zat warna yang terkandung di dalamnya juga relatif tinggi. Menurut Deby (2018), Semakin tinggi konsentrasi zat warna pada suatu limbah, maka efektifitas bakteri untuk menguraikan zat warna juga semakin berkurang. Hal ini dikarenakan semakin

tinggi konsentrasi limbah maka semakin tinggi pula kandungan parameter pencemar terutama akumulasi logam berat di dalamnya. Sedangkan akumulasi logam berat dari zat warna yang terlalu tinggi juga menjadi salah satu faktor penghambat pertumbuhan sel, yang menyebabkan sistem perlindungan bakteri tidak mampu lagi mengurangi efek toksisitas logam pada zat warna. Hal ini disebabkan juga oleh kecenderungan bakteri yang umumnya memiliki mekanisme perlindungan diri terhadap logam berat dengan efek toksik. Mekanisme yang terjadi melibatkan pembentukan logam dengan protein dalam membran sel, sehingga logam berat yang terkandung dalam zat warna khususnya tekstil dapat terakumulasi tanpa mengganggu pertumbuhan bakteri (Hala *et al*, 2010). Pernyataan ini tidak selaras dengan hasil dekolorisasi yang ditunjukkan oleh keenam isolat pada penelitian ini, kacuali penurunan persentase dekolorisasi dari konsentrasi limbah 75% ke konsentrasi limbah 100% yang ditunjukkan oleh isolat NAT4B3 dan NAT2C2. Selebihnya, jika dilihat secara kumulatif dari konsentrasi limbah 25% sampai 100% persentase dekolorisasi yang dihasilkan oleh keenam isolat bakteri *indigenous* menunjukkan kenaikan dan penurunan yang fluktuatif.

Fluktuasi persentase dekolorisasi yang terjadi pada keenam isolat dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, faktor pertama berkaitan dengan aktivitas metabolisme yang kemungkinan besar tidak berlangsung dengan baik. Menurut Hsuesh *et al* (2009), proses dekolorisasi berkaitan erat dengan aktivitas metabolisme bakteri itu sendiri. Zat warna azo pada limbah tenun yang umumnya berperan sebagai sumber karbon, kemungkinan bukan merupakan jenis substrat yang baik untuk aktivitas *azoreductase* pada beberapa isolat, sehingga zat warna azo akan lebih sulit diangkut ke dalam sel bakteri. Gangguan yang terjadi pada proses pengangkutan disebabkan oleh pengaruh gugus fungsi yang dalam stuktur pewarna azo seperti gugus orto, meta dan para yang dapat mempengaruhi kerentanan terhadap proses reduksi warna.

Faktor lain yang dapat menyebabkan persentase dekolorisasi oleh keenam isolat fluktuatif pada masing-masing konsentrasi limbah adalah adanya perbedaan tingkat pertumbuhan bakteri pada setiap konsentrasi limbah. Perbedaan tingkat pertumbuhan ini disebabkan nutrisi yang terkandung pada setiap konsentrasi limbah kemungkinan tidak sama. Keterkaitan kemampuan reduksi dengan nutrisi pada limbah dikarenakan ketahanan dan kesinambungan pertumbuhan bakteri tergantung pada ketersediaan nutrisi yang ada pada medium pertumbuhan bakteri, dimana dalam kasus ini medium tumbuh yang dimaksud adalah limbah tenun itu sendiri (Leroy *et al*, 2001). Namun tingkat pertumbuhan bakteri ini tidak bisa dijadikan sebagai alasan pasti, karena pertumbuhan bakteri tidak selalu berbanding lurus dengan persentase dekolorisasi. Angka pertumbuhan bakteri yang tinggi tidak selalu relevan dengan hasil persentase dekolorisasi yang tinggi pula. Hal ini disebabkan karena setiap bakteri memiliki interval waktu generasi dan kemampuan memanfaatkan zat warna sebagai sumber karbon berbeda-beda. Oleh karena itu, pengolahan limbah dengan memanfaatkan bakteri *indigenous* sebaiknya menggunakan teknik kultur campur. Pemilihan kultur campur lebih baik dibandingkan dengan kultur tunggal mengingat kemampuan bakteri dan jenis zat warna yang terkandung pada limbah tenun juga beragam (Jain *et al*, 2005).

4.5 Performance Dekolorisasi Tertinggi oleh Isolat Bakteri *Indigenous*

Menurut persentase dekolorisasi yang dihasilkan oleh keenam isolat bakteri, dapat dilihat bahwa masing-masing isolat mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam mereduksi zat warna pada setiap konsentrasi limbah. Namun dibalik perbedaan tersebut, terdapat isolat bakteri yang mampu beradaptasi dengan baik di semua konsentrasi limbah sehingga secara konstan mampu mereduksi zat warna yang terkandung di dalam limbah tenun. Dibandingkan dengan kelima isolat lainnya, isolat NAT2C2 terus menunjukkan angka reduksi yang cukup tinggi di semua konsentrasi limbah, baik konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, maupun 100%. Reduksi konsentrasi warna oleh isolat NAT2C2 dapat dilihat melalui persentase dekolorisasi yang dihasilkan, persentase dekolorisasi pada konsentrasi limbah 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut adalah 42,29%, 10,29%, 53,71%, dan 40,46%. Dari angka tersebut, isolat NAT2C2 menjadi isolat yang mempunyai kemampuan mereduksi zat warna paling tinggi dengan persentase removal mencapai 53,71%. Hal ini menunjukkan bahwa isolat NAT2C2 mempunyai kemampuan dan potensi yang lebih unggul dibandingkan dengan isolat lainnya, baik dalam hal adaptasi, perlindungan diri dari efek toksik, maupun dalam hal pemanfaatan substrat yang ada pada keempat konsentrasi limbah.

Persentase dekolorisasi tertinggi oleh isolat NAT2C2 yang mencapai angka 53,71% cukup menunjukkan pengaruh bakteri *indigenous* dalam penurunan zat warna pada limbah tenun. Hal ini dikarenakan, angka dekolorisasi yang dihasilkan dengan waktu pengujian 168 jam menunjukkan keselarasan dengan hasil dekolorisasi pada penelitian sebelumnya dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 8 Pebandingan Hasil Persentase Dekolorisasi

Hasil Penelitian	Persentase Dekolorisasi (%)	Waktu (Jam)	Jenis Kultur
Chen <i>et al</i> , 2009	20	45	Tunggal
Chen <i>et al</i> , 2009	70 – 80	45	Campur
Agil <i>et al</i> , 2016	88,39	96	Campur
Buthlezi <i>et al</i> , 2012	97,04	72	Campur
Chen <i>et al</i> , 2011	50	168	Tunggal
Jain <i>et al</i> , 2012	70	48	Campur

Dari beberapa hasil penelitian yang terlampir pada tabel 7, dapat dilihat bahwa hasil persentase dekolorisasi terjadi pada penelitian dengan jenis kultur bakteri campur. Dalam penelitian Chen *et al*, 2009, disimpulkan juga bahwa kemampuan kultur campur bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna pada limbah lebih signifikan dibandingkan dengan isolat tunggal. Hal ini dikarenakan interaksi gabungan antar kultur campur membentuk reaksi yang mempunyai peranan penting dalam memaksimalkan kinerja bakteri untuk mereduksi zat warna.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Keenam isolat bakteri *indigenous* NAT4B3, NAT1A1, B7A1, NAT4B1, NAT2B2, dan NAT2C2 yang berasal dari tanah terkontaminasi limbah tenun Troso dari area persawahan dan saluran irigasi di sekitar Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam mereduksi zat warna.
2. Efektivitas bakteri dilihat dari nilai persentase dekolorisasi masing-masing isolat. Persentase dekolorisasi tertinggi oleh isolat bakteri NAT4B3 terjadi pada konsentrasi limbah 75% dengan nilai 39,44%, isolat bakteri NAT1A1 terjadi pada konsentrasi limbah 75% dengan nilai 37,86%, isolat bakteri B7A1 terjadi pada konsentrasi limbah 100% dengan nilai 38,19%, isolat bakteri NAT4B1 terjadi pada konsentrasi limbah 100% dengan nilai 22,42%, isolat bakteri NAT2B2 terjadi pada konsentrasi limbah 100% dengan nilai 37,89%, dan isolat bakteri NAT2C2 terjadi pada konsentrasi limbah 75% dengan nilai 53,71%.
3. Isolat NAT2C2 menunjukkan hasil dekolorisasi terbaik pada keempat konsentrasi limbah tenun dibandingkan dengan isolat bakteri lainnya. Persentase dekolorisasi maksimum berlangsung pada konsentrasi limbah 75% dengan angka 53,71%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi bakteri *indigenous* untuk mengetahui jenis dan karakteristik bakteri secara spesifik.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kemampuan bakteri *indigenous* dalam mereduksi zat warna yang disertai dengan pengukuran pertumbuhan isolat bakteri untuk mengetahui keterkaitan antar keduanya. Mengingat aktivitas pertumbuhan bakteri merupakan faktor penting yang mempengaruhi proses dekolorisasi pada limbah.
3. Perlu dilakukan analisis statistik menggunakan uji analisis varians (ANOVA) untuk mengetahui isolat bakteri yang paling dominan dalam mereduksi zat warna pada limbah tenun.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 6989.80. *Air dan Air Limbah – Bagian 80 : Cara Uji Warna Secara Spektrometri*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Aditiwati, P., dan Kusnadi. 2003. Kultur Campuran dan Faktor Lingkungan Mikroorganisme yang Berperan dalam Fermentasi Tea-Cider, *PROC. ITB Sains dan Teknologi*. 35(2): 147-162.
- Agus, S. 2011. Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Nanas oleh Bakteri Indigen. *Jurnal El-Hayah*. 1(4): 151 – 156.
- Agus, U. N., F. Putut Martin H.B., dan Ibnul M. 2016. Toksisitas Letal Akut Limbah Tenun Troso Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio* L.). *Unnes Jurnal of Life Science*. 5(1): 2.
- Aksu, Z. dan G. Donmez. 2003. A Comparative Study on the Biosorption Characteristics of Some Yeasts for Remazol Blue Reactive Dye. *Chmosphere*. 50: 1075 -1083.
- Alamsyah, S. Indrathi, dan Siti M. 2014. *Kearifan Lokal pada Industri Tenun Troso : Potret Kewirausahaan pada Masyarakat Desa*. Semarang : CV. Madina.
- Awaluddin, R., Darah S., Ibrahim C. D., dan Uyub A. M. 2001. *Decolorization of Commercially Available Synthetic Dyes by The White Rot Fungus Phanerochaete chrysosporium ME 446 (ATCC 34541)*. Proc. NSF workshop. Kuala Lumpur.
- Buthelezi, S. P., Olaniran, A. O., & Pillay, B. 2012. Textile dye removal from wastewater effluents using biofloculants produced by indigenous bacterial isolates. *Molecules*. 17(12): 14260-14274.
- Chen, B. Y., Chen, W. M., Kuo, H. Y., dan Hsueh, C. C. 2009. Comparative assessment upon dye removal capability of indigenous bacterial strains from Lanyang Plain in northeast Taiwan. *Journal of hazardous materials*. 161(1): 526-533.
- Chen, B. Y., Hsueh, C. C., dan Chen, W. M. 2011. Exploring decolorization and halotolerance characteristics by indigenous acclimatized bacteria: Chemical structure of azo dyes and dose–response assessment. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 42(5): 816-825.
- Deby, E. H. 2018. Dekolorisasi Pewarna Tekstil Sintetis Azo oleh Bakteri Halotoleran dan Identifikasi Menggunakan 16S rRNA [skripsi]. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- Gurulaksmi, M., D. N. P. Sudar Mani, dan R. Venba. 2008. *Biodegradation of Leather Acid dye by Bacillus subtilis. Advanced Biotechnology*. 7: 12 – 18.
- Hala, Y., P. Taba dan M. Manami. 2010. Fitosorpsi Bilogam Cd (II) dan Cu (II) oleh *Chaetoceros calcitrans* dalam Media Concy. *Marina Cimica Acta*. 11(1): 30 - 35.
- Hames, D., dan Hooper, N. 2005. *Biochemistry*. New York : Taylor and Francis Group
- Hasminar, R. F. dan Endang S. 2017. Potensi Bakteri Indigen dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara In Vitro. *Jurnal Bioeksperimen*. 5(1): 1.
- Hidayat dan M. Fikri. 2014. *Penurunan Kandungan Zat Warna pada Limbah Songket Menggunakan Membran Komposit Berbasis Kitosan-PVA Ultrafiltrasi. Laporan Akhir*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Tidak diterbitkan.
- Hsueh, C. C., Chen, hefni B.Y., dan Yen, C.Y., 2009. Understanding Effects of Chemical Stucture on Azo Dye Decolorization Characteristics by *Aeromonas hydrophilia*. *J Hazard Materials*. 167: 995 – 1001.
- Irianto, K. 2012. *Mikrobiologi Menguak Dunia Mikroorganisme Jilid 1*. Bandung : Yurma Widya.
- Jackie, R. 2011. *Bacterial Colony Morphology*. Texas : Richland College.
- Jain, K., Shah, V., Chapla, D., dan Madamwar, D. 2012. Decolorization and degradation of azo dye–Reactive Violet 5R by an acclimatized indigenous bacterial mixed cultures-SB4 isolated from anthropogenic dye contaminated soil. *Journal of hazardous materials*. 213: 378-386.
- Jain, R.K., Kapur, M., Labana, S., Lal, B., Sarma, P.M., Bhattacharya, D., Thakur, I.S., 2005. Microbial Diversity: Application of Microorganisms for The Biodegradation of Xenobiotics. *Current Science*. 89: 101-112.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No P.16 Tahun 2019 Trntsng Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Leroy, F., L. dan Vuyst. 2001. Growth of the Bacteriocin-Producing *Lactobacillus sakei* Strain CTC 494 in MRS Broth Is Strongly Reduced Due to Nutrient Exhaustion: a Nutrient Depletion Model for the Growth of Lactic Acid Bacteria. *Applied and Environmental*.
- M. Agil dan Endang S. 2016. *Dekolorisasi Pewarna Indigosol oleh Bakteri Tanah. Symposium on Biology Education*. Yogyakarta : Universitas Ahmad Dahlan.

- M. Arief, Laksmi, S., Prayogo, dan Herlina, M.S. 2010. Isolasi Bakteri Indigen Sebagai Pendegradasi Bahan Organik pada Pembenihan Ikan Lele Dumbo (*Clarias sp.*) Sistem Resirkulasi Tertutup. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 2 (2).
- M. Asrori, Zaenal A., dan Noor S. 2016. ibPE pada Industri Tenun Troso, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Terapan Riset Inovatif*.
- Machmud, M. 2001. Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba. Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan Bogor. *Agrobio*. 4(10): 24–32.
- Marimuthu, T., Rajendran S., dan Manivannan M. 2013. A Review on Bacterial Degradation of Textile Dyes. *Journal of Chemistry and Chemical Science*. 3: 201–212.
- Martani, E., N. Haedar, dan S. Margino. 2003. Dekolorisasi Lindi Hitam dan Degradasi Lignin oleh Bakteri *Micrococcus sp.* SPH-9 serta *Bacillus sp.* SPH-10. *Jurnal Biologi*. 3: 81-93.
- Munawar, Estuningsih, S.P., Yudono, Said, M. 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.
- Octavia, B. 2010. *Kajian Kekayaan Bakteri Indigenous Indonesia untuk Bioremediasi Limbah*. Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Padmesh, T. V. N., Vijayaraghavan, K., Sekaran, G., dan Velan, M. 2005. Batch and Column Studies on Biosorption of Acid Dyes on Fresh Water Macro Alga *Azola filiculoides*. *Journal of Hazardous Materials*. B125: 121-129.
- Pamurni, M. 1996. Pengujian Kestabilan Zat Warna Naftol Pada Kain Katun dengan Studi Spektroskopi UV/VIS dan IR [Skripsi]. Semarang : Universitas Diponegoro.
- 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.
- Purwoko, Tjahjadi. 2007. *Fisiologi Mikroba*. Jakarta : Bumi Aksara.
- Radji, M. 2011. *Buku Ajar Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran*. Jakarta : Buku Kedokteran EGC.
- Rahmacdanran, P. Ganesan., dan S. Hariharan. 2010. Decolorization of Textile Effluent-An Overview. *Journal of the Institution of Engineers*. 90: 20–25.

- Ratna dan Padhi, B. S. 2012. Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences*. 3: 940-955.
- Rohyani, Delita, Z., dan Bernadeta, L. F. 2014. Isolasi Bakteri Indigenus yang Potensial Sebagai Agen Biofertilizer Asal Tanah Gambut di Kawasan Zamrud dan Taman Nasional Teso Nilo Riau. *Jurnal JOM FMIPA*. 1(2).
- Rumsari, Y., Rumsari, Y., Suyana, S., Martono, B., & Martono, B. 2019. Efektivitas Penggunaan Satu dan Dua Tabung Ultraviolet Terhadap Penurunan Angka Kuman Udara di Laboratorium Bakteriologi Jurusan Analisis Kesehatann Poltekkes Kemenkes Yogyakarta [Disertasi]. Yogyakarta : Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.
- Sa'adah, N. N. 2019. Pengolahan Limbah Cair Tenun dengan Sistem Floating Treatment Wetland Menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri Endofit [Skripsi]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Sandhya, S. 2010. Biodegradation of Azo Dyes Under Anaerobic Condition : Role of Azoreductase. *National Environmental Engineering Research Institute*. 9: 39-57.
- Shehzadi, M., Afzal, M., Khan, M. U., Islam, E., Mobin, A., Anwar, S., dan Khan, Q. M. 2014. Enhanced degradation of textile effluent in constructed wetland system using *Typha domingensis* and textile effluent-degrading endophytic bacteria. *Water research*. 58: 152-159.
- Singleton, P. dan D. Sainsbury. 2006. *Dictionary of Microbiology and Molecular Biology 3rd Edition*. England : John Wiley and Sons. Ltd.
- Siswanto, Suharyanto, dan R. Fitria. 2007. *Produksi dan Karakteristik Lakase *Omphilina* sp.* Menara Perkebunan. 75:107-110.
- Syafrudin, L., Indah, R, dan Yuniar, M. 2012. Identifikasi Bakteri *Indigenous* Pereduksi Logam Berat Cr(VI) dengan Metode Molekuler di Sungai Cikijing Rancaekek, Jawa Barat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3(4): 81-92.
- Tan, N. C. G. dan Field, J. A. 2001. Biodegradation of Sulphonated aromatic compounds. In : Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution. *Principles and engineering, Lens P. and Hulshoff pol. L.* IWA publishing, London : 377-392.
- Tim Mikrobiologi FK UnBraw. 2003. *Bakterologi Medik*. Malang : Banyumedia Publishing.
- Waluyo, L. 2007. *Mikrobiologi Umum*. Malang : Universitas Muhamadiyah Malang Press.

- Wardiyati, S., Dewi, S. H., dan Fisli, A. 2018. Dekolorisasi Limbah Industri Batik Menggunakan Proses Fenton dan Fotofenton. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 14(2): 131-135.
- Wasiyanto. 2004. Pengendalian Pencemaran Lingkungan Hidup pada Industri Tenun Ikat di Desa Troso Kecamatan Pecangaan Kabupaten Jepara [Tesis]. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Wigyanto, N. Hidayat, dan Alfia A,. 2009. Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan Serta Perencanaan Unit Pengolahannya (Kajian Pengaturan Kecepatan Aerasi Dan Waktu Inkubasi). *Jurnal Teknologi Pertanian*. 10(2): 123-135.
- Yani, M dan Akbar, Y. 2003. Proses Biodegradasi Minyak Diesel oleh Campuran Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Bogor: IPB.
- Yazid, M. 2014. Peranan Isolat Bakteri indigenous Sebagai Agen Bioremediasi Perairan Yang Terkontaminasi Uranium. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*. 17(1).
- Yulita I. M. 2016. Kajian Bakteri Pendegradasi Naftol dari Limbah Industri Tenun Ikat Kupang dan Kemampuannya dalam Dekolorisasi Pewarna Tekstil [Tesis]. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

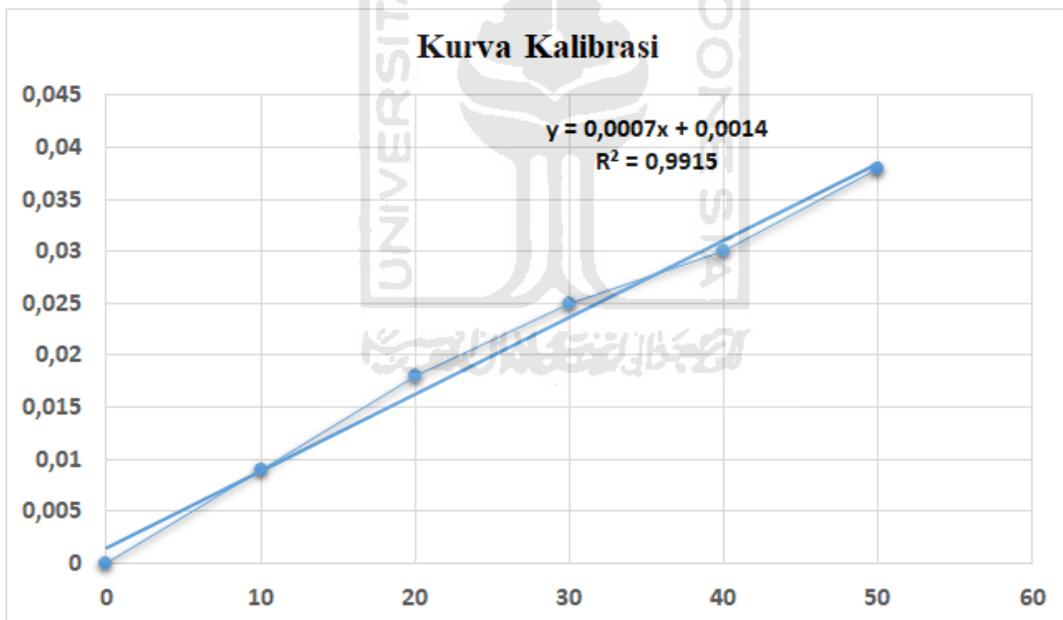


LAMPIRAN

Lampiran 1 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Warna

Data Absorbansi Larutan Standar

Standar	Warna (Unit Pt.Co) (X)	Absorbansi (Y)	XY	X ²
Standar 1	0	0	0	0
Standar 2	10	0,009	0,09	100
Standar 3	20	0,018	0,36	400
Standar 4	30	0,025	0,75	900
Standar 5	40	0,03	1,2	1600
Standar 6	50	0,038	1,9	2500
Total	150	0,12	4,3	5500



Lampiran 2 Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 25%

No	Bakteri	Waktu (Jam)	Abs1	Abs2	C (mg/l)	fp	Warna (Pt-Co)
1	NAT4B3	24	0,035	0,034	47,29	5	236,43
		72	0,02	0,021	27,29	5	136,43
		168	0,021	0,02	27,29	5	136,43
2	NAT1A1	24	0,017	0,017	22,29	5	111,43
		72	0,012	0,012	15,14	5	75,71
		168	0,009	0,009	10,86	5	54,29
3	B7A1	24	0,049	0,052	70,14	1	70,14
		72	0,044	0,043	60,14	1	60,14
		168	0,045	0,046	63,00	1	63,00
4	NAT4B1	24	0,055	0,055	76,57	1	76,57
		72	0,046	0,046	63,71	1	63,71
		168	0,042	0,043	58,71	1	58,71
5	NAT2B2	24	0,054	0,054	75,14	1	75,14
		72	0,042	0,042	58,00	1	58,00
		168	0,041	0,041	56,57	1	56,57
6	NAT2C2	24	0,05	0,051	70,14	1	70,14
		72	0,006	0,006	6,57	5	32,86
		168	0,03	0,03	40,86	1	40,86

Warna, unit Pt – Co = $C \times fp$

C = nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt – Co

fp = faktor pengenceran

Lampiran 3 Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 50%

No	Bakteri	Waktu (Jam)	Abs1	Abs2	C (mg/l)	fp	Warna (Pt-Co)
1	NAT4B3	24	0,015	0,015	19,43	10	194,29
		72	0,025	0,025	33,71	5	168,57
		168	0,016	0,016	20,86	5	104,29
2	NAT1A1	24	0,032	0,032	43,71	5	218,57
		72	0,023	0,023	30,86	5	154,29
		168	0,018	0,018	23,71	5	118,57
3	B7A1	24	0,036	0,029	44,43	5	222,14
		72	0,015	0,012	17,29	5	86,43
		168	0,019	0,019	25,14	5	125,71
4	NAT4B1	24	0,04	0,039	54,43	5	272,14
		72	0,018	0,018	23,71	5	118,57
		168	0,023	0,023	30,86	5	154,29
5	NAT2B2	24	0,049	0,048	67,29	5	336,43
		72	0,013	0,013	16,57	5	82,86
		168	0,022	0,023	30,14	5	150,71
6	NAT2C2	24	0,053	0,053	73,71	5	368,57
		72	0,018	0,018	23,71	10	237,14
		168	0,016	0,016	20,86	5	104,29

Warna, unit Pt – Co = $C \times fp$

C = nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt – Co

fp = faktor pengenceran

Lampiran 4 Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 75%

No	Bakteri	Waktu (Jam)	Abs1	Abs2	C (mg/l)	fp	Warna (Pt-Co)
1	NAT4B3	24	0,025	0,025	33,71	20	674,29
		72	0,027	0,026	35,86	10	358,57
		168	0,02	0,021	27,29	5	136,43
2	NAT1A1	24	0,027	0,025	35,14	20	702,86
		72	0,023	0,023	30,86	10	308,57
		168	0,021	0,021	28,00	5	140,00
3	B7A1	24	0,047	0,034	55,86	10	558,57
		72	0,04	0,04	55,14	5	275,71
		168	0,027	0,028	37,29	5	186,43
4	NAT4B1	24	0,076	0,076	106,57	10	1065,71
		72	0,036	0,036	49,43	5	247,14
		168	0,026	0,026	35,14	5	175,71
5	NAT2B2	24	0,071	0,071	99,43	10	994,29
		72	0,033	0,032	44,43	5	222,14
		168	0,033	0,033	45,14	5	225,71
6	NAT2C2	24	0,025	0,025	33,71	20	674,29
		72	0,016	0,016	20,86	20	417,14
		168	0,016	0,016	20,86	5	104,29

Warna, unit Pt – Co = $C \times fp$

C = nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt – Co

fp = faktor pengenceran

Lampiran 5 Hasil Perhitungan Warna pada Konsentrasi Limbah 100%

No	Bakteri	Waktu (Jam)	Abs1	Abs2	C (mg/l)	fp	Warna (Pt-Co)
1	NAT4B3	24	0,014	0,013	17,29	20	345,71
		72	0,022	0,023	30,14	10	301,43
		168	0,027	0,027	36,57	5	182,86
2	NAT1A1	24	0,024	0,024	32,29	10	322,86
		72	0,024	0,023	31,57	10	315,71
		168	0,024	0,024	32,29	5	161,43
3	B7A1	24	0,059	0,052	77,29	10	772,86
		72	0,036	0,036	49,43	5	247,14
		168	0,025	0,025	33,71	5	168,57
4	NAT4B1	24	0,068	0,069	95,86	10	958,57
		72	0,044	0,044	60,86	5	304,29
		168	0,032	0,031	43,00	5	215,00
5	NAT2B2	24	0,057	0,057	79,43	10	794,29
		72	0,033	0,033	45,14	5	225,71
		168	0,025	0,026	34,43	5	172,14
6	NAT2C2	24	0,065	0,064	90,14	10	901,43
		72	0,01	0,01	12,29	20	245,71
		168	0,024	0,025	33,00	5	165,00

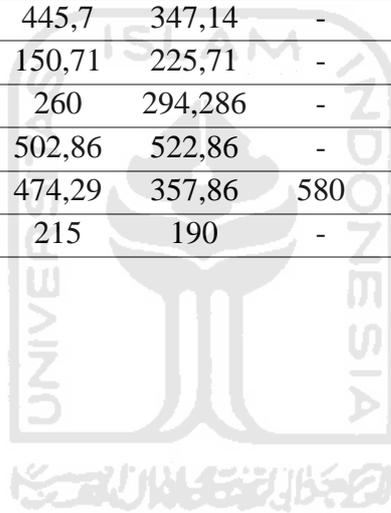
Warna, unit Pt – Co = $C \times fp$

C = nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt – Co

fp = faktor pengenceran

Lampiran 6 Hasil Perhitungan Konsentrasi Warna Sampel Kontrol

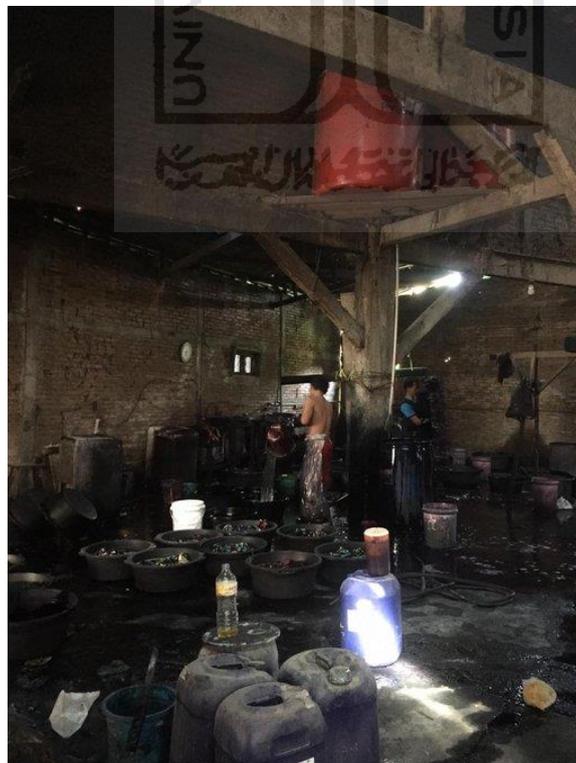
Konsentrasi Limbah	Waktu (Jam)	Warna (Pt-Co)			Rata-rata (Pt-Co)
		1	2	3	
25%	0	61,43	56,667	94,29	70,80
	24	93,57	60,86	-	77,22
	72	90	65,14	40	65,05
	168	54,29	75,14	48,65	64,72
50%	0	122,857	109,645	-	116,25
	24	301,43	354,29	-	327,86
	72	115	197,14	465,71	259,28
	168	150,71	168,57	-	159,64
75%	0	231,43	219,14	-	225,29
	24	517,14	1388,57	-	952,86
	72	445,7	347,14	-	396,42
	168	150,71	225,71	-	188,21
100%	0	260	294,286	-	277,14
	24	502,86	522,86	-	512,86
	72	474,29	357,86	580	470,72
	168	215	190	-	202,50



Lampiran 7 Dokumentasi Sampling



Lokasi Industri Rumahan Tenun Troso



Proses Pewarnaan Tenun Ikat Troso

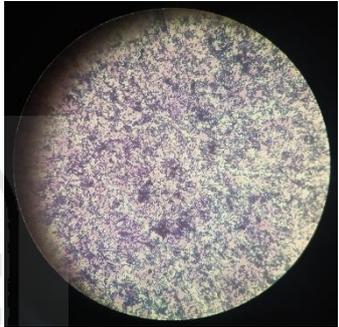
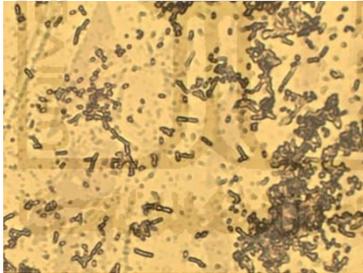
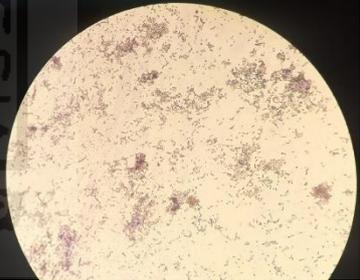
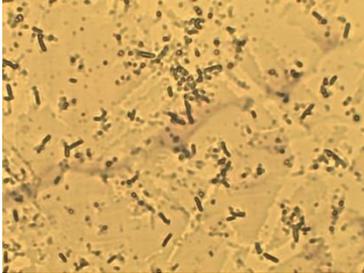


Proses Sampling Limbah Tenun Troso



Kondisi Sungai di Kawasan Desa Troso

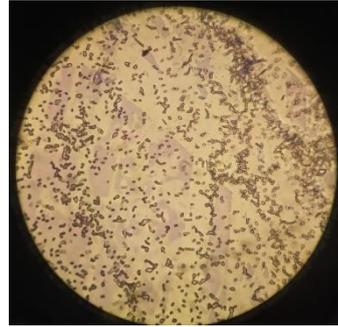
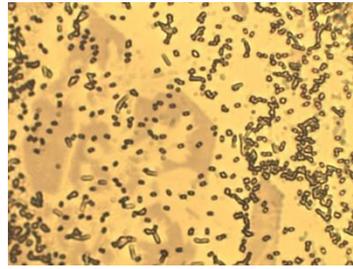
Lampiran 8 Gambar Pengecekan Sifat Gram Bakteri

No.	Isolat Bakteri	Gambar	
1.	NAT2C2		
2.	NAT2B2		
3.	NAT4B3		
4.	NAT4B1		

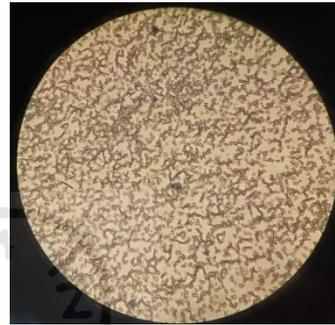
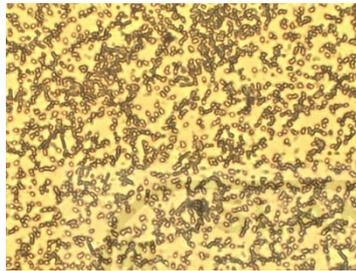
No. Isolat Bakteri

Gambar

5. NAT1A1



6. B7A1



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Batang, Jawa Tengah pada tanggal 29 Juni 1998 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan suami istri Abdul Kholiq dan Maemunah. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis yaitu Madrasah Ibtidaiyah Salafiyaah Gapuro, Batang (2004-2010). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 14 Pekalongan (2010-2013) dan SMA Negeri 3 Pekalongan (2013-2016). Pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulis tergabung dalam Excellent Community UII sebagai penerima beasiswa BidikMisi yang membiayai penuh pendidikan sampai tamat S1. Selama masa perkuliahan Penulis aktif dalam beberapa organisasi dan komunitas di wilayah Yogyakarta. Organisasi yang diikuti pengurus diantaranya adalah Koperasi Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (2017-2018) dan Himpunan Mahasiswa Bidikmisi UII (2018-2019). Sedangkan aktivitas yang diikuti penulis di luar kegiatan kuliah diantaranya adalah menjadi relawan Yogyakarta Mengajar (2017-2018) dan menjadi anggota komunitas Yogyakarta Berkebun (2018-2019). Adapun beberapa pelatihan yang diikuti penulis pada saat masa perkuliahan, diantaranya adalah *Training program Life Cycle Assesment (Environmental Planning and Assessment)* pada Desember 2018 dan *Training program ISO 5001 (Energy Manganement System)* pada Desember 2017. Selain itu penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium untuk praktikum Teknik Lingkungan 1 (Maret-Juli 2019).

Pada bulan Januari hingga februari, penulis melakukan kerja praktik di PT. Semarang Herbal Indo Plant – Sidomuncul, Semarang dengan topik analiss pengelolaan limbah. Sedangkan untuk menyelesaikan pendidikan strata 1 di Jurusan Teknik Lingkungan, penulis melaksanakan penelitian dengan judul “Efektivitas *Bakteri Indigenous* dalam Mereduksi Zat Warna pada Limbah Tenun”.