

TA/TL/2019/[nomor admin]*

TUGAS AKHIR

**IDENTIFIKASI BAKTERI DARI TANAH DAN AKAR
TANAMAN *VETIVERIA ZIZANIOIDES* UNTUK
MENURUNKAN KADAR LOGAM LIMBAH TENUN**

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



**LUTHFIA AISYAH
17513162**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

TUGAS AKHIR

**IDENTIFIKASI BAKTERI DARI TANAH DAN AKAR
TANAMAN *VETIVERIA ZIZANIOIDES* UNTUK
MENURUNKAN KADAR LOGAM LIMBAH TENUN**

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



**LUTHFIA AISYAH
17513162**

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

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

NIK. 165131306

Tanggal:

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

NIK. 185130401

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

NIK. 025100406

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN*

**IDENTIFIKASI BAKTERI DARI TANAH DAN AKAR
TANAMAN *VETIVERIA ZIZANIOIDES* UNTUK
MENURUNKAN KADAR LOGAM LIMBAH TENUN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : ...
Tanggal : ...

Disusun Oleh:

LUTHFIA AISYAH
17513162

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.

()

*Halaman ini dibuat apabila sudah selesai pendadaran

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 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,

Materai dan
tandatangan

Luthfia Aisyah

17513162

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Maret 2021 ini ialah **Identifikasi Bakteri dari Tanah dan Akar Tanaman *Vetiveria Zizanioides* untuk Menurunkan Kadar Logam Limbah Tenun.**

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan dukungan, semangat, dorongan, serta bimbingan dari berbagai pihak yang terlibat sehingga penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu menjadi tempat berserah diri dan meminta pertolongan sehingga penulis dimudahkan segala urusannya.
2. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan semangat, dukungan baik moral maupun moril, kasih sayang, serta doa sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi.
3. Ayuk Soraya Faranisya dan Ayuk Annisa Karimah selaku saudara kandung penulis yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan semangat, menghibur, dan membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi serta selalu menemani penulis dalam kondisi suka maupun duka.
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing I, Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing II, dan Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech, Ph.D. selaku *reviewers* dan penguji sidang skripsi yang telah memberikan banyak bimbingan dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu penulis saat menghadapi kesulitan dalam menjalani proses perkuliahan dan memberikan masukan serta saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
7. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu

Yogyakarta, 15 Oktober 2021

Luthfia Aisyah



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

LUTHFIA AISYAH. Identifikasi Bakteri dari Tanah dan Akar Tanaman . *Vetiveria zizanioides* Untuk Menurunkan Kadar Logam Limbah Tenun. Dibimbing oleh Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Salah satu industri tenun di Jepara menghasilkan buangan limbah yang dapat mencemari lingkungan terutama pada air di sekitar industri tenun. Namun, proses produksi kain tenun belum dilengkapi dengan pengolahan air limbah sehingga dapat mencemari lingkungan dan bersifat toksik bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri dengan menggunakan *Floating Treatment Wetland* untuk mendegradasi kandungan logam yang terdapat dalam limbah tenun di Jepara. Sembilan belas isolat bakteri terpilih yang digunakan untuk proses *running* reaktor yang berasal dari tanah tercemar limbah tenun dan akar tanaman *Vetiveria zizanioides*. Limbah dari proses pewarnaan tenun mengandung logam antara lain seperti : Tembaga (Cu), Kromium (Cr), dan Timbal (Pb). Bakteri terpilih akan digunakan untuk mereduksi kadar logam pada air limbah tenun mulai dari hari ke-0 dan hari ke-25. Efisiensi *removal* menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dikombinasikan dengan bakteri *endofit* dan *indigenous* mampu mereduksi logam Cr sebesar 22,64% – 100%, logam Cu sebesar 22,64 – 94,34% dan logam Pb sebesar 31,78 – 100%.

Kata kunci: Bakteri, *Floating Treatment Wetland*, Limbah Tenun, Logam , *Vetiveria zizanioides*

ABSTRACT

LUTHFIA AISYAH. *Identification of Bacteria From Soil and Plant Roots. Vetiveria zizanioides to Lower Metal Levels of Woven Waste. Guided by Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. and Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.*

One of the weaving industries in Jepara produces waste that can pollute the environment, especially in the water around the weaving industry. However, the production process of woven fabric has not been equipped with wastewater treatment so that it can pollute the environment and is toxic to the environment. The study aims to determine the ability of Vetiveria zizanioides and bacteria plants by using Floating Treatment Wetland to degrade the metal content contained in woven waste in Jepara. Nineteen selected bacterial isolates were used for the reactor running process derived from soil contaminated with woven waste and plant roots Vetiveria zizanioides. Waste from the weaving staining process contains metals such as: Copper (Cu), Chromium (Cr), and Lead (Pb). Selected bacteria will be used to reduce the metal content in woven wastewater starting from day 0 and day 25. Removal efficiency using vetiveria zizanioides plants combined with endophyte and indigenous bacteria is able to reduce Cr metal by 22.64% – 100%, Cu metal by 22.64 – 94.34% and Pb metal by 31.78 – 100%.

Keywords: Bacteria, Floating Treatment Wetland, Woven Waste, Metal, Vetiveria zizanioides.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Asumsi Penelitian	2
1.6 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Tenun	4
2.2 <i>Floating Treatment Wetland (FTW)</i>	4
2.3 Bioremediasi	5
2.4 Bakteri <i>Endofit</i>	5
2.5 Bakteri <i>Indigenous</i>	6
2.6 Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i>	6
2.7 Logam Berat	7
2.8 Studi Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Isolasi Bakteri	14
3.4 Identifikasi Bakteri	18
3.5 <i>Floating Treatment Wetland (FTW)</i>	21
3.6 Pengujian dan Analisa Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Identifikasi Bakteri	26
4.2 Konsentrasi Logam pada Air Limbah Tenun	35

4.3	Persentase <i>Removal</i> Konsentrasi Logam pada Air Limbah Tenun	43
4.4	Pertumbuhan Morfologi Tanaman	51
4.5	Pengaruh <i>Vetiveria zizanioides</i> dan Bakteri Terhadap Konsentrasi dan Penurunan Logam	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		67
RIWAYAT HIDUP		76





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Komposisi Reaktor	23
Tabel 3.2 Standar Uji Parameter Air Limbah	24
Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah yang Berlaku	25
Tabel 4.1 Identifikasi Bakteri <i>Endofit</i>	27
Tabel 4.2 Identifikasi Bakteri <i>Indigenous</i>	29
Tabel 4.3 Identifikasi Pewarnaan Gram Bakteri <i>Endofit</i>	31
Tabel 4.4 Identifikasi Pewarnaan Gram Bakteri <i>Indigenous</i>	33





DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3.2 Tahapan Ekstraksi Tanah Tercemar Limbah Tenun	14
Gambar 3.3 Tahapan Isolasi Tanah Tercemar Limbah Tenun	15
Gambar 3.4 Tahapan Isolasi Akar <i>Vetiveria zizanioides</i>	16
Gambar 3.5 Tahapan Homogenisasi Akar <i>Vetiveria zizanioides</i>	17
Gambar 3.6 Tahapan Pemurnian Bakteri	18
Gambar 3.7 Tahapan Pewarnaan Gram	19
Gambar 3.8 Tahapan Kultur Bakteri	20
Gambar 3.9 Tahapan Aklimatisasi <i>Vetiveria zizanioides</i>	21
Gambar 3.10 Desain Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> Menggunakan FTW	21
Gambar 3.11 Aklimatisasi Tanaman Hari Pertama	22
Gambar 3.12 Aklimatisasi Tanaman Hari Terakhir	22
Gambar 3.13 Tahapan Destruksi Air Limbah	24
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Logam Cr pada Bakteri <i>Endofit</i>	36
Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Logam Cr pada Bakteri <i>Indigenous</i>	37
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Logam Cu pada Bakteri <i>Endofit</i>	38
Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Logam Cu pada Bakteri <i>Indigenous</i>	39
Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi Logam Pb pada Bakteri <i>Endofit</i>	41
Gambar 4.6 Grafik Konsentrasi Logam Pb pada Bakteri <i>Indigenous</i>	42
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Cr pada Bakteri <i>Endofit</i>	43
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Cr pada Bakteri <i>Indigenous</i>	45
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Cu pada Bakteri <i>Endofit</i>	46
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Cu pada Bakteri <i>Indigenous</i>	48
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Pb pada Bakteri <i>Endofit</i>	49
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Logam Pb pada Bakteri <i>Indigenous</i>	50
Gambar 4.13 Grafik Rata-Rata Pertumbuhan Tanaman	52
Gambar 4.14 Kondisi Daun Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> pada Hari ke-0	53
Gambar 4.15 Kondisi Daun Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> pada Hari ke-28	53



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Panjang Akar Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> pada Hari ke-0	67
Lampiran 2 Panjang Akar Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> pada Hari ke-28	68
Lampiran 3 Hasil OD (<i>Optical Density</i>) Bakteri <i>Endofit</i>	69
Lampiran 4 Hasil OD (<i>Optical Density</i>) Bakteri <i>Indigenous</i>	69
Lampiran 5 Hasil Konsentrasi Logam	70
Lampiran 6 Hasil Efisiensi <i>Removal</i> Logam	70
Lampiran 7 Hasil <i>Streak</i> 4 Kuadran	71
Lampiran 8 Desain Reaktor Limbah	72
Lampiran 9 Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i>	73
Lampiran 10 Proses Detruksi Air Limbah	73
Lampiran 11 Proses Penyaringan Air Limbah	73
Lampiran 12 Instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	74



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil di Indonesia dari berbagai kategori mulai dari skala besar, menengah, kecil, dan rumah tangga seperti pewarnaan dan pencelupan kain sehingga menyebabkan pencemaran pada lingkungan (Melani et al., 2017). Semakin besarnya industri tekstil di Indonesia menyebabkan meningkatnya masalah pencemaran lingkungan karena mayoritas industri tekstil tidak memiliki tempat pengolahan serta pembuangan limbah secara pribadi (Mathur et al., 2006). Limbah industri tekstil memiliki kandungan pencemar organik dan anorganik yang tinggi serta logam berat dan intensitas warna sangat rentan mencemari lingkungan (Nugroho & Mahmud, 2018).

Air limbah hasil produksi kain mengandung pencemar karena banyak senyawa kimia seperti pewarna, deterjen, pigmen, garam, logam berat, sulfat, klorida, minyak, lemak, dll (Hussain et al., 2018a). Ketika limbah cair tekstil dibuang ke lingkungan, logam berat seperti Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn dalam garam ionik langsung diserap oleh biota laut dan air tawar atau tergabung dalam air tanah pada kedua kasus tersebut yaitu air tanah yang tercemar dan makanan laut yang dikonsumsi secara luas oleh manusia dapat menyebabkan penyakit seperti kanker, tumor, penyakit otak, penyakit kejiwaan, dll (Imtiazuddin, 2012).

Salah satu pengolahan limbah cair tekstil dengan menggunakan pengolahan biologis dengan memanfaatkan tanaman dan mikroorganisme yang dapat mengurai senyawa berbahaya dalam air limbah dengan menggunakan bakteri *endofit* dari akar tanaman. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa bakteri *endofit*, terdapat pada kolonisasi *rhizosfer* tanah, terdeteksi di dalam *endoriza*, di batang, daun, serta di dalam organ reproduksi tanaman dari tanaman inang yang berbeda. Bakteri *endofit* harus beradaptasi dengan lingkungan tumbuhan tertentu dan oleh karena itu, potensi metabolisme *endofit* cenderung berbeda dari bakteri yang tinggal di tanah. Karena lingkungan *rhizosfer* yang kaya sumber daya sangat kompetitif, dan bakteri perlu bertahan hidup di lingkungan yang kaya pesaing (Brader et al., 2014). 41 bakteri *endofit* pengurai limbah tekstil diisolasi dari tiga tanaman lahan basah. Genera bakteri yang dominan adalah *Bacillus*, *Microbacterium*, dan *Halomonas*. Bakteri *endofit* ini memiliki aktivitas degradasi limbah tekstil dan pertumbuhan tanaman dan dapat diterapkan untuk meningkatkan produksi biomassa tanaman dan remediasi limbah industri (Shehzadi et al., 2016).

Logam berat pada tanah maupun air memberikan tekanan pada tanaman *Vetiveria zizanioides* untuk menghasilkan senyawa metabolik yang lebih banyak seperti katalase, superoksida, dismutase, dan peroxidase sebagai enzim antioksidan untuk menangkal radikal bebas berupa *active oxygen species* (AOS) dan asam absisat yang merupakan senyawa untuk mengontrol pembukaan dan penutupan sel stomata pada tumbuhan (Pang et al., 2003). Tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi selama 1 bulan bertujuan untuk membuat tanaman tumbuh dan memiliki akar yang lebih banyak (Rehman et al., 2018). Tanaman

sebagai fitoremediator dianggap ideal karena memiliki produktivitas biomassa yang masif dan kapasitas akumulasi konsentrasi tinggi dari kontaminan. *Vetiveria zizanioides* merupakan jenis rumput yang memiliki kemampuan adaptasi ekologis yang kuat, mudah untuk mengelola dan tumbuh dalam kondisi tanah yang berbeda serta dapat mengendalikan pencemaran lingkungan (Purwani, 2010).

Floating Treatment Wetland menggunakan mikroba dan tumbuhan yang mengambang, akar tumbuhan memanjang ke dalam air untuk menyerap nutrisi hidroponik. *Floating Treatment Wetland* juga menggunakan area untuk mendukung proses pertumbuhan mikroba yang digunakan (Stewart et al., 2008). *Floating Treatment Wetland* (FTW) merupakan reaktor yang efisien dan hemat biaya untuk berbagai jenis air limbah yang telah teruji efektivitasnya dalam skala laboratorium dan percontohan (Tara et al., 2019).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang didapat yaitu :

Apakah proses bioremediasi dan tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat mereduksi kandungan logam Cr, Cu, dan Pb pada limbah tenun?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

Menguji kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri dengan sistem *Floating Treatment Wetland* (FTW) untuk mengolah limbah cair tenun dengan mengukur parameter logam Cr, Cu, dan Pb.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi mengenai efisiensi pengolahan limbah cair tenun dengan sistem *floating treatment wetland*.
2. Sebagai studi literatur mengenai kandungan logam berat Cu, Cr, dan Pb pada limbah cair tenun.
3. Sebagai alternatif pengolahan limbah cair tenun pada industri tenun sehingga pencemaran lingkungan dapat dikendalikan.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi dalam penelitian ini adalah bakteri *indigenous* yang diisolasi dari tanah tercemar limbah tenun dan bakteri *endofit* dari *Vetiveria zizanioides* serta aklimatisasi tanaman *Vetiveria zizanioides* pada limbah tenun untuk melihat kemampuan efisiensi *removal* kadar logam Cr, Cu, dan Pb.

1.6 Ruang Lingkup

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium.
2. Reaktor yang digunakan adalah *Floating Treatment Water* (FTW)
3. Media yang digunakan adalah tanaman *Vetiveria zizanioides*
4. Kandungan yang di analisa antara lain Cu, Cr, dan Pb



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Tenun

Air limbah adalah hasil buangan kegiatan yang berwujud cair yang berasal dari kegiatan rumahan maupun industri. Air limbah terdiri dari berbagai jenis seperti limbah domestik, industri, pertanian, pertambangan, pariwisata, dan limbah medis (Zulkifli, 2014). Limbah membahayakan kehidupan makhluk hidup dan lingkungan akibat kegiatan manusia. Limbah dibedakan berdasarkan kriterianya yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas (Ichtiakhiri & Sudarmaji, 2015). Jenis air limbah berupa air beserta buangan yang tercampur maupun yang terlarut dalam air. Selain berdampak bagi lingkungan, air limbah juga dapat mengganggu kesehatan masyarakat sekitar (Dewa, 2016).

Limbah tenun berasal dari proses pewarnaan, pengecapan, dan *finishing* yang menggunakan bahan kimia dari senyawa organik (Irmanto & Suyata, 2008). Proses pewarnaan yang menggunakan bahan sintesis hingga yang sulit larut dan terurai di lingkungan berasal dari senyawa *biodegradable* yang dapat mencemari lingkungan terutama lingkungan perairan (Suprihatin, 2014). Limbah tenun yang langsung dibuang di badan air tanpa diolah terlebih dahulu dapat menyebabkan meningkatnya konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) sehingga berkurangnya oksigen dalam air dan terganggunya proses fotosintesis (Ogugbue & Sawidis, 2011).

Limbah cair tenun yang memiliki toksisitas tinggi dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama di perairan seperti air sungai yang mengalami pencemaran lingkungan berupa perubahan warna pada air sungai akibat zat warna sintesis yang digunakan pada proses pembuatan kain tenun (Principal & Madhumathy, 2016). Selain itu zat warna pada limbah tenun mengandung logam Cd, Cu, dan Pb. Naphthol mengandung Zn serta mengandung logam Cr dan Cu seperti pada zat warna aergan soga. Indigosol dan naphthon juga mengandung logam Cu dan Zn (Eskani et al., 2015).

2.2 Floating Treatment Wetland (FTW)

Wetland atau tanah basah adalah sistem pengolahan limbah yang memanfaatkan tumbuhan air untuk proses pemulihan secara alamiah (Vymazal, 2002). Tanaman ditanam pada media apung sehingga akar dapat menggantung bebas didalam air sedangkan daun muncul diatas. Akar tanaman menggantung di badan air sebagai tempat tumbuhnya biofilm dan terdapat penyaringan secara mekanis dan biologis. Penyaringan mekanis terjadi melalui proses fisik dari akar tanaman seperti sedimentasi, adsorpsi, filtrasi, dan lain-lain. Penyaringan biologis merupakan hasil penyaringan degradasi bakteri dan penyerapan tanaman (Tara et al., 2019). FTW dapat menurunkan kadar logam antara lain Cd, Cr, Fe, Pb, Mn, Se, Zn, serta zat organik beracun lainnya dalam air limbah. Fluktuasi air tidak mempengaruhi kinerja reaktor FTW dan dapat menghemat lahan karena diaplikasikan di badan air (Pusparinda & Santoso, 2016). Keuntungan

pengaplikasian *Floating Treatment Wetland* adalah dapat menambah nilai estetika untuk tanaman yang berbunga, habitat bagi invertebrata, ikan, dan burung (Keizer-Vlek et al., 2014).

Wetland atau lahan basah merupakan zona transisi antara tanah kering (terrestrial) dan sistem perairan. *Wetland* didefinisikan sebagai sistem pengolahan air limbah yang memenuhi 3 faktor (Kadlec & Hammer, 1988) :

- 1) Area yang tergenang air dapat mendukung hidupnya tumbuhan air
- 2) Media tempat tumbuh tumbuhan air, berupa tanah yang selalu tergenang air
- 3) Media tumbuh tumbuhan air bisa juga bukan tanah tetapi media jenuh dengan air

Penelitian yang dilakukan selama 2 tahun pada 2 kolam retensi dan salah satunya menggunakan sistem *Floating Treatment Wetland* yang digunakan untuk menampung air hujan berisi tumbuhan yang telah diaklimatisasi. Didapatkan hasil degradasi tembaga (Cu) turun 36% dan zinc (Zn) turun 57% pada kolam FTW sedangkan pada kolam kontrol hanya mampu mendegradasi kandungan tembaga (Cu) 15% dan zinc (Zn) 41% (Borne et al., 2013).

2.3 Bioremediasi

Bioremediasi menggunakan mikroorganisme khusus yang dikembangkan untuk menurunkan kadar polutan seperti logam berat. Pada saat proses bioremediasi enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi struktur polutan beracun menjadi tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya (Priadie, 2012). Terjadi proses degradasi secara aerobik dan anaerobik oleh mikroorganisme pada proses bioremediasi. Pengolahan limbah pewarna tekstil secara anaerobik akan menghasilkan pemotongan reduktif ikatan seyawa pewarna, sedangkan pengolahan secara aerobik akan mendegradasi produk yang terbentuk pada langkah pertama dan menghasilkan produk akhir yang tidak berbahaya lagi (Ratna and Padhi, 2012)

Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara biologis atau bioremediasi (Rana et al., 2017). Bioremediasi bergantung pada aktivitas jamur, bakteri, tanaman, atau pada penggunaan secara aerobik, bioreaktor anaerob, dan membran untuk mempertahankan kondisi pada bahan kimia di ekosistem air. Bioremediasi diharapkan bisa memperbaiki ekosistem air yang terkontaminasi oleh kandungan senyawa xenobiotik dan plastik serta menurunkan kadar racun pada air (Misal et al., 2011).

2.4 Bakteri Endofit

Endofit berasal dari bahasa Yunani “endon” yaitu di dalam dan “phyton” yaitu tanaman. Endofit merupakan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang mendiami bagian endosfer tanaman tanpa menyebabkan kerusakan pada bagian inang. (Kandel et al, 2017). Bakteri *endofit* hidup pada jaringan tanaman dan termasuk komponen yang penting dalam sistem tanaman (Priya & Mini, 2011). Bakteri ini hidup dalam tanaman inang tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap tanaman (Mousa et al., 2015).

Bakteri *endofit* memperoleh nutrisi dari tanaman sehingga bakteri *endofit* dapat menurunkan tingkat toksisitas dan terjadi evapotranspirasi dari polutan karena aktivitas degradasi oleh bakteri. Tanaman mengambil dan mengakumulasi polutan organik di akar, pucuknya, dan daun. Selama proses pertumbuhan tanaman, bakteri *endofit* berperan penting bagi lingkungan yang tercemar mulai dari aktivitas pertumbuhan tanaman seperti fiksasi nitrogen, produksi siderform dan pelarutan fosfor. (Shehzadi et al., 2016). Bakteri *endofit* diharapkan mampu meningkatkan sistem pertahanan tanaman terhadap gangguan penyakit tanaman karena kemampuannya untuk memproduksi senyawa antimikrob, enzim, asam salisilat, etilena dan senyawa sekunder lainnya yang berperanan menginduksi ketahanan tanaman (Backman & Sikora, 2008).

2.5. Bakteri *Indigenous*

Penggunaan bakteri yang diambil dari proses ekstraksi bakteri *indigenus* relatif memakan biaya lebih murah dibandingkan teknologi yang menggunakan bahan kimia. Bakteri *indigenus* akan mendegradasi bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga beban pencemar pada air limbah dapat berkurang (Sutanto, 2011). Bakteri *indigenus* mampu mengurangi efek negatif limbah terhadap lingkungan (Octavia, 2010). Selain itu, bakteri *indigenus* mampu mendegradasi kandungan toxic pada limbah dan sebagai antibiotic (Batubara et al., 2015).

Bakteri *indigenus* akan tumbuh dan berkembang di lingkungan aslinya. Sehingga bakteri *indigenus* tidak perlu menyesuaikan diri di lingkungan baru. (Arief et al., 2010). Bakteri akan memproduksi enzim untuk penguraian limbah, enzim ini merupakan enzim yang diekskresi keluar sel dan memiliki kemampuan untuk merombak substrat tertentu yang terkandung dalam suatu limbah. Selain itu enzim dapat mempercepat reaksi kimia tanpa ikut mengalami kontaminasi ataupun berubah setelah reaksi selesai (Lestari, 2016). Bakteri *indigenus* mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk kepentingan metabolisme dan berkembang biak karena sifat petrofilik yang dimilikinya (Munawar, 2008)

2.6 Tanaman *Vetiveria zizanioides*

Vetiveria zizanioides berasal dari india utara yang tumbuh secara liar merupakan hiperkomulator yang mampu hidup di berbagai kondisi lingkungan sehingga sering dimanfaatkan untuk pelestarian lingkungan dan dapat digunakan sebagai penyaring air (Effendi et al., 2017). *Vetiveria zizanioides* merupakan tanaman dari famili *Gramineae* (rumput-rumputan) yang masih satu famili dengan serai wangi (*citronella*) dan serai dapur (*lemon grass*). *Vetiveria zizanioides* lebih dikenal dengan nama akar wangi, usar, ataupun larasetu di Indonesia. (Ambarwati & Bahri, 2018). *Vetiver* mampu menyerap nutrient dan memiliki batang yang kokoh untuk menahan aliran air serta memiliki pori untuk memfilter sedimen. *Vetiver* mampu bertahan pada lingkungan yang kurang baik dan memiliki kandungan logam berat yang tinggi sehingga pemanfaatan *Vetiver* untuk mengurangi pencemaran lingkungan (Komarawidjaja & Garno, 2016)

Karakteristik yang menjadikan tanaman vetiver sebagai spesies ideal untuk pengolahan limbah :

- a. Batang kaku dan tegak yang membentuk pagar lebat saat ditanam berdekatan yang tahan terhadap aliran air yang relatif dalam, mengurangi kecepatan aliran dan sebagai perangkap sedimen.
- b. Toleransi tinggi terhadap keasaman, alkalinitas, salinitas, sodisitas, dan magnesium.
- c. Toleransi tinggi terhadap Al, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se, dan Zn di dalam tanah.
- d. Efisiensi tinggi dalam menyerap N, P, Hg, Cd, dan Pb terlarut dalam air tercemar. (Siagian, R. et al, 2018)

Vetiveria zizanioides memiliki batang yang tinggi, daun memanjang, ramping dan agak kokoh. Akar-akar vetiver tumbuh ke bawah hingga 2-4 meter. *Vetiveria zizanioides* biasa disebut akar wangi, tanaman ini merupakan salah satu bahan baku paling penting dalam wewangian. Minyak *Vetiveria zizanioides* digunakan sebagai aromaterapi untuk menghilangkan stress, kecemasan, ketegangan saraf, dan insomnia (Snigdha et al., 2013).

2.7 Logam Berat

Logam berat merupakan hasil buangan limbah dari industri akibat aktivitas manusia terhadap peningkatan pergerakan, perpindahan, dan akumulasi logam berat yang masuk ke atmosfer, tanah, atau ekosistem perairan melebihi kemampuan alami ekosistem tersebut untuk memprosesnya (Taberima, 2004). Logam berat dapat membahayakan kesehatan akibat akumulasi pada lingkungan (Mkumbo, 2012). Logam berat memberikan efek toksik bagi organisme hidup, pertanian, dan kesehatan manusia (Rai, 2008). Beberapa jenis logam berat seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Seng (Zn), dan lainnya terdeteksi di tanah dan lingkungan perairan lainnya (Dixit et al., 2015).

2.7.1 Kromium (Cr)

Kromium memiliki nomor atom 24 dan nomor massa 51,996. Kromium berwarna putih, tidak dapat ditempa, dan tidak terlalu liat. Kromium yang terbentuk secara alamiah mayoritas dalam bentuk kromium trivalent (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}) (Berniyanti, 2019). Kromium memiliki berat atom 51,996 g/mol dan tahan terhadap oksida pada suhu tinggi dan bersifat paramagnetik. Ion kompleks yang terbentuk dari adanya kromium dapat berfungsi sebagai katalisator (Widowati, 2008). Kromium tidak larut dalam air, asam nitrat, basa, halogen, peroksida, dan logam tetapi larut jika direaksikan dengan asam sulfat dan asam klorida (Vogel, 1985). Pemanfaatan kromium sebagai berikut (Berniyanti, 2019).

1. Anti korosi untuk mencegah karat pada benda. Kromium untuk melapisi ornamen bangunan, komponen kendaraan, dan perhiasan seperti emas putih.
2. kromium trivalent (Cr^{3+}) dibutuhkan dalam metabolisme gula pada manusia dengan jumlah yang kecil.
3. zat warna (*pigment*).
4. penyamakan kulit.
5. proses pelapisan logam secara elektrik (*electroplating*).
6. baja anti karat (*stainless steel*).

7. semen.
8. antioksidan.
9. pengawet kayu (*wood preservation*).
10. cat (*paint*).

Kromium biasanya terdapat dalam limbah cair sehingga dapat berdampak negatif bagi lingkungan dan membahayakan kesehatan makhluk hidup (Gadd & White, 1992).

Senyawa yang memiliki nilai toksisitas yang tinggi dan terakumulasi pada tubuh dapat menyebabkan efek kronis *irreversible* karena memiliki jangka waktu yang lama untuk terakumulasi pada organ tubuh manusia (Mukono, 2010). Kromium dapat membahayakan kesehatan seperti alergi hingga kanker karena terpapar kromium dalam jangka waktu yang lama. Kromium sulit terurai di lingkungan sehingga terakumulasi pada tubuh manusia melalui rantai makanan. Kromium heksavalen dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis pada manusia apabila terpapar dalam jangka waktu yang lama (Wulaningtyas, 2018).

2.7.2 Tembaga (Cu)

Tembaga berbentuk kristal dengan warna kemerahan yang mengalami proses akumulasi dalam tubuh makhluk hidup. Paparan tembaga pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan (Widowati, 2008). Tembaga dikatakan memiliki toksisitas yang tinggi apabila masuk ke dalam tubuh makhluk hidup dalam jumlah yang banyak. Tembaga ada di lingkungan karena proses secara alamiah seperti pengikisan batuan, erosi, serta dari atmosfer yang terbawa oleh air hujan dan adanya aktivitas manusia dari kegiatan industri pertambangan dan galangan kapal (Chrislundi, 2015).

Tembaga yang masuk ke peredaran darah akan lebih cepat tersebar ke seluruh tubuh. Paparan tembaga dengan kadar yang tinggi menyebabkan muntah, diare, kram perut, dan mual. Untuk kadar yang sangat tinggi menyebabkan kerusakan liver dan ginjal hingga kematian (Wardhani et al., 2012). Tembaga merupakan polutan organik yang memiliki potensi untuk merusak lingkungan (Zakaria et al., 2012).

2.7.3 Timbal (Pb)

Timbal memiliki kilau berwarna putih kebiruan atau abu keperakan. timbal memiliki nomor atom 82, dengan bobot atom yaitu 207,2 g/mol, titik didih 1755°C, dan titik leleh 327°C. Timbal bersifat lunak dan mudah dibentuk karena bersifat lembut (Irianti et al., 2017). Timbal memiliki bilangan oksidasi +2 dan merupakan logam yang bersifat lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat. Timbal bersifat karsinogenik, menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu panjang dan sifat toksisitasnya yang tidak berubah dapat membahayakan makhluk hidup (Sunarya, 2007).

Timbal dapat masuk ke dalam air tanah karena adanya *leaching* di permukaan tanah hingga menyerap ke dalam tanah, Air tanah yang merupakan sumber air yang digunakan oleh manusia yang mengandung timbal memiliki

toksistas yang sangat tinggi sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui oral atau mulut dan pernafasan. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi timbal sehingga timbal dapat terakumulasi ke dalam tubuh manusia. Timbal yang mencemari udara, gas, maupun asap dapat masuk ke dalam saluran pernafasan sehingga mengalir pada pembuluh darah paru-paru dan akan mengikat darah hingga ke seluruh jaringan serta organ tubuh (Palar, 2004). Timbal mengandung nilai toksistas yang tinggi pada sistem saraf, ginjal, dan sistem reproduksi pada manusia hingga kerusakan otak *ireversibel* dan gejala *ensefalopati* (Abadin, 2007).

2.8 Studi Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu tentang pengolahan limbah tekstil dengan sistem FTW menggunakan kombinasi tanaman dan bakteri :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Hipotesa
1	<i>Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant degradation and plant growth –promotion potentials</i>	(Shehzadi et al., 2016)	- 41 bakteri pendegradasi air limbah tekstil diisolasi dari 3 jenis tanaman wetland (<i>Typha domingensis</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , dan <i>Eichhornia crassipes</i>). Bakteri <i>endofit</i> memiliki kemampuan degradasi air limbah tekstil dan mendorong aktivitas pertumbuhan tanaman sehingga meningkatkan produksi biomassa tanaman.
2	<i>On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dyedegrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater</i>	(Tara et al., 2019)	- FTW yang dikombinasikan dengan tanaman <i>P. Australis</i> serta bakteri menunjukkan penghilangan polutan tertinggi. - Persistensi bakteri yang menonjol di bagian dalam akar dan pucuk menunjukkan potensial kemitraan tumbuhan-bakteri dalam degradasi polutan. - Sistem ini dioperasikan

			<p>selama dua tahun yang menunjukkan potensi jangka panjang untuk praktik remediasi di tempat.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Brachiaria mutica</i> yang ditambahkan bakteri endofit dengan sistem <i>Floating Treatment Wetland</i> untuk mendegradasi limbah tekstil mampu mendegradasi kandungan logam Cr 97%, Fe 89%, Ni 88%, dan Cd 72%.
3	<i>Treatment of textile industry effluent in a pilot-scale vertical flow constructed wetland system augmented with bacterial endophytes</i>	(Hussain et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem <i>vertical flow constructed wetland</i> (VFCW) mampu menghilangkan sebagian besar polutan dari air limbah tekstil, tetapi sistem VFCW dengan augmentasi bakteri dapat meningkatkan efisiensi remediasi.
4	Analisis <i>Removal</i> Logam Pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia Menggunakan Tanaman Vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>) dan Bakteri dengan Metode <i>Floating Treatment Wetland</i>	(Nurtana et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Air limbah dimasukkan kedalam box kontainer dan ditambahkan bakteri pada beberapa box kontainer hasil dari ekstraksi tanah di area Balai Yasa Yogyakarta yang tercemar limbah. Dilakukan pemantauan pada hari ke- 0, 7, 14, 21, dan 28 Hasil menunjukkan penggunaan tanaman <i>vetiver</i> (<i>Vetiveria zizanioides</i>) dan bakteri mampu menurunkan kadar logam Besi (Fe) sebanyak 15%-93%, Timbal (Pb) 20%-100%, dan Tembaga

			(Cu) 18%-93.
5	<i>Ecological Engineering</i>	(Borne et al., 2013)	- Pengolahan sistem <i>Floating Treatment Wetland</i> menggunakan <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> memiliki nilai efisiensi <i>removal</i> untuk logam tembaga (Cu) partikulat 39% dan tembaga (Cu) terlarut 16%
6	<i>Phytoremediating Batik Wastewater Using Vetiver Chrysopogon zizanioides (L)</i>	(Tambunan et al., 2018)	- Fitoremediasi dengan tanaman <i>Vetiver Chrysopogon zizanioides L.</i> untuk menurunkan konsentrasi kromium (Cr) pada air limbah industri pengolahan batik dengan efisiensi <i>removal</i> 40%,
7	<i>Heavy metal removal by combining anaerobic upflow packed bed reactors with water hyacinth ponds</i>	(Sekomo et al., 2014)	- Tanaman eceng gondok yang diadaptasi dengan reaktor anaerobic berisi batuan vulkanik berpori mampu mereduksi kandungan logam Cd 98%, Cu 99%, Pb 98%, dan Zn 84% pada kandungan air limbah.



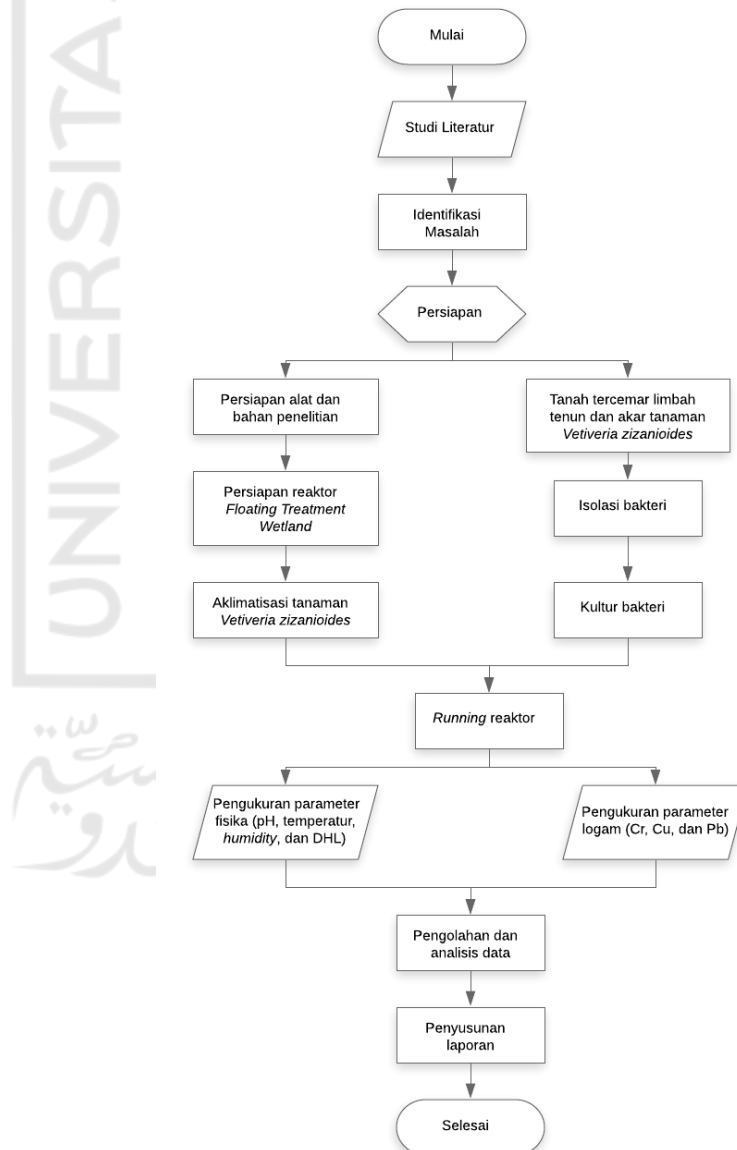
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 6 (enam) bulan dari bulan Maret 2021 sampai September 2021 di laboratorium bioteknologi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia.

Sebelum penelitian dimulai, terlebih dahulu dilakukan studi literatur. Kemudian mengidentifikasi masalah, dan dilakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Diagram alir perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



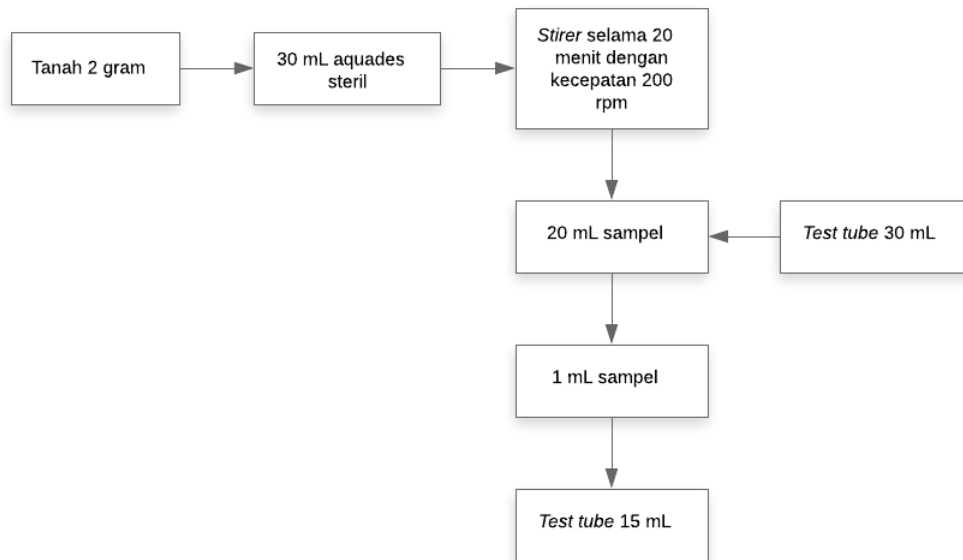
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat, bahan, serta instrument yang digunakan untuk pelaksanaan serta pengukuran dalam proses penelitian kade logam Cr, Cu, dan Pb dalam air limbah tenun. Alat berupa gelas beaker 250 mL, gelas arloji, *hot plate*, pipet ukur 10 mL, corong kaca, kertas *whatman* nomor 42, labu ukur 25 mL, botol vial dengan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) serta bahan seperti air limbah tenun 25 mL, HNO₃, dan aquades.

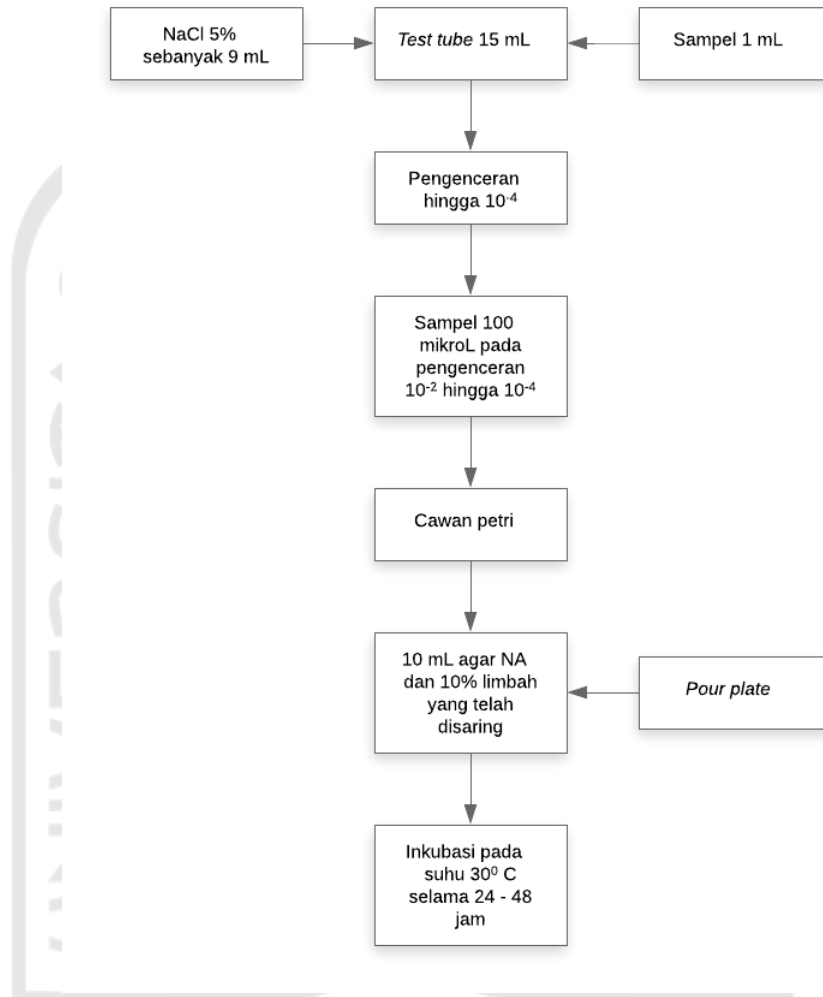
3.3 Isolasi Bakteri

Sebelum melakukan isolasi tanah tercemar limbah tenun terlebih dahulu dilakukan ekstraksi tanah tercemar limbah tenun. Tahapan ekstraksi tanah dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.2 Tahapan Ekstraksi Tanah Tercemar Limbah Tenun

Isolasi tanah tercemar limbah tenun mengacu pada penelitian (Shehzadi et al., 2016) untuk metode isolasi bakteri. Setelah proses ekstraksi tanah selanjutnya dilakukan tahapan isolasi tanah tercemar limbah tenun untuk memperoleh bakteri yang akan dimurnikan pada gambar 3.3 sebagai berikut :



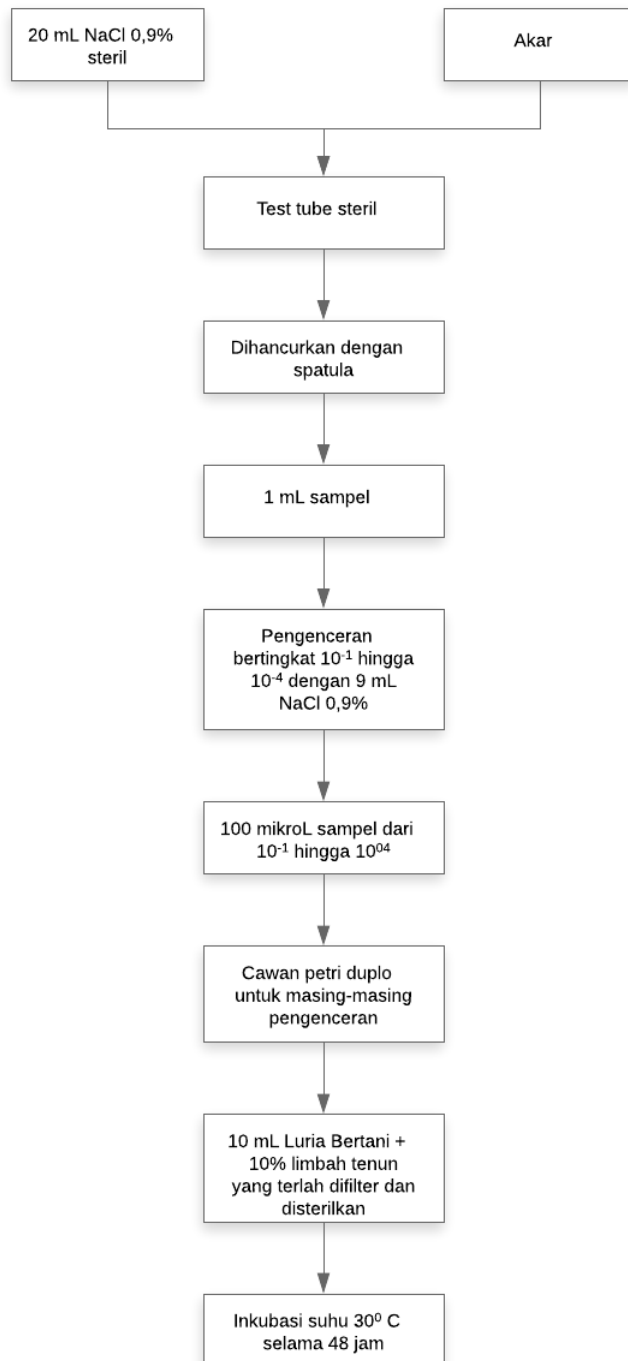
Gambar 3.3 Tahapan Isolasi Tanah Tercemar Limbah Tenun

Proses isolasi bakteri *endofit* dari akar tanaman *Vetiveria zizanioides* mengacu pada penelitian (Shehzadi et al., 2016) Tahapan isolasi dimulai dengan proses sterilisasi akar kemudian dilakukan proses homogenisasi akar yang sudah berhasil disterilkan. Tahapan sterilisasi akar tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat pada gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3.4 Tahapan Isolasi Akar *Vetiveria zizanioides*

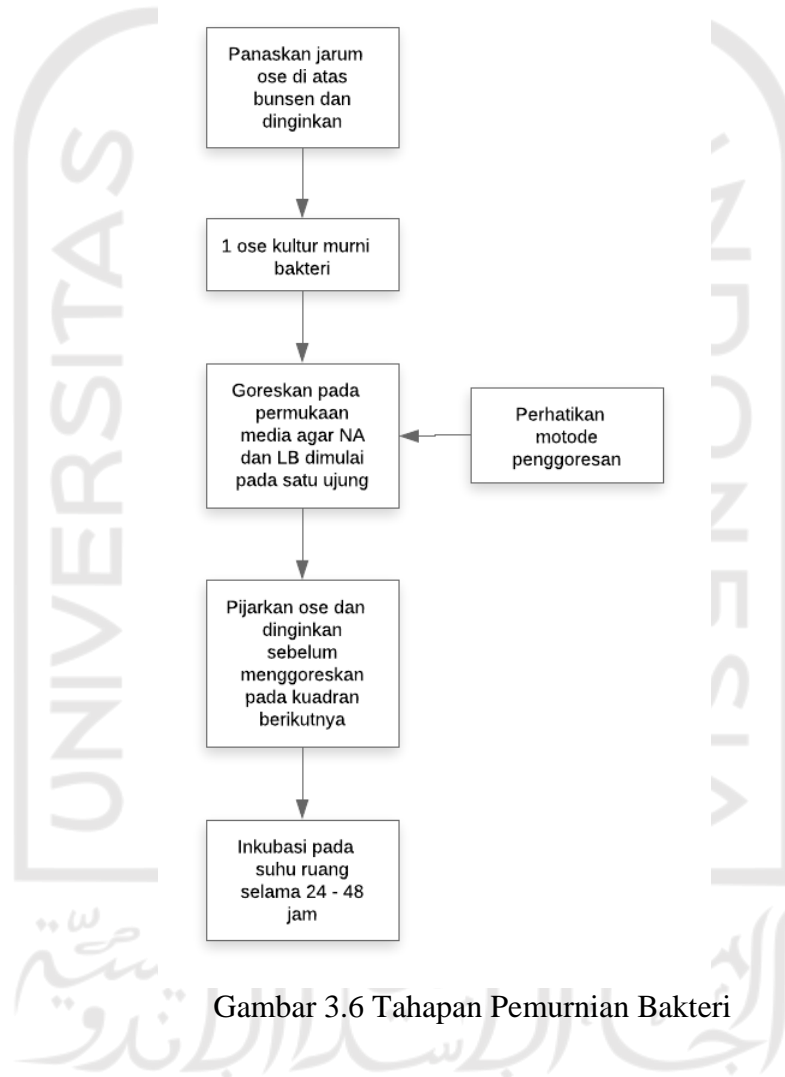
Akar yang sudah steril ditandai dengan tidak ada pertumbuhan bakteri pada hasil isolasi air cucian akar selanjutnya dilakukan tahapan homogenisasi akar seperti penelitian yang dilakukan oleh (Shehzadi et al., 2016). Tahapan homogenisasi akar tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat pada gambar 3.5 sebagai berikut :



Gambar 3.5 Tahapan Homogenisasi Akar *Vetiveria zizanioides*

3.4 Identifikasi Bakteri

Dari hasil isolasi dan homogenisasi bakteri diperoleh beberapa koloni yang berbeda jenis dan perlu di purifikasi. Dari satu cawan isolat akan dipecah lagi menjadi beberapa cawan purifikasi sesuai jumlah bakteri yang teridentifikasi. Selanjutnya akan dilakukan metode identifikasi bakteri yang mengacu pada panduan morfologi bakteri (ATTC, 2021). Identifikasi bakteri mendeskripsikan *shape, margin, elevation, size, apperance, optical property, texture, pigmentation*. Tahapan pemurnian bakteri dapat dilihat pada gambar 3.6 sebagai berikut :

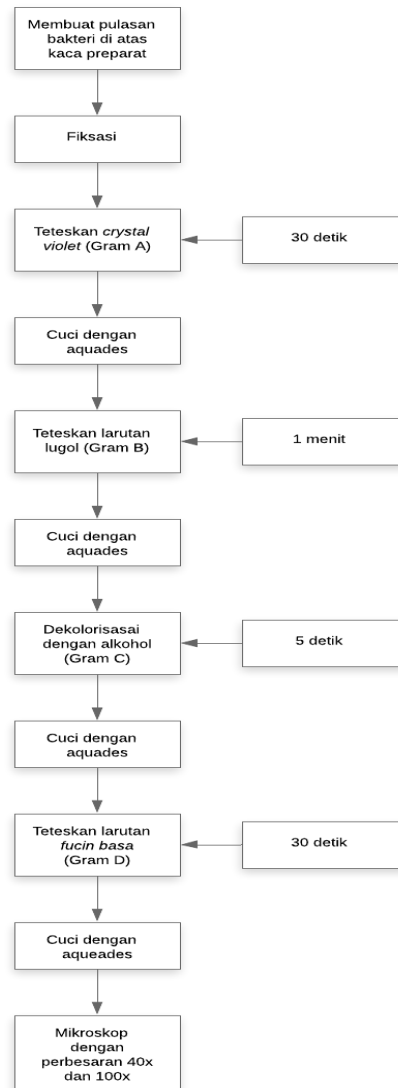


Gambar 3.6 Tahapan Pemurnian Bakteri

3.4.1 Pewarnaan Gram

Metode identifikasi bakteri mengacu pada panduan morfologi bakteri. Setelah dilakukan identifikasi morfologi akan dilanjutkan dengan pewarnaan gram bakteri. Pewarnaan Gram dikelompokkan menjadi bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif (Reynolds, 2011).

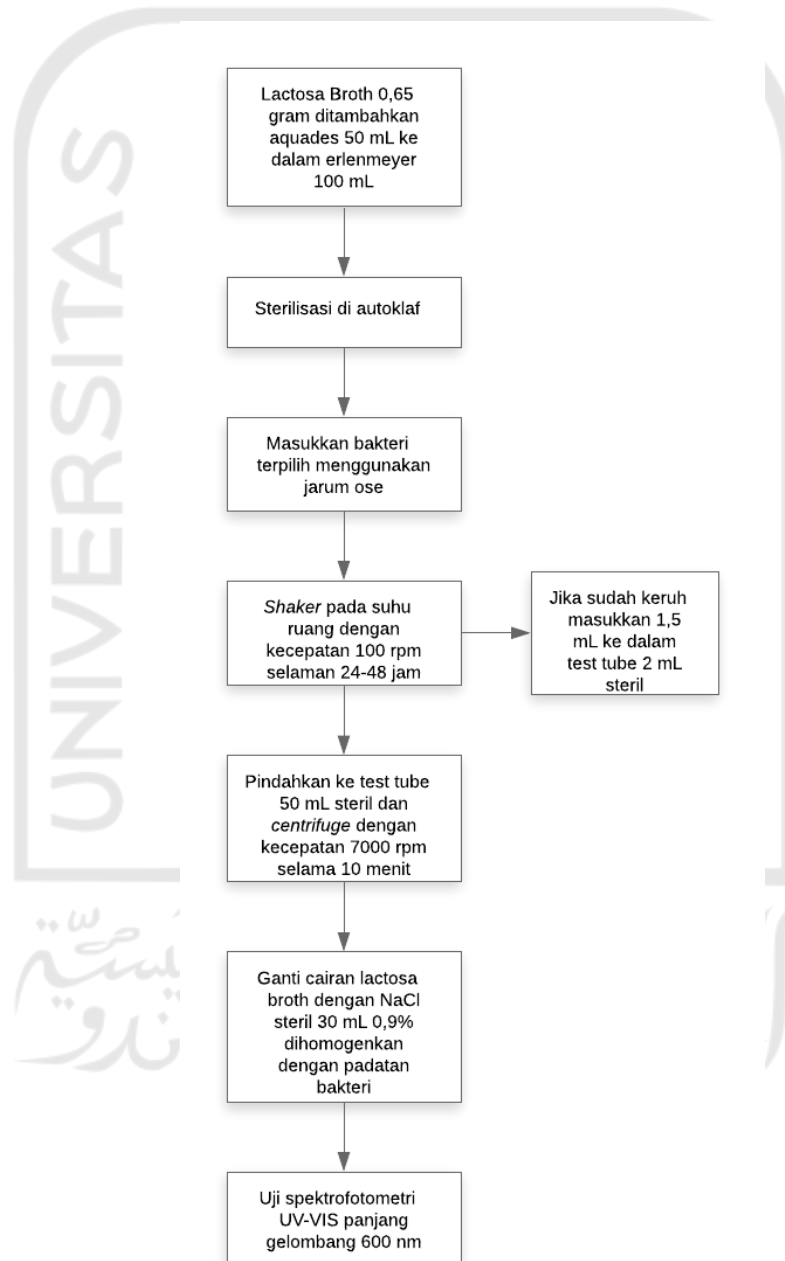
Reagen yang digunakan pada pewarnaan gram ada 4 jenis yaitu kristal violet, iodine, alkohol dan safranin. Bakteri gram positif akan mempertahankan warna ungu dari kristal violet sehingga ketika diamati mikroskop akan menunjukkan warna ungu sedangkan bakteri gram negatif tidak dapat mempertahankan warna ungu dari kristal violet tetapi zat warna safranin dapat terserap pada dinding sel sehingga akan memperlihatkan warna merah (Endah Pratita et.al, 2012). Pewarnaan gram menggunakan jarum ose untuk menyebarkan bakteri di atas kaca preparat yang difiksasi di atas nyala api lalu ditetaskan dengan larutan violet (gram A), lugol (gram B), dan didekolorasi dengan larutan etanol (gram C) serta tahap terakhir dengan meneteskan fucin basa. Proses pewarnaan gram dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.7 Tahapan Pewarnaan Gram

3.4.2 Kultur Bakteri

Bakteri yang terpilih akan dikembang-biakkan berdasarkan morfologinya sesuai berdasarkan penelitian (M. Shehzadi et al., 2016). Bakteri yang tumbuh akan diperbanyak dengan menumbuhkan inokulum bakteri pada media *lactosa broth* 28 – 30⁰C menggunakan shaker dengan kecepatan 100 g selama 24 jam setelah media keruh akan di sentrifugasi dengan kecepatan 7000 g selama 10 menit, kemudian diresuspensi dengan NaCl 0,9% steril dan mengukur OD (*optical density*) dengan panjang gelombang 600 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Tahapan kultur bakteri dapat dilihat pada Gambar 3.8.

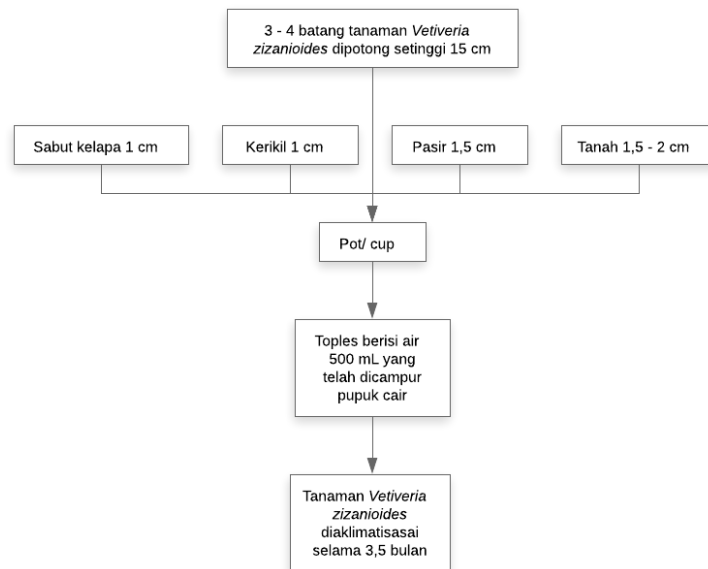


Gambar 3.8 Tahapan Kultur Bakteri

3.5 Floating Treatment Wetland (FTW)

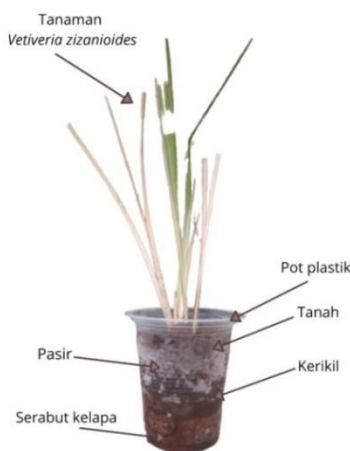
3.5.1 Persiapan Floating Treatment Wetland (FTW)

Floating Treatment Wetland yang dikombinasikan dengan tanaman *Vetiveria zizanioides* menggunakan toples dan menampung air limbah 500 mL serta dilengkapi dengan gelas plastik di permukaan wadah sehingga tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat mengapung. Dalam satu toples terdiri dari 1 gelas plastik yang berisi 3-4 batang tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dipotong sekitar 15 cm. Media yang digunakan di dalam pot adalah pasir, tanah, sabut kelapa, dan kerikil. Reaktor yang digunakan sebanyak 10 buah untuk bakteri *endofit* dan 9 buah untuk bakteri *indigenous* serta 3 buah kontrol. Berikut ini adalah tahapan persiapan reaktor *Floating Treatment Wetland* :



Gambar 3.9 Tahapan Aklimatisasi *Vetiveria zizanioides*

Sedangkan desain tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat seperti gambar 3.10 berikut ini :



Gambar 3.10 Desain Tanaman *Vetiveria zizanioides* Menggunakan FTW

3.5.2 Aklimatisasi Tanaman *Vetiveria Zizanioides*

Tanaman *Vetiveria zizanioides* mampu mengurangi pencemar hara dan logam dengan kapasitas serap yang cepat pada air dibandingkan tanaman hiperkumulator lainnya. Tanaman *Vetiveria zizanioides* diaklimatisasi selama 3 bulan dengan pupuk cair dengan rasio 14 L air dan 3 tutup botol pupuk hidroponik. Pertumbuhan tanaman diamati setiap 14 hari untuk melihat pertumbuhan tanaman dengan mengukur tinggi batang dan panjang akar tanaman *Vetiveria zizanioides*. Gambar aklimatisasi tanaman *Vetiveria zizanioides* pada hari pertama dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut :



Gambar 3.11 Aklimatisasi Tanaman Hari Pertama

Sedangkan untuk gambar aklimatisasi pada hari terakhir dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut :



Gambar 3.12 Aklimatisasi Tanaman Hari Terakhir

3.5.3 Running Reaktor

9 isolat bakteri *endofit* dan 10 isolat bakteri *indigenous* hasil dari kulturisasi bakteri diambil sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam reaktor berisi limbah cair tenun 500 mL dengan konsentrasi awal warna 19133 Pt-Co. Pengambilan sampel akan diambil setiap hari ke-0, 4, 11, dan 25.

Tabel 3.1 Komposisi Reaktor

Kode Reaktor	Komposisi Reaktor
Kontrol-1	Limbah cair tenun
Kontrol-2	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i>
Kontrol-3	Aquades + tanaman <i>Vetiveria</i>
Ra-1	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra1
Ra-2	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra2
Ra-3	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra3
Ra-4	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra4
Ra-5	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra5
Ra-6	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra6
Ra-7	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra7
Ra-8	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Ra8
Rb-1	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Rb1
Rb-2	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Rb2
Sb-2	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-2
Sb-3	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-3
Sb-5	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-5
Sb-6	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-6
Sb-1	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-1
Sc-1	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sc-1
Sb-4a	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-4a
Sb-4b	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-4b
Sb-7	Limbah cair tenun + tanaman <i>Vetiveria</i> + kultur bakteri Sb-7

3.6 Pengujian dan Analisa Data

Metode pengujian dan metode analisis data sebagai berikut :

3.6.1 Metode Pengujian Cu, Cr, dan Pb pada Air Limbah Tenun

Karakteristik dari limbah cair yang diuji berupa parameter kimia. Parameter kimia antara lain logam Cr, Cu, dan Pb untuk melihat konsentrasi dan penurunan kadar logam pada *Floating Treatment Wetland* menggunakan *Vetiveria Zizanioides* dan bakteri pada limbah tenun.

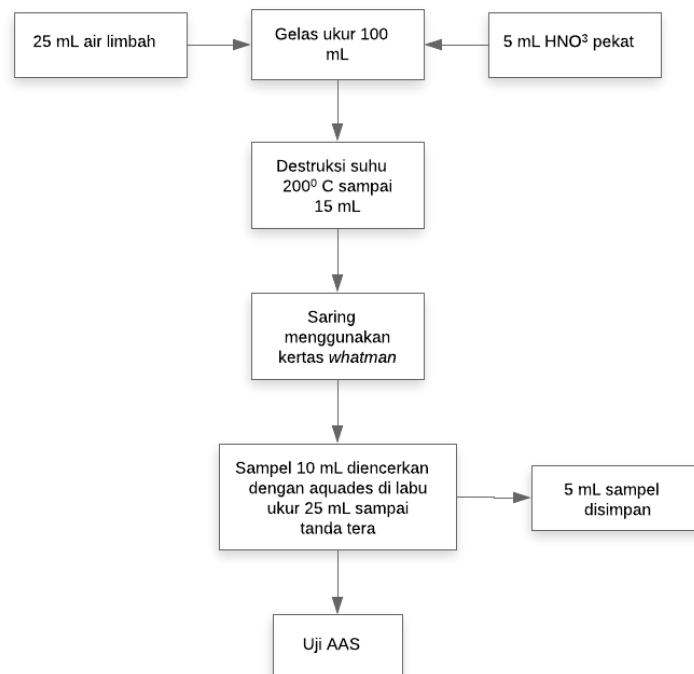
Parameter mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 dan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Metode pengukuran yang akan diuji mengacu pada tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Standar Uji Parameter Air Limbah

No	Unit	Metode Pengujian
1	Cu	SNI 6989.6:2009
3	Cr-T	SNI 6989.17:2009
4	Pb	SNI 6989.8:2009

Pengujian kandungan logam pada sampel air limbah dilakukan selama 21 hari dengan mengikuti standar SNI yang telah ditentukan.

Proses destruksi air limbah untuk mengetahui kadar logam dapat dilihat pada gambar 3.13 sebagai berikut



Gambar 3.13 Tahapan Destruksi Air Limbah

3.6.2 Metode Analisis Data Cu, Cr, dan Pb pada Air Limbah Tenun

Limbah cair tenun dapat dianalisa persentase *removal* hasil pengujian parameter serta kondisi tanaman yang menunjukkan efisiensi kinerja reaktor *Floating Treatment Wetland* dan hasil pengolahan yang diolah dalam bentuk grafik. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan peraturan yang berlaku tentang baku mutu air limbah tekstil untuk menilai kelayakan sistem *Floating Treatment Wetland* dalam mengolah limbah. Berikut parameter yang diuji dan baku mutu air limbah yang digunakan sebagai acuan :

Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah yang Berlaku

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

Pengukuran dilakukan pada hari ke- 0 dan 25 yang akan dibandingkan dengan kondisi awal limbah atau limbah kontrol. Data akan diolah dalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui tren grafik serta memudahkan untuk melihat perkembangan pengolahan limbah oleh bakteri. Selanjutnya akan disimpulkan hasil yang sudah didapat dari biodegradasi kandungan logam pada limbah tenun.

Hasil konsentrasi kandungan logam pada air limbah yang sudah didapat akan diukur persentase *removal* sehingga dapat diketahui bakteri yang mampu mendegradasi kandungan logam secara efektif dengan menggunakan persamaan dibawah ini (Darajeh et al., 2014) :

$$\text{Persentase Removal (\%)} = \frac{(\text{KonsentrasiAwal} - \text{KonsentrasiAkhir})}{(\text{KonsentrasiAwal})}$$

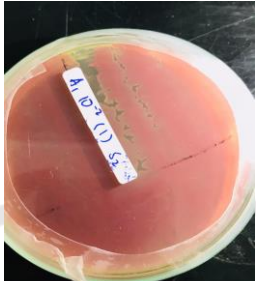

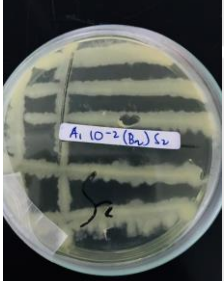


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN




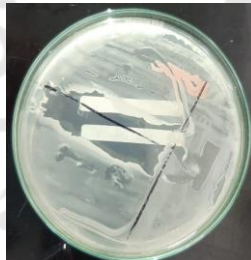
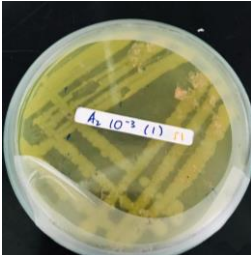
4.1 Identifikasi Bakteri

Penelitian ini menggunakan bakteri untuk mendegradasi kandungan logam pada air limbah. Bakteri yang digunakan berasal dari tanaman *Vetiveria zizanioides* untuk mendegradasi kandungan logam yang terdapat pada limbah tenun di Jepara. Bakteri diidentifikasi morfologinya berdasarkan *shape, margin, elevation, size, apperance, optical property, texture, pigmentation*, pengecekan menggunakan mikroskop cahaya dengan perbesaran 40x dan 100x, sifat gram, dan bentuk sel yang terdapat pada bakteri tersebut. Setelah mengidentifikasi bakteri maka dipilih bakteri yang memiliki karakteristik berbeda-beda untuk dikultur masing-masing bakteri terpilih. Pengamatan morfologi bakteri pada penelitian ini mengacu pada buku *introduction to microbiology* penerbit (ATCC, 2021). Isolasi bakteri bertujuan untuk memisahkan dan membiakkan bakteri dengan menggunakan media kultur sehingga didapatkan biakan murni dari bakteri tersebut (Hidayat, 2015).

Dari hasil morfologi bakteri *endofit* pada akar *Vetiveria zizanioides* yang telah dilakukan didapatkan *shape irregular* berjumlah 6 sampel, *filamentous* berjumlah 1 sampel dan *circular* berjumlah 3 sampel. *Margin undulate* berjumlah 4 sampel, *entire* berjumlah 4 sampel, dan *lobate* berjumlah 2 sampel, *elevation raised* berjumlah 2 sampel, *flat* berjumlah 4 sampel dan *convex* berjumlah 4 sampel, *size moderate* berjumlah 7 sampel, *large* berjumlah 1 sampel, dan *small* berjumlah 2 sampel, *apperance translucent* berjumlah 4 sampel, *transparent* berjumlah 2 sampel, dan *opaque* berjumlah 4 sampel, *texture* semua sampel bersifat *smooth*, serta *pigmentation* yang *pigmented* berjumlah 4 sampel dan *non pigmented* berjumlah 6 sampel. Hasil morfologi bakteri *endofit* dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

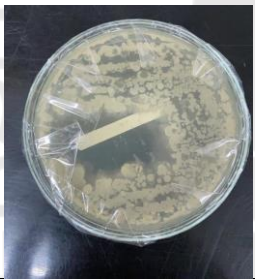
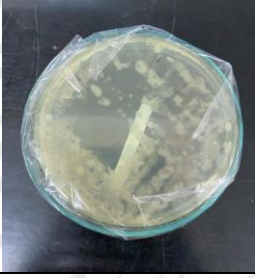
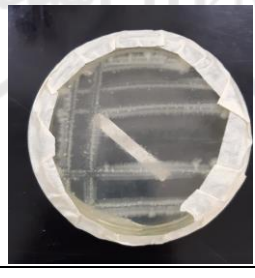
Tabel 4.1 Identifikasi Bakteri *Endofit*


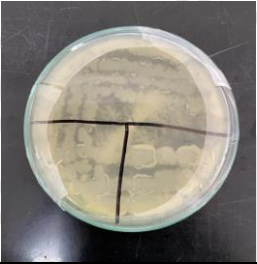



No	Sampel	Gambar	Morfologi	
1	Ra-1		Shape	<i>Irregular</i>
			Margin	<i>Undulate</i>
			Elevation	<i>Raised</i>
			Size	<i>Large</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Transculent</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Pigmented (Pink)</i>
2	Ra-2		Shape	<i>Irregular</i>
			Margin	<i>Entire</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Moderate</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Transculent</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (off white)</i>
3	Ra-3		Shape	<i>Irregular</i>
			Margin	<i>Undulate</i>
			Elevation	<i>Convex</i>
			Size	<i>Moderate</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Transculent</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (off white)</i>
4	Ra-4		Shape	<i>Irregular</i>
			Margin	<i>Lobate</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Moderate</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Transparant</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (off white)</i>
5	Ra-5		Shape	<i>Filamentous</i>
			Margin	<i>Lobate</i>
			Elevation	<i>Convex</i>
			Size	<i>Small</i>
			Apperance	<i>Glistening</i>
			Optical Property	<i>Opaque</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Pigmented (Pink)</i>


No	Sampel	Gambar	Morfologi	
6	Ra-6		Shape	Circular
			Margin	Entire
			Elevation	Convex
			Size	Moderate
			Apperance	Glistening
			Optical Property	Opaque
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Non Pigmented (off white)
7	Ra-7		Shape	Circular
			Margin	Entire
			Elevation	Raised
			Size	Small
			Apperance	Dull
			Optical Property	Opaque
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Pigmented (Yellow)
8	Ra-8		Shape	Irregular
			Margin	Undulate
			Elevation	Flat
			Size	Moderate
			Apperance	Dull
			Optical Property	Transparant
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Non Pigmented (cream)
9	Rb-1		Shape	Irregular
			Margin	Undulate
			Elevation	Flat
			Size	Moderate
			Apperance	Dull
			Optical Property	Translucent
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Non Pigmented (cream)
10	Rb-2		Shape	Circular
			Margin	Entire
			Elevation	Convex
			Size	Moderate
			Apperance	Glistening
			Optical Property	Opaque
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Pigmented (Yellow)

Sedangkan hasil morfologi bakteri *indigenous* yang diambil dari tanah tercemar limbah tenun didapatkan *shape irregular* berjumlah 4 sampel, *filamentous* berjumlah 3 sampel dan *circular* berjumlah 2 sampel. *Margin undulate* berjumlah 4 sampel, *entire* berjumlah 4 sampel, dan *rhizoid* berjumlah 1 sampel, *elevation flat* berjumlah 7 sampel dan *convex* berjumlah 1 sampel, *size moderate* berjumlah 2 sampel, *large* berjumlah 2 sampel, *small* berjumlah 3, dan *punctiform* berjumlah 2 sampel, *appearance translucent* berjumlah 4 sampel, *transparent* berjumlah 4 sampel, dan *opaque* berjumlah 1 sampel, *texture smooth* berjumlah 4 sampel, *rough* berjumlah 4 sampel, dan *mucoïd* berjumlah 1 sampel, serta semua sampel bersifat *non pigmented*. Berdasarkan hasil yang didapat maka keragaman bentuk morfologi dari koloni mengindikasikan masing-masing koloni memiliki karakter yang berbeda-beda (Walid et al., 2019). Hasil morfologi bakteri *indigenous* dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Identifikasi Bakteri *Indigenous*

No	Sampel	Gambar	Morfologi	
1	Sb-2		<i>Shape</i>	<i>Irregular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Undulate</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Flat</i>
			<i>Size</i>	<i>Small</i>
			<i>Appearance</i>	<i>Dull</i>
			<i>Optical Property</i>	<i>Translucent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non Pigmented (off white)</i>
2	Sb-3		<i>Shape</i>	<i>Irregular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Undulate</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Flat</i>
			<i>Size</i>	<i>Moderate</i>
			<i>Appearance</i>	
			<i>Optical Property</i>	<i>Transparent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Rough</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non Pigmented (off white)</i>
3	Sb-5		<i>Shape</i>	<i>Irregular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Umbonate</i>
			<i>Size</i>	<i>Large</i>
			<i>Appearance</i>	<i>Dull</i>
			<i>Optical Property</i>	<i>Translucent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Mucoïd</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non Pigmented (off white)</i>

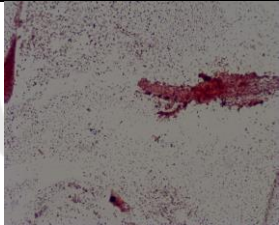

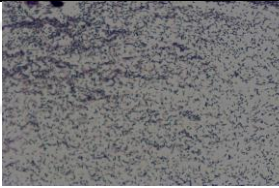

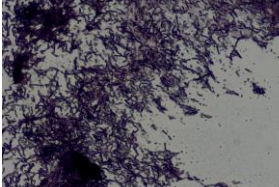
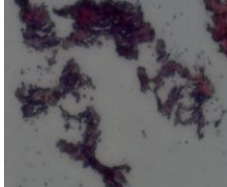
No	Sampel	Gambar	Morfologi	
4	Sb-6		Shape	<i>Irregular</i>
			Margin	<i>Entire</i>
			Elevation	<i>Convex</i>
			Size	<i>Punctiform</i>
			Apperance	<i>Glistening</i>
			Optical Property	<i>Transparant</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (off white)</i>
5	Sb-1		Shape	<i>Filamentous</i>
			Margin	<i>Undulate</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Large</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Transparant</i>
			Texture	<i>Rough</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (cream)</i>
6	Sc-1		Shape	<i>Filamentous</i>
			Margin	<i>Rhizoid</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Moderate</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Translucent</i>
			Texture	<i>Rough</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (off white)</i>
7	Sb-4a		Shape	<i>Filamentous</i>
			Margin	<i>Undulate</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Small</i>
			Apperance	<i>Dull</i>
			Optical Property	<i>Translucent</i>
			Texture	<i>Rough</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (cream)</i>
8	Sb-4b		Shape	<i>Circular</i>
			Margin	<i>Entire</i>
			Elevation	<i>Flat</i>
			Size	<i>Small</i>
			Apperance	<i>Glistening</i>
			Optical Property	<i>Opaque</i>
			Texture	<i>Smooth</i>
			Pigmentation	<i>Non Pigmented (cream)</i>


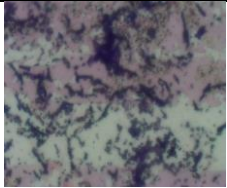
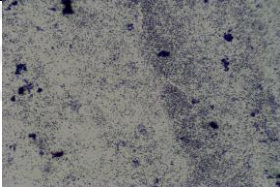
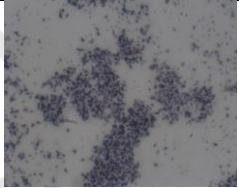

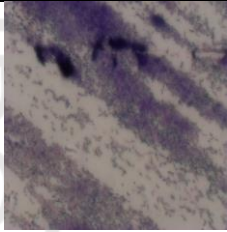
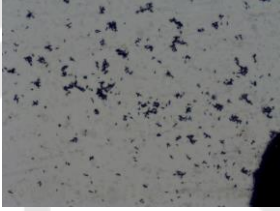
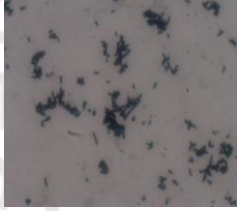
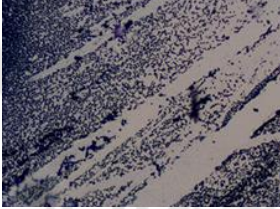
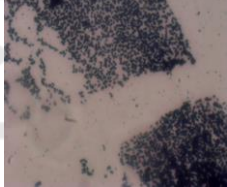
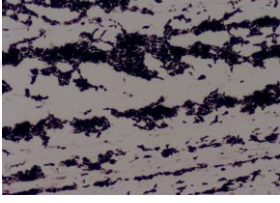
No.	Sampel	Gambar	Morfologi	
			Shape	Circular
9	Sb-7		Margin	Entire
			Elevation	Flat
			Size	Punctiform
			Apperance	Glistening
			Optical Property	Transparent
			Texture	Smooth
			Pigmentation	Non Pigmented (cream)

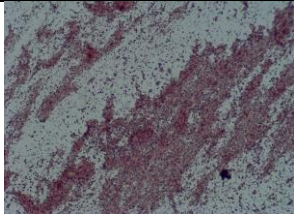
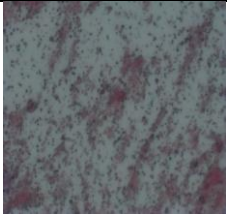
Setelah dilakukan pengamatan bakteri berdasarkan morfologi maka akan dilakukan pewarnaan gram. Bakteri gram terbagi menjadi bakteri gram positif yang berwarna ungu dan bakteri gram negatif yang berwarna merah. Tujuan dilakukannya pewarnaan gram untuk mempermudah melihat bakteri secara mikroskopik, memperjelas ukuran serta bentuk bakteri, mengetahui struktur dinding sel dan vakula, dan sifat fisik serta kimia dari bakteri dengan zat warna (Bulele et al., 2019).

Dari hasil pewarnaan gram didapatkan dari 10 isolat bakteri *endofit* dominan memiliki sifat gram positif berjumlah 7 sampel dan gram negatif berjumlah 3 sampel. Tabel identifikasi pewarnaan gram bakteri *endofit* dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Identifikasi Pewarnaan Gram Bakteri *Endofit*

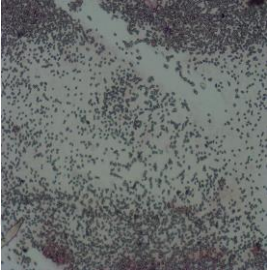
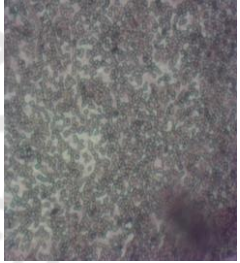
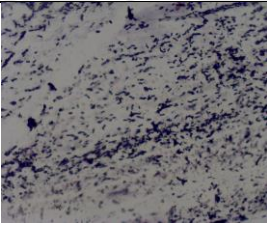
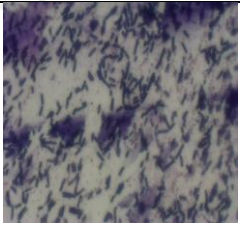
Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Persebasaran 40x	Perbesar 100x
Ra-1	Positif	<i>Coccus</i>		
Ra-2	Negatif	<i>Bacillus</i>		
Ra-3	Positif	<i>Bacillus</i>		

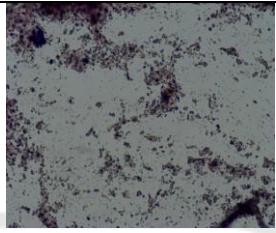
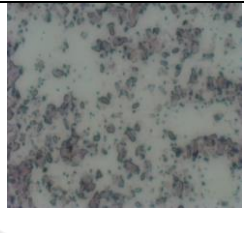
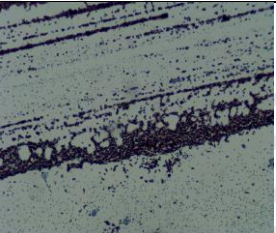
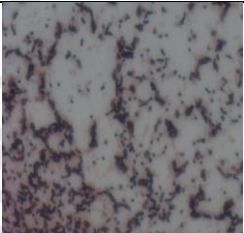
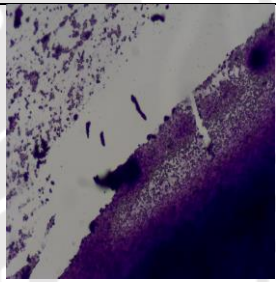

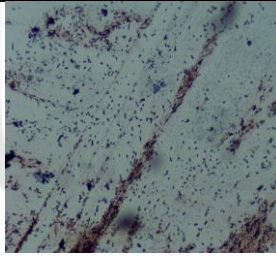
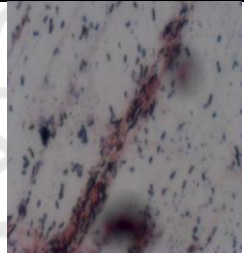
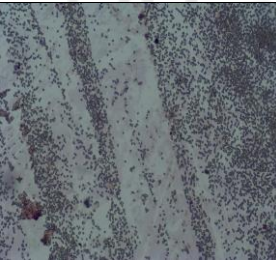

Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Persebasaran 40x	Perbesaran 100x
Ra-4	Negatif	<i>Coccus</i>		
Ra-5	Positif	<i>Bacillus</i>		
Ra-6	Positif	<i>Bacillus</i>		
Ra-7	Positif	<i>Bacillus</i>		
Ra-8	Positif	<i>Bacillus</i>		
Rb-1	Positif	<i>Bacillus</i>		

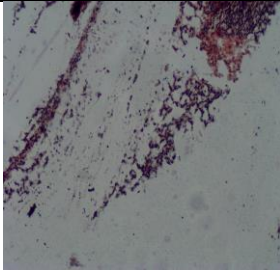
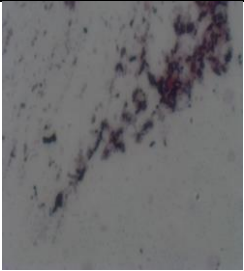
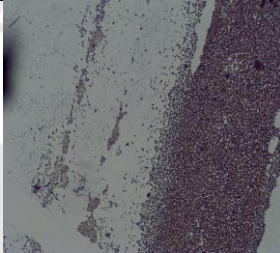
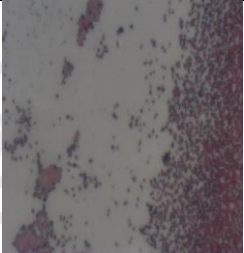
Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Persebasaran 40x	Perbesaran 100x
Rb-2	Negatif	<i>Coccus</i>		

Sedangkan hasil pewarnaan gram didapatkan dari 10 isolat bakteri *indigenous* dominan memiliki sifat gram positif berjumlah 6 sampel dan gram negatif berjumlah 3 sampel. Bentuk sel *bacillus* berjumlah 5 sampel dan *coccus* berjumlah 4 sampel. Adanya perbedaan warna pada sifat gram karena sel bakteri yang ditetaskan kristal violet yang berwarna ungu akan diserap oleh bakteri dan warna ungu akan semakin pekat karena adanya penambahan lugol pada sel bakteri sehingga ketika dicuci dengan alkohol bakteri gram positif akan tetap mempertahankan warna ungu dari ikatan kompleks antara kristal violet dan lugol. Sedangkan pada bakteri gram negatif akan kehilangan kompleks kristal violet dan lugol karena lapisan peptidoglikan pada bakteri gram negatif lebih tipis sehingga menjadi tidak berwarna dan bakteri gram negatif akan menyerap tetesan safranin dan berwarna merah. Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang tebal dan membran sel selapis serta tidak memiliki membran luar. Sedangkan bakteri gram negatif mempunyai dinding sel tipis yang berada diantara dua lapis membran sel (Hidayat, 2015). Tabel identifikasi pewarnaan gram bakteri *indigenous* dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Identifikasi Pewarnaan Gram Bakteri *Indigenous*

Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 40x	Perbesaran 100x
Sb-2	Positif	<i>Coccus</i>		
Sb-3	Positif	<i>Bacillus</i>		

Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 40x	Perbesaran 100x
Sb-5	Positif	<i>Bacillus</i>		
Sb-6	Positif	<i>Bacillus</i>		
Sb-1	Positif	<i>Coccus</i>		
Sc-1	Positif	<i>Bacillus</i>		
Sb-4a	Negatif	<i>Coccus</i>		

Sampel	Jenis Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 40x	Perbesaran 100x
Sb-4b	Negatif	<i>Bacillus</i>		
Sb-7	Negatif	<i>Coccus</i>		

4.2 Konsentrasi Logam pada Air Limbah Tenun

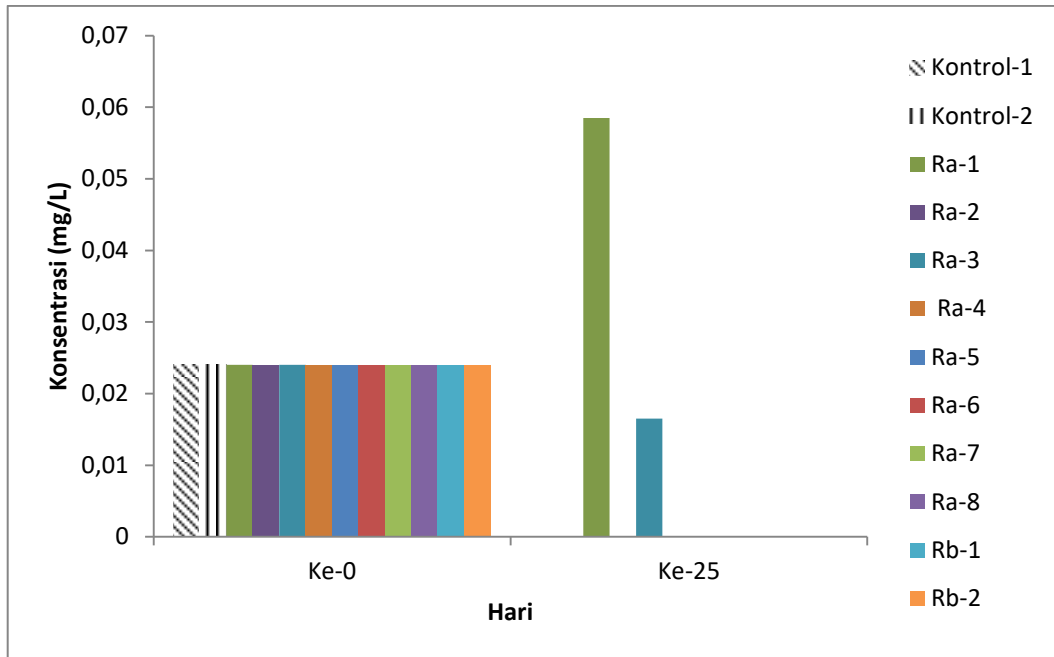
Kandungan logam pada limbah tenun yang diuji yaitu Kromium (Cr), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) dengan menggunakan Spektrofotometer Separan Atom.

4.2.1 Konsentrasi Logam Kromium (Cr) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Kadar kromium (Cr) pada air limbah hasil industri tenun di Jepara mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Floating Treatment Wetland* selama 25 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun.

Data hasil pengujian kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Logam Cr pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

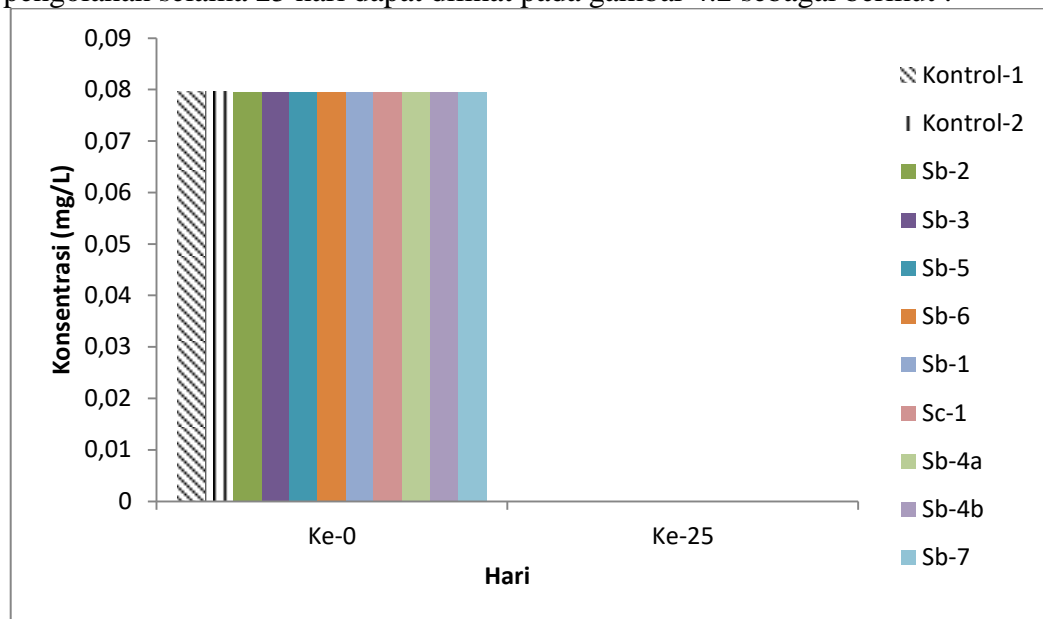
- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Ra-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Ra-2 : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Ra-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-4 : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Ra-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-7 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-8 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Rb-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Rb-2 : Bakteri gram negative, *Coccus*

Pada gambar 4.1 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar kromium (Cr) menggunakan bakteri *endofit* pada sampel air limbah industri tenun di Jepara. Terdapat penurunan kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun menggunakan *Floating Treatment Wetland* selama 25 hari. Konsentrasi awal sampel air limbah bakteri menunjukkan konsentrasi logam kromium sebesar 0,024 mg/L pada hari ke-0. Pada hari ke-25 terjadi penurunan yang signifikan untuk sampel kontrol-1, kontrol-2, Ra-2, Ra-4, Ra-5, Ra-6, Ra-7, Ra-8, Rb-1, dan Rb-2 yaitu sebesar 0,024 mg/L menjadi 0 mg/L. Sedangkan pada sampel Ra-3 terjadi penurunan yang cukup signifikan sebesar 0,0075 mg/L menjadi 0,0165 mg/L. Selain itu, terjadi pula peningkatan logam Cr pada sampel Ra-1 sebesar 0,0345 mg/L menjadi 0,059 mg/L. Peningkatan kandungan Cr dapat disebabkan oleh temperature air yang tinggi sehingga dapat menurunkan kadar oksigen dalam air dan kenaikan temperatur menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kandungan logam kromium (Cr) yang semakin tinggi (Sutrisno, 2006). Meskipun terjadi

peningkatan tetapi konsentrasi tersebut tidak melebihi batas baku mutu Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 mengenai Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik dengan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 1 mg/L.

B. Bakteri *Indigenus*

Data hasil pengujian kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Logam Cr pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Sb-2 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sb-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sc-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-4a : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Sb-4b : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Sb-7 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Pada gambar 4.2 dapat dilihat grafik hasil pengujian kadar kromium (Cr) menggunakan bakteri *indigenus* pada sampel air limbah industri tenun di Jepara. Terdapat penurunan kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun menggunakan *Floating Treatment Wetland* selama 25 hari. Konsentrasi awal sampel air limbah bakteri menunjukkan konsentrasi logam kromium sebesar 0,024 mg/L pada hari ke-0. Pada hari ke-25 terjadi penurunan yang signifikan untuk sampel kontrol-1, kontrol-2, Sb-2, Sb-3, Sb-5, Sb-6, Sb-1, Sc-1, Sb-4a, Sb-4b, dan Sb-7 yaitu sebesar 0,024 mg/L menjadi 0 mg/L.

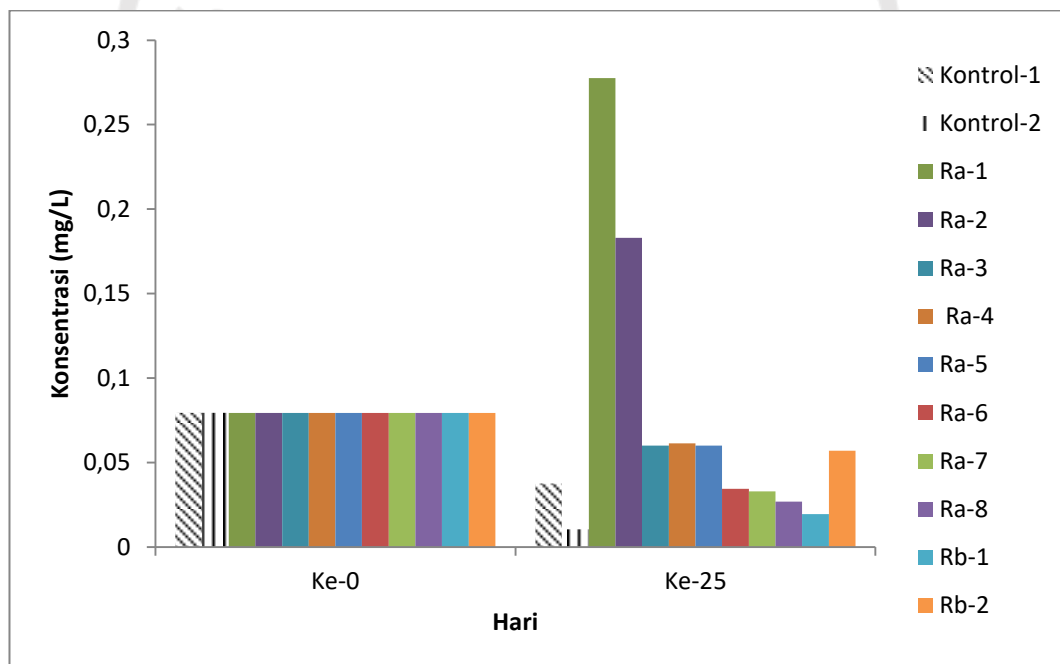
Penurunan konsentrasi secara signifikan tersebut tidak melebihi batas baku mutu Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 mengenai Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik dengan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 1 mg/L.

4.2.2 Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Kadar tembaga (Cu) pada air limbah hasil industri tenun di Jepara mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Floating Treatment Wetland* selama 25 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun.

Data hasil pengujian kadar tembaga (Cu) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Logam Cu pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

Kontrol-1 : Kontrol limbah

Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman

Ra-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*

Ra-2 : Bakteri gram negatif, *Bacillus*

Ra-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-4 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Ra-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-7 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-8 : Bakteri gram positif, *Coccus*

Rb-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Rb-2 : Bakteri gram negative, *Coccus*

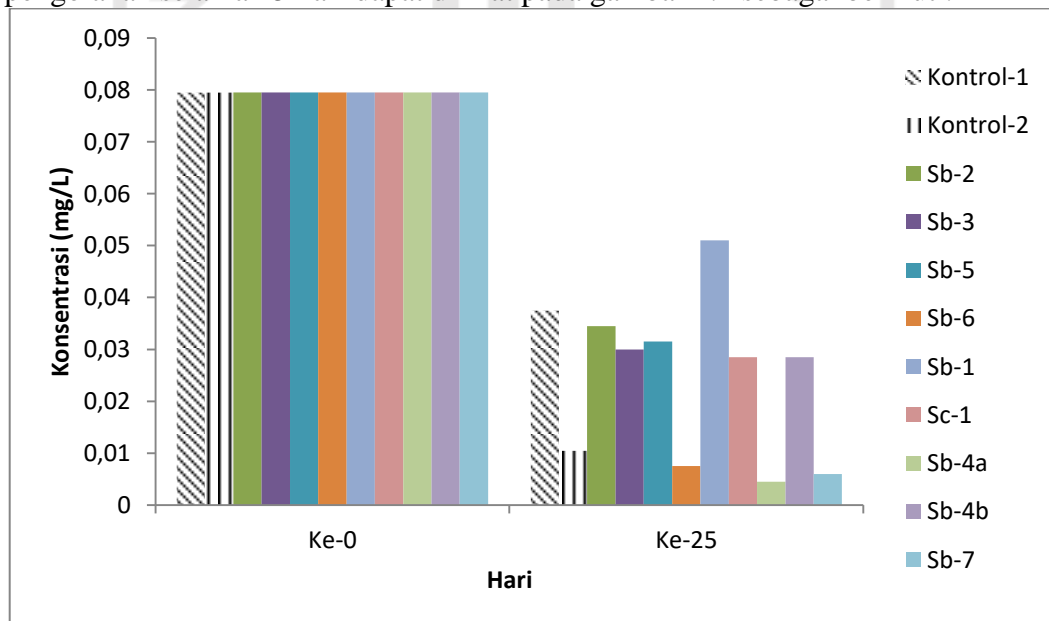
Pada gambar 4.3 didapatkan hasil konsentrasi pengujian logam tembaga (Cu) menggunakan bakteri *endofit*. Pada hari ke-0 didapatkan konsentrasi sebesar 0,078 mg/L. Pada hari ke-25 konsentrasi logam mengalami penurunan secara signifikan pada sampel kontrol-2 mengalami penurunan sebesar 0,069 mg/L menjadi 0,0105 mg/L, Rb-1 mengalami penurunan sebesar 0,06 mg/L menjadi 0,019 mg/L, Ra-8 mengalami penurunan sebesar 0,053 menjadi 0,027 mg/L, Ra-7 mengalami penurunan sebesar 0,047 mg/L menjadi 0,033 mg/L, Ra-6 mengalami penurunan sebesar 0,045 mg/L menjadi 0,035 mg/L, dan kontrol-1 sebesar 0,042 mg/L menjadi 0,038 mg/L.

Sedangkan pada sampel Rb-2 mengalami penurunan sebesar 0,0225 mg/L menjadi 0,057 mg/L, Ra-3 dan Ra-5 mengalami penurunan sebesar 0,0195 mg/L menjadi 0,06 mg/L, dan Ra-4 mengalami penurunan sebesar 0,062 mg/L menjadi 0,018 mg/L. Kenaikan yang signifikan pada sampel Ra-1 mengalami kenaikan sebesar 0,198 mg/L menjadi 0,278 mg/L dan Ra-2 mengalami kenaikan sebesar 0,103 mg/L menjadi 0,183 mg/L. Hal ini disebabkan lamanya waktu kontak air limbah dengan tanaman sehingga mempengaruhi efektifitas tanaman untuk mendegradasi kandungan logam berat pada air limbah karena sifat toksisitas logam pada tanaman semakin meningkat. Selain itu, penyerapan logam juga dipengaruhi oleh konsentrasi, muatan ion, dan keberadaan transporter dalam sel (Manara, A. 2012; Szollosi et al., 2011).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas IV) kandungan tembaga (Cu) pada hasil pengujian dominan masih berada dibawah kadar maksimum sebesar 0,2 mg/L. Tetapi, sampel Ra-1 dan Ra-2 melebihi batas baku mutu.

B. Bakteri *Indigenus*

Data hasil pengujian kadar tembaga (Cu) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Logam Cu pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Sb-2 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sb-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sc-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-4a : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Sb-4b : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Sb-7 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Pada gambar 4.4 didapatkan hasil konsentrasi pengujian logam tembaga (Cu) menggunakan bakteri *indigenus*. Pada hari ke-0 didapatkan konsentrasi sebesar 0,078 mg/L. Pada hari ke-25 konsentrasi logam mengalami penurunan secara signifikan pada sampel Sb-4a mengalami penurunan sebesar 0,075 mg/L menjadi 0,0045 mg/L, Sb-4b mengalami penurunan sebesar 0,074 mg/L menjadi 0,006 mg/L, Sb-6 mengalami penurunan sebesar 0,072 mg/L menjadi 0,008 mg/L, kontrol-2 mengalami penurunan sebesar 0,069 mg/L menjadi 0,011 mg/L, Sb-7 mengalami penurunan sebesar 0,051 mg/L menjadi 0,029 mg/L, Sc-1 mengalami penurunan sebesar 0,051 mg/L menjadi 0,029 mg/L, Sb-3 mengalami penurunan sebesar 0,05 mg/L menjadi 0,03 mg/L, Sb-5 mengalami penurunan sebesar 0,05 mg/L menjadi 0,032 mg/L, Sb-2 mengalami penurunan sebesar 0,045 mg/L menjadi 0,035 mg/L, dan kontrol-1 mengalami penurunan sebesar 0,042 mg/L menjadi 0,038 mg/L. Hal ini disebabkan lamanya waktu kontak air limbah dengan tanaman sehingga mempengaruhi efektifitas tanaman untuk mendegradasi kandungan logam berat pada air limbah karena sifat toksisitas logam pada tanaman semakin meningkat. Selain itu, penyerapan logam juga dipengaruhi oleh konsentrasi, muatan ion, dan keberadaan transporter dalam sel (Manara, A. 2012; Szollosi et al., 2011).

Sb-1 mengalami penurunan konsentrasi yang cukup signifikan sebesar 0,0285 mg/L menjadi 0,051 mg/L. Terjadinya penurunan konsentrasi tembaga (Cu) yang merupakan salah satu sumber nutrisi bagi tanaman untuk tumbuh, berkembang, dan reproduksi (ITRC, 2009).

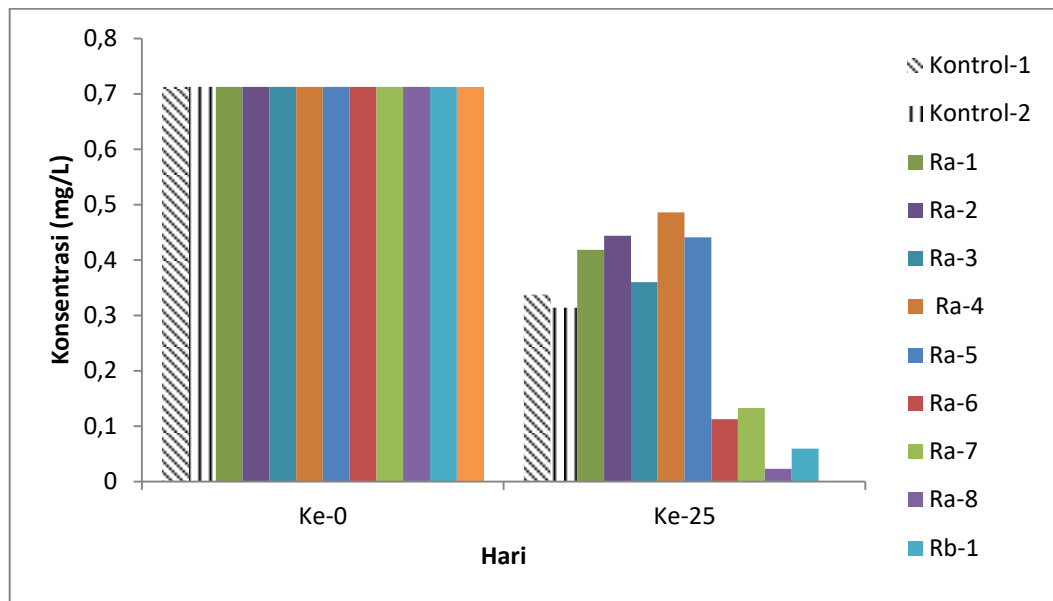
Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas IV) kandungan tembaga (Cu) pada hasil pengujian dominan masih berada dibawah kadar maksimum sebesar 0,2 mg/L.

4.2.3 Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Kadar timbal (Pb) pada air limbah hasil industri tenun di Jepara mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi. Setelah melewati masa pengolahan menggunakan *Floating Treatment Wetland* selama 25 hari terdapat penurunan kadar kromium pada air limbah tenun.

Data hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.5 sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi Logam Pb pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Ra-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Ra-2 : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Ra-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-4 : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Ra-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-7 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-8 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Rb-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Rb-2 : Bakteri gram negative, *Coccus*

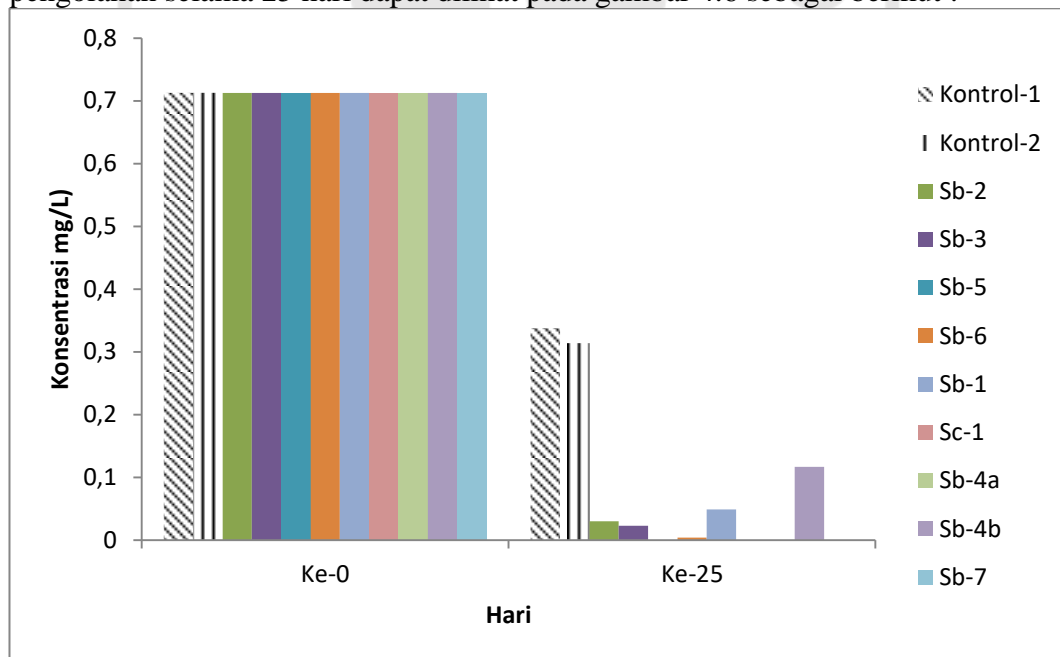
Pada gambar 4.5 dapat dilihat hasil konsentrasi pengujian logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *endofit*. Hasil konsentrasi hari ke-0 yaitu 0,713 mg/L. Pada hari ke-25 terjadi penurunan konsentrasi limbah secara signifikan pada sampel Rb-2 mengalami penurunan sebesar 0,713 mg/L menjadi 0 mg/L, Ra-8 mengalami penurunan sebesar 0,09 mg/L menjadi 0,023 mg/L, Rb-1 mengalami penurunan sebesar 0,066 mg/L menjadi 0,06 mg/L, Ra-6 mengalami penurunan sebesar 0,599 mg/L menjadi 0,113 mg/L, Ra-7 mengalami penurunan sebesar 0,58 mg/L menjadi 0,133 mg/L, kontrol-2 mengalami penurunan sebesar 0,399 mg/L menjadi 0,314 mg/L, dan kontrol-1 mengalami penurunan sebesar 0,375 mg/L menjadi 0,338 mg/L. Sedangkan pada sampel Ra-3 mengalami penurunan sebesar 0,353 mg/L menjadi 0,36 mg/L, Ra-1 mengalami penurunan sebesar 0,294 mg/L menjadi 0,419 mg/L, Ra-5 mengalami penurunan sebesar 0,28 mg/L menjadi 0,441 mg/L, Ra-2 mengalami penurunan sebesar 0,269 mg/L menjadi 0,44 mg/L, Ra-4 mengalami penurunan sebesar 0,227 mg/L menjadi 0,486 mg/L. Menurut (Alloway 1995) Timbal akan diserap oleh tanaman karena faktor kandungan

bahan organik, menurunnya kesuburan tanah serta nilai pH dapat mempengaruhi kadar Pb pada air limbah. Terjadinya pengendapan pada dasar reaktor air limbah yang menyebabkan penurunan limbah secara signifikan pada kontrol limbah di hari ke-0. Selain itu, faktor internal seperti kondisi tanaman berpengaruh terhadap penurunan logam berat dan faktor eksternal seperti lingkungan yang tidak mendukung proses metabolisme (Aryani, 2015). Menurut (Sutrisno, 2006) kadar oksigen dalam air dan kenaikan temperatur menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kandungan logam semakin meningkat. Bakteri dapat menurunkan kandungan timbal karena memiliki nilai toleransi untuk beradaptasi dan mendegradasi logam pada air limbah (Sholikah & Kuswytasari, 2013).

Secara umum konsentrasi logam timbal (Pb) yang didapatkan pada semua sampel mengalami penurunan dan tidak melebihi baku mutu dari Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas IV) hasilnya masih dibawah kadar maksimum sebesar 1 mg/L.

B. Bakteri *Indigenus*

Data hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada air limbah tenun setelah pengolahan selama 25 hari dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Konsentrasi Logam Pb pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Sb-2 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sb-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sc-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

- Sb-4a : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Sb-4b : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Sb-7 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil konsentrasi pengujian logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *indigenus*. Hasil konsentrasi hari ke-0 yaitu 0,713 mg/L. Pada hari ke-25 terjadi penurunan konsentrasi limbah secara signifikan pada sampel Sb-5, Sc-1, dan Sb-4a masing-masing mengalami penurunan sebesar 0,713 mg/L menjadi 0 mg/L. Sedangkan pada sampel Sb-6 mengalami penurunan sebesar 0,71 mg/L menjadi 0,004 mg/L, Sb-3 mengalami penurunan sebesar 0,69 mg/L menjadi 0,022 mg/L, Sb-2 mengalami penurunan sebesar 0,683 mg/L menjadi 0,029 mg/L, Sb-1 mengalami penurunan sebesar 0,664 mg/L menjadi 0,049 mg/L, Sb-4b dan Sb-7 mengalami penurunan sebesar 0,596 mg/L menjadi 0,117 mg/L, kontrol-2 mengalami penurunan sebesar 0,399 mg/L menjadi 0,314 mg/L dan kontrol-1 mengalami penurunan sebesar 0,375 mg/L menjadi 0,338 mg/L.

Secara umum konsentrasi logam timbal (Pb) yang didapatkan pada semua sampel mengalami penurunan dan tidak melebihi baku mutu dari Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas IV) hasilnya masih dibawah kadar maksimum sebesar 1 mg/L.

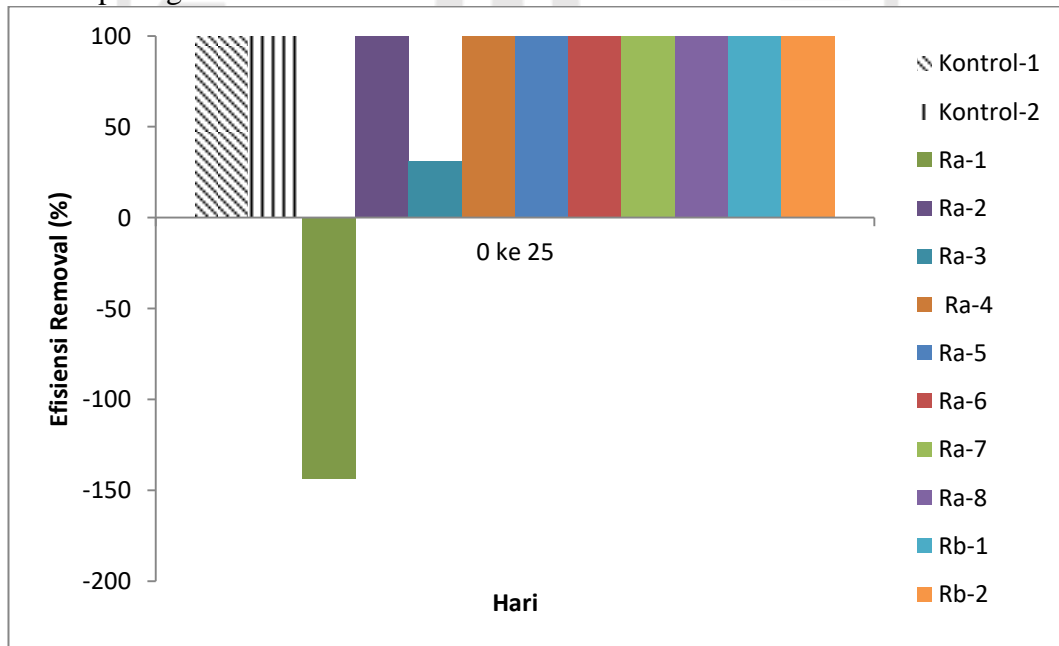
4.3 Persentase *Removal* Konsentrasi Logam pada Air Limbah Tenun

Persentase *removal* konsentrasi logam kromium (Cr), tembaga (Cu), dan timbal (Pb) pada air limbah tenun dapat dilihat sebagai berikut :

4.3.1 Persentase *Removal* Logam Kromium (Cr) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Berikut efisiensi *removal* kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Cr pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

Kontrol-1	: Kontrol limbah
Kontrol-2	: Kontrol limbah+tanaman
Ra-1	: Bakteri gram positif, <i>Coccus</i>
Ra-2	: Bakteri gram negatif, <i>Bacillus</i>
Ra-3	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Ra-4	: Bakteri gram negatif, <i>Coccus</i>
Ra-5	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Ra-6	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Ra-7	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Ra-8	: Bakteri gram positif, <i>Coccus</i>
Rb-1	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Rb-2	: Bakteri gram negative, <i>Coccus</i>

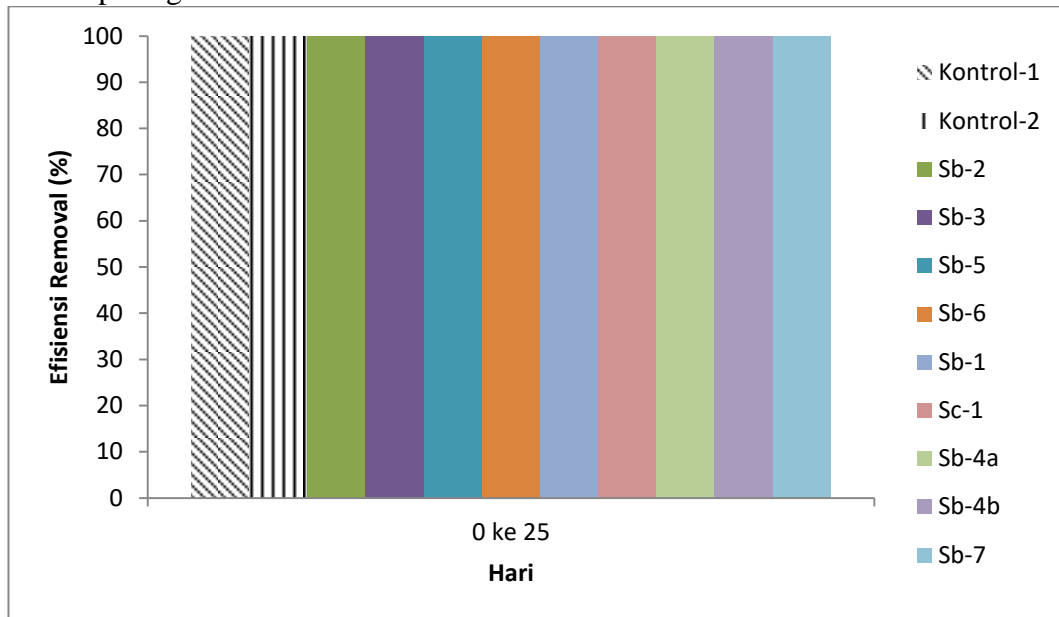
Pada gambar 4.7 didapatkan data efisiensi *removal* kromium (Cr) menggunakan bakteri *endofit*. Pada sampel kontrol-1 kontrol-2, Ra-2, Ra-4, Ra-5, Ra-6, Ra-7, Ra-8, Rb-1, dan Rb-2 mengalami kenaikan efisiensi *removal* yang signifikan yaitu masing-masing 100%. Sedangkan pada sampel Ra-3 mengalami kenaikan *removal* logam yang cukup signifikan yaitu 31,25%. Hal tersebut disebabkan oleh aktivitas mikroorganismenya yang membantu penurunan konsentrasi kromium (Cr) serta kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dapat mengakumulasi kontaminan kromium (Cr) digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi zat tercemar (Agusetyadevy et al., 2013)

Sedangkan pada sampel Ra-1 tidak mengalami kenaikan konsentrasi logam kromium (Cr) sehingga tidak terjadi kenaikan efisiensi *removal*. Hal tersebut disebabkan kadar logam yang mengalami fluktuasi akibat faktor internal seperti kondisi tanaman serta faktor eksternal berupa temperature, pH, dan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) yang mempengaruhi keberadaan logam dalam air (Aryani, 2015).

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri *endofit* mampu mengurangi kadar logam kromium (Cr) dan reaktor tanpa pengolahan juga mengalami penurunan kadar logam kromium (Cr). Hal ini disebabkan lamanya waktu kontak air limbah dengan tanaman sehingga mempengaruhi efektifitas tanaman untuk mendegradasi kandungan logam berat pada air limbah karena sifat toksisitas logam pada tanaman semakin meningkat. Selain itu, penyerapan logam juga dipengaruhi oleh konsentrasi, muatan ion, dan keberadaan transporter dalam sel (Manara, A. 2012; Szollosi et al., 2011). Logam yang mengendap secara alamiah pada dasar reaktor dapat meningkatkan konsentrasi polutan dan diserap akan oleh mikroorganismenya yang ada (Sarjono, 2009). Sehingga pada saat proses pengambilan sampling terlalu dalam akan meningkatkan kandungan kromium (Cr) seperti pada reaktor Ra-1.

B. Bakteri *Indigenus*

Berikut efisiensi *removal* kadar kromium (Cr) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Cr pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Sb-2 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sb-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sc-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-4a : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Sb-4b : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Sb-7 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Pada gambar 4.8 didapatkan data efisiensi *removal* kromium (Cr) menggunakan bakteri *indigenus*. Pada sampel kontrol-1 kontrol-2, Sb-2, Sb-3, Sb-5, Sb-6, Sb-1, Sc-1, Sb-4a, Sb-4b, dan Sb-7 mengalami kenaikan efisiensi *removal* yang signifikan yaitu masing-masing 100%. Hal tersebut disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang membantu penurunan konsentrasi kromium (Cr) serta kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dapat mengakumulasi kontaminan kromium (Cr) digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi zat tercemar (Agusetyadevy et al., 2013). Hal ini dapat disebabkan pula oleh tanaman yang mampu mengikat bahan organik sehingga dapat menstabilkan dan menetralkan perairan yang tercemar kromium (Cr) (Setiyono, 2014). Selain itu, bakteri juga dapat menurunkan konsentrasi Cr karena terjadi proses aerobik dan anaerobik pada enzim terutama pada enzim *chromate reductase* (Priester et al., 2006).

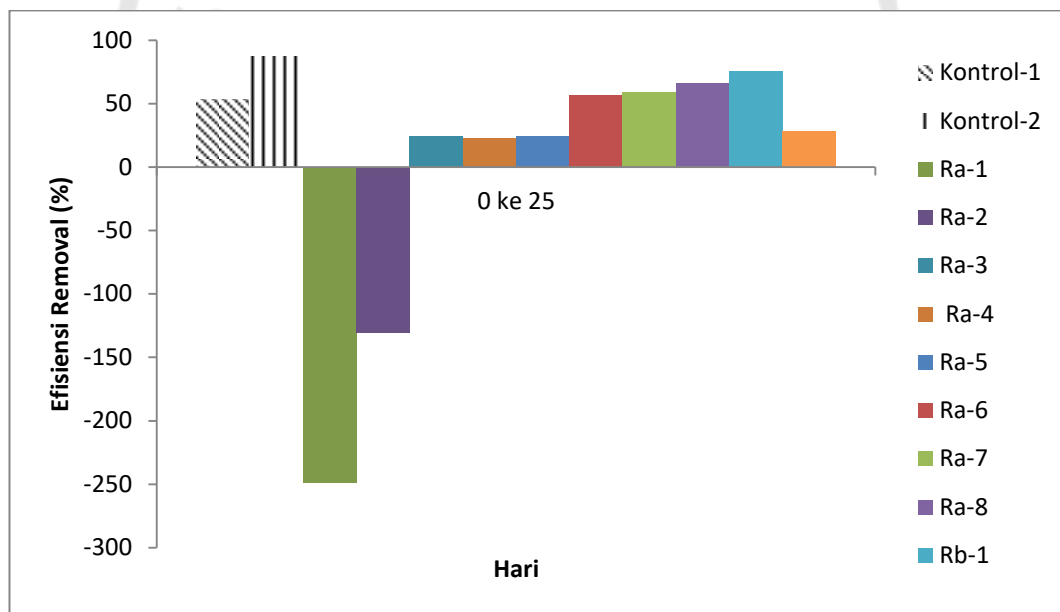
Hal ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Tara et al., 2019) didapatkan penurunan konsentrasi logam Cr dan Fe melebihi 90%, Ni melebihi 80%, dan Cd melebihi 60% pada limbah cair industri tekstil.

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri mampu mengurangi kadar logam kromium (Cr) dan reaktor tanpa pengolahan juga mengalami penurunan kadar logam kromium (Cr).

4.3.2 Persentase *Removal* Logam Tembaga (Cu) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Berikut efisiensi *removal* kadar tembaga (Cu) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut :



Gambar 4.9 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Cu pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

Kontrol-1 : Kontrol limbah

Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman

Ra-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*

Ra-2 : Bakteri gram negatif, *Bacillus*

Ra-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-4 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Ra-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-7 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Ra-8 : Bakteri gram positif, *Coccus*

Rb-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

Rb-2 : Bakteri gram negative, *Coccus*

Pada gambar 4.9 didapatkan data efisiensi *removal* tembaga (Cu) menggunakan bakteri *endofit*. Pada sampel kontrol 2 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 86,80%, Rb-1 mengalami kenaikan sebesar 75,48%, Ra-

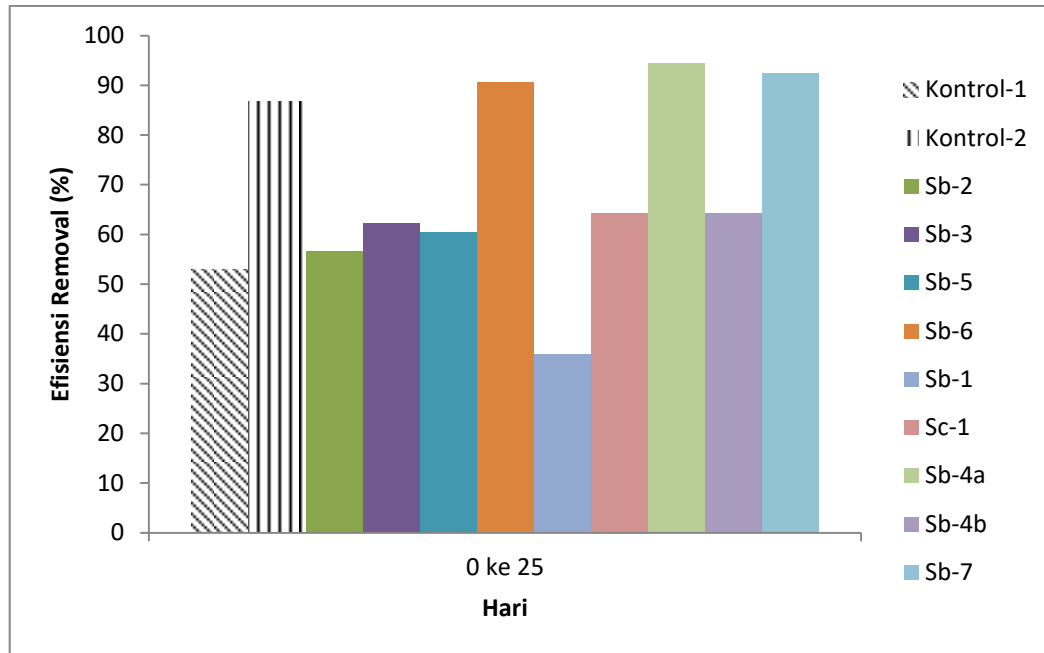
8 mengalami kenaikan sebesar 66,04%, Ra-7 mengalami kenaikan sebesar 58,50%, Ra-6 mengalami kenaikan sebesar 56,60%, dan kontrol 1 mengalami kenaikan sebesar 52,83%. Semua sampel tersebut mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Sedangkan pada sampel Rb-2 Ra-3, Ra-5, dan Ra-4 didapatkan hasil efisiensi *removal* yang cukup signifikan yaitu masing-masing 28,30%, 24,53%, 24,53%, dan 22,64%. Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010). Selain itu, bakteri memiliki nilai toleransi untuk menyerap kandungan logam pada air limbah. Konsentrasi logam yang tinggi dapat mempengaruhi proses pertumbuhan morfologi, biomassa, beragam populasi mikroorganisme, serta aktivitas biomassa (Abdelatey et al., 2011).

Sedangkan pada sampel Ra-1 dan Ra-2 mengalami kenaikan konsentrasi logam tembaga (Cu) sehingga tidak terjadi kenaikan efisiensi *removal*. Hal tersebut dapat terjadi karena waktu kontak antara tanaman dengan air limbah sehingga kemampuan penyerapan tanaman terhadap logam semakin berkurang karena tingkat toksisitas tanaman yang semakin meningkat. Penyerapan logam dipengaruhi oleh konsentrasi, aktivitas transporter dalam sel, dan muatan ion (Manara 2012; Szollosi et al., 2011). Logam yang mengendap secara alamiah pada dasar reaktor dapat meningkatkan konsentrasi polutan dan diserap akan oleh mikroorganisme yang ada (Sarjono, 2009). Sehingga pada saat proses pengambilan sampling terlalu dalam akan meningkatkan kandungan Cu seperti pada reaktor Ra-1 dan Ra-2.

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri mampu mengurangi kadar logam tembaga (Cu) pada beberapa reaktor dan reaktor kontrol juga mengalami penurunan kadar logam tembaga (Cu). Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010).

B. Bakteri *Indigenous*

Berikut efisiensi *removal* kadar tembaga (Cu) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut :



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Cu pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Sb-2 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sb-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Sc-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Sb-4a : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Sb-4b : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Sb-7 : Bakteri gram negatif, *Coccus*

Pada gambar 4.10 didapatkan data efisiensi *removal* tembaga (Cu) menggunakan bakteri *indigenus*. Pada sampel Sb-4a mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 94,34%, Sb-4b mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 92,45%, Sb-6 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 90,57%, kontrol-2 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 86,80%, Sb-7 dan Sc-1 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 64,15%, Sb-3 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 62,26 %, Sb-5 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 60,38%, Sb-2 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 56,60%, dan kontrol-1 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 52,83%. Semua sampel tersebut mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Sedangkan pada sampel Sb-1 didapatkan hasil efisiensi *removal* yang cukup signifikan yaitu 35,85 %. Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010). Selain itu, bakteri memiliki nilai toleransi untuk menyerap kandungan logam pada air limbah. Konsentrasi logam yang tinggi dapat mempengaruhi proses pertumbuhan morfologi, biomassa, beragam

populasi mikroorganismenya, serta aktivitas biomassa (Abdelatey et al., 2011). Selain itu, tembaga (Cu) merupakan salah satu sumber nutrisi bagi tanaman untuk tumbuh, berkembang, dan reproduksi (ITRC, 2009).

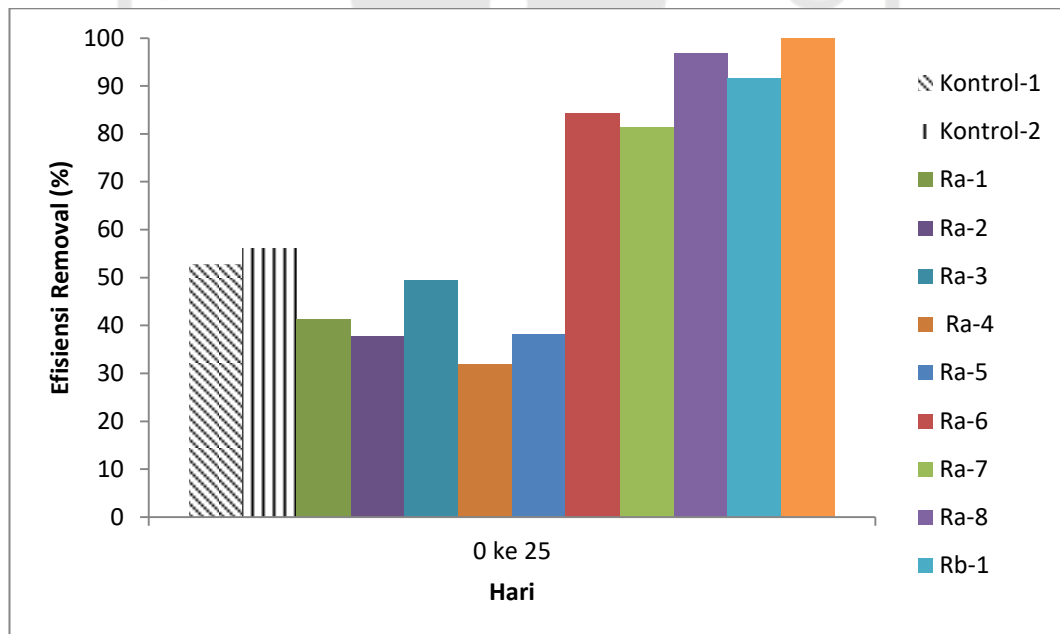
Hal ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Borne et al., 2013) menyatakan bahwa tanaman *Schoenoplectus tabernaemontani* menggunakan pengolahan sistem *Floating Treatment Wetland* mampu mendegradasi logam tembaga (Cu) partikulat 39% dan tembaga (Cu) terlarut 16%.

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri mampu mengurangi kadar logam tembaga (Cu) pada beberapa reaktor dan reaktor kontrol juga mengalami penurunan kadar logam tembaga (Cu). Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010).

4.3.3 Persentase *Removal* Logam Timbal (Pb) pada Air Limbah Tenun

A. Bakteri *Endofit*

Berikut efisiensi *removal* kadar timbal (Pb) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut :



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Pb pada Bakteri *Endofit*

Keterangan :

- Kontrol-1 : Kontrol limbah
- Kontrol-2 : Kontrol limbah+tanaman
- Ra-1 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Ra-2 : Bakteri gram negatif, *Bacillus*
- Ra-3 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-4 : Bakteri gram negatif, *Coccus*
- Ra-5 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-6 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Ra-7 : Bakteri gram positif, *Bacillus*

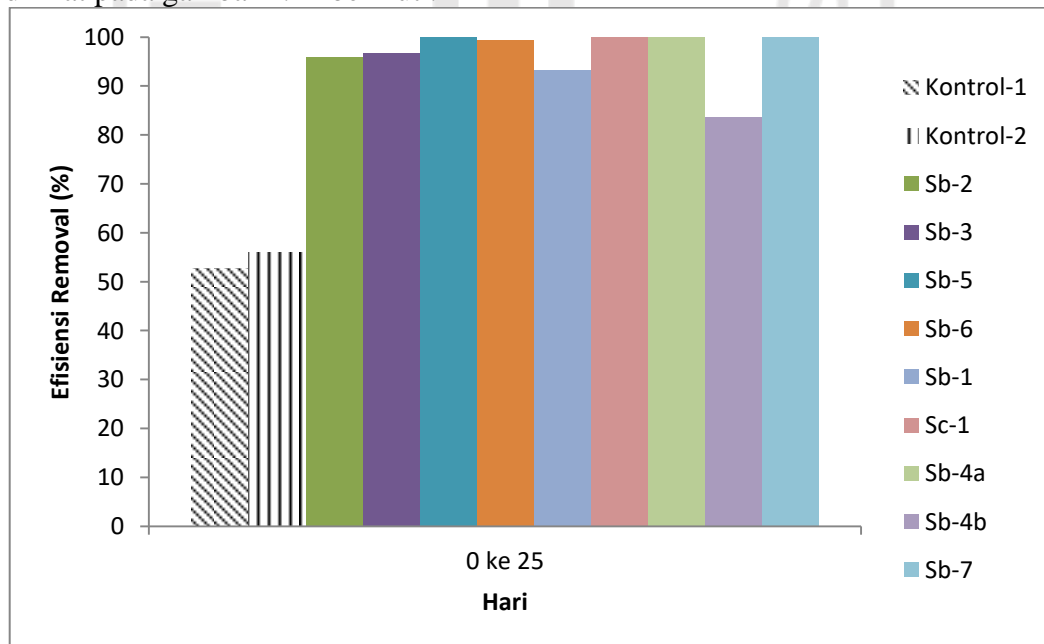
- Ra-8 : Bakteri gram positif, *Coccus*
- Rb-1 : Bakteri gram positif, *Bacillus*
- Rb-2 : Bakteri gram negative, *Coccus*

Pada gambar 4.11 dapat dilihat hasil efisiensi *removal* logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *endofit* menunjukkan kenaikan efisiensi *removal* yang signifikan seperti pada Rb-2 mengalami kenaikan efisiensi *removal* sebesar 100%, Ra-8 sebesar 96,78%, Rb-1 sebesar 91,62%, Ra-6 sebesar 84,18%, Ra-6 sebesar 84,18%, Ra-7 sebesar 81,31%, kontrol-2 sebesar 56%, dan kontrol-1 sebesar 52,63%. Sedangkan pada sampel Ra-3, Ra-1, Ra-5, Ra-2, dan Ra-4 mengalami kenaikan efisiensi *removal* yang cukup signifikan masing-masing 49,47%, 41,26%, 38,11%, 37,68%, dan 31,79%. Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010). Serta bakteri yang memiliki nilai toleransi untuk menyerap kandungan logam pada air limbah. Konsentrasi logam yang tinggi dapat mempengaruhi proses pertumbuhan morfologi, biomassa, beragam populasi mikroorganisme, serta aktivitas biomassa (Abdelatey et al., 2011).

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri mampu mengurangi kadar logam timbal (Pb) dan reaktor kontrol juga mengalami penurunan kadar logam timbal (Pb) yang didukung oleh pernyataan (Sarjono, 2009) bahwa logam akan mengalami pengendapan pada dasar reaktor sehingga secara alamiah akan diserap oleh mikroorganisme pada air limbah.

B. Bakteri *Indigenus*

Berikut efisiensi *removal* kadar timbal (Pb) pada air limbah tenun dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut :



Gambar 4.12 Grafik Efisiensi *Removal* Logam Pb pada Bakteri *Indigenus*

Keterangan :

Kontrol-1	: Kontrol limbah
Kontrol-2	: Kontrol limbah+tanaman
Sb-2	: Bakteri gram positif, <i>Coccus</i>
Sb-3	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Sb-5	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Sb-6	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Sb-1	: Bakteri gram positif, <i>Coccus</i>
Sc-1	: Bakteri gram positif, <i>Bacillus</i>
Sb-4a	: Bakteri gram negatif, <i>Coccus</i>
Sb-4b	: Bakteri gram negatif, <i>Bacillus</i>
Sb-7	: Bakteri gram negatif, <i>Coccus</i>

Pada gambar 4.12 dapat dilihat hasil efisiensi *removal* logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *indigenus* menunjukkan kenaikan efisiensi *removal* yang signifikan seperti pada sampel Sb-5, Sc-1, dan Sb-4a mengalami kenaikan efisiensi *removal* masing-masing 100%, Sb-6 sebesar 99,45%, Sb-3 sebesar 96,78%, Sb-2 sebesar 95,82%, Sb-1 sebesar 93,15%, Sb-4b dan Sb-7 masing-masing sebesar 83,60%. Sedangkan pada sampel kontrol-2 dan kontrol-1 mengalami kenaikan efisiensi *removal* yang cukup signifikan masing-masing sebesar 56% dan 52,63%. Hal ini dipengaruhi konsentrasi oksigen dalam air yang dapat menurunkan konsentrasi logam (Habashy & Hassan, 2010). Serta bakteri yang memiliki nilai toleransi untuk menyerap kandungan logam pada air limbah. Konsentrasi logam yang tinggi dapat mempengaruhi proses pertumbuhan morfologi, biomassa, beragam populasi mikroorganisme, serta aktivitas biomassa (Abdelatey et al., 2011).

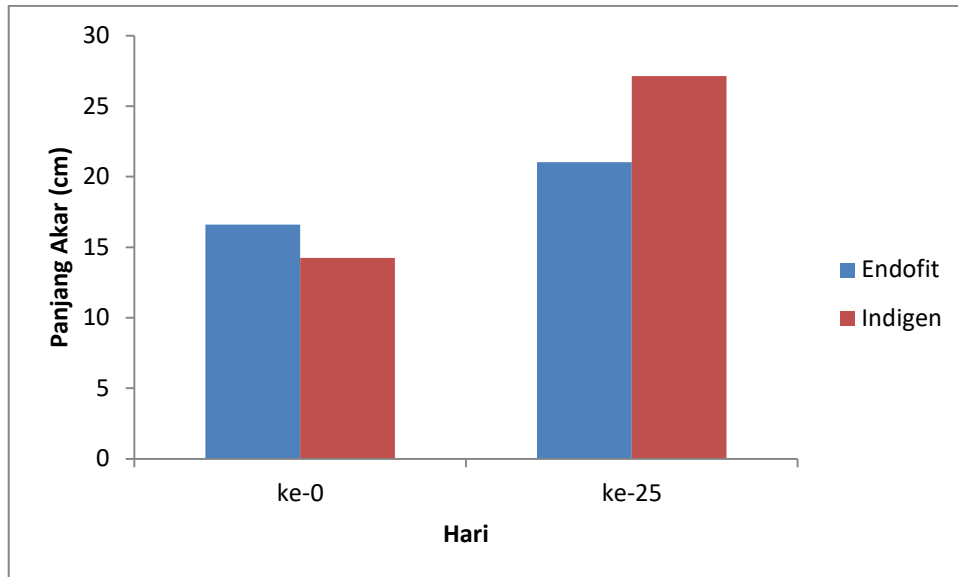
Hal ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Roongtanakiat et al., 2007) bahwa terjadi penurunan yang cukup signifikan pada logam timbal (Pb), tanaman pada sampel W1 yang menggunakan *Vetiveria zizanioides* mampu mendegradasi logam timbal (Pb) sebesar 8,94%.

Berdasarkan data yang telah didapatkan reaktor yang mengalami pengolahan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi dengan bakteri mampu mengurangi kadar logam timbal (Pb) dan reaktor kontrol juga mengalami penurunan kadar logam timbal (Pb) yang didukung oleh pernyataan (Sarjono, 2009) bahwa logam akan mengalami pengendapan pada dasar reaktor sehingga secara alamiah akan diserap oleh mikroorganisme pada air limbah.

4.4 Pertumbuhan Morfologi Tanaman

Pada penelitian ini selain untuk mengetahui kemampuan tanaman *Vetiveria zizanioides* terhadap degradasi logam pada limbah tenun juga dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diukur panjang akar tanaman pada hari ke-0 dan 28

Berikut adalah grafik yang menunjukkan panjang akar tanaman selama penelitian.



Gambar 4.13 Grafik Rata-Rata Pertumbuhan Tanaman

Tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dikombinasikan bakteri *endofit* sebanyak 10 sampel dengan rata-rata pertumbuhan awal yaitu 17 cm dan rata-rata pertumbuhan akhir tanaman yaitu 21 cm. Sedangkan untuk tanaman *Vetiveria zizanioides* yang dikombinasikan bakteri *indigenus* sebanyak 9 sampel memiliki nilai rata-rata awal tanaman yaitu 14,25 cm dan rata-rata akhir tanaman yaitu 27,12 cm. Masing-masing tanaman berdasarkan bakteri yang telah ditambahkan menunjukkan pertumbuhan yang signifikan yaitu rata-rata pada tanaman *Vetiveria zizanioides* yang ditambahkan bakteri *endofit* pada rata-rata hari awal dan akhir memiliki perbedaan sebanyak 5 cm dan pada tanaman yang ditambahkan bakteri *indigenus* memiliki perbedaan sebanyak 14,11 cm. Hal tersebut dikarenakan kemampuan bakteri yang mensintesis protein protease serta menghasilkan senyawa fosfat sebagai unsur hara bagi tanaman (Murthi et al., 2016). Serta adanya kandungan logam Cu sebagai salah satu unsur hara bagi tanaman untuk tumbuh, berkembang, reproduksi, dll. Zat lain yang masih diperlukan oleh tanaman seperti N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cl, Zn, Mn, Cu, B, dan Mo sebagai nutrisi bagi tanaman untuk berkembang (ITRC, 2009). Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.14 Kondisi Daun Tanaman *Vetiveria zizanioides* pada Hari ke-0



Gambar 4.15 Kondisi Daun Tanaman *Vetiveria zizanioides* pada Hari ke-28

Pertumbuhan tanaman dapat berubah setiap hari, perbedaan pada pertumbuhan setiap tanaman disebabkan perbedaan kemampuan setiap tanaman dalam menyerap nutrisi tidak sama. Selama *running* reaktor terdapat perubahan pada tanaman seperti perubahan pada tanaman *Vetiveria zizanioides* hari ke-0 didominasi warna hijau dan kemudian pada hari ke-28 beberapa batang tanaman *Vetiveria zizanioides* menjadi cokelat. Hal tersebut disebabkan tanaman yang menyerap logam terlalu banyak sehingga kehilangan klorofil atau biasa disebut klorosis sehingga daun menjadi kuning serta tanaman mengalami nekrosis yaitu gejala kematian sel pada tanaman yang ditandai daun yang menggulung dan keriput (Abadin, 2007).

(Gupta & Sinha, 2008) menyatakan bahwa akar tanaman dapat mengenali logam sebagai unsur toksik sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur tersebut di vakuola atau pada dinding sel. Penelitian yang

dilakukan oleh (Chuntong et al., 1998) menyatakan tanaman *Vetiveria zizanioides* mampu tumbuh dengan baik pada air sungai tercemar limbah selama 4 minggu. Menurut (Priyanto dan Prayitno, 2004), tanaman menimbun logam pada bagian akar sehingga terjadi proses detoksifikasi. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi harus memiliki kemampuan menyerap logam berat dengan konsentrasi tinggi dan menyebarkan kandungan logam tersebut ke jaringan tanaman seperti akar, batang, dan daun. Tanaman *Vetiveria zizanioides* bersifat hiperakulasi yang mampu menyerap polutan dalam jumlah banyak (Hamzah et al., 2019).

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

Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi harus mempunyai produktivitas biomassa yang tinggi, harapan hidup yang pendek, dan toleransi serta kapasitas akumulasi konsentrasi yang tinggi terhadap kontaminan (Raskin et al., 1997). Tanaman *Vetiveria zizanioides* mampu beradaptasi dengan produktivitas biomassa yang besar sehingga dapat tumbuh pada kondisi tanah yang berbeda-beda sehingga bany

ak konservasi tanah dan air menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* (Ramadhani, 2019). Akar tanaman dapat mengenali logam sebagai unsur toksik sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur tersebut di vakuola atau pada dinding sel (Gupta & Sinha, 2008).

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

Penelitian serupa dilakukan oleh (Nurtana et al., 2018) hasil pemantauan pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28 menunjukkan penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu menurunkan kadar Fe 15%-93%, Pb 20%-100%, dan Cu 18%-93% sedangkan bakteri pada boks kontrol yang berisi air limbah dapat mendegradasi kandungan polutan seperti Fe dan Pb mencapai 100%. Waktu kontak dan panjang reaktor memiliki peranan penting untuk mendegradasi polutan pada air limbah. Semakin banyak jumlah tanaman dan lama waktu kontak maka semakin besar kemungkinan untuk mendegradasi polutan (Kadlec, 2003).

Menurut penelitian yang pernah dilakukan oleh (Singh et al., 2015) Fe memiliki efisiensi reduksi tertinggi pada panjang akar 10 cm untuk konsentrasi rendah (95%) dan konsentrasi tinggi (97%) setelah 10 hari diikuti oleh Pb (70%), Cu dan Mn, sementara Zn memiliki efisiensi reduksi terendah. Efisiensi antara logam berat dalam air terlepas dari panjang akar dapat diurutkan Fe>Pb>Cu>Mn>Zn untuk kedua perlakuan dalam konsentrasi rendah dan tinggi. Faktor yang mempengaruhi penurunan kadar logam salah satunya waktu kontak tanaman yang lama sehingga akar tanaman mampu menyerap kontaminan secara efektif dengan membentuk suatu zat firosiderofor dan menyebarkan kontaminan

melalui jaringan pengangkut *xylem* dan *floem* (Hardiani et al., 2008). Selain itu, logam berat yang mengalami pengendapan pada perairan akan diserap oleh organisme yang ada pada perairan (Sarjono, 2009).

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

Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Nurullah et al., 2018) mengenai efektivitas penurunan logam Pb, Cu, dan Fe dengan menggunakan tanaman kolonjo (*Brachiaria mutica*) dan bakteri. *Removal* Pb antara 12 – 99% untuk setiap reaktor. *Removal* logam Cu antara 1,72 – 96%. Secara efisien nilai logam yang mengalami penurunan konsentrasi yaitu Pb > Cu > Fe sedangkan pada bakteri yang ditambahkan pada boks kontrol berisi air limbah 50% mampu mendegradasi 78 – 100% dan bakteri yang telah ditambahkan pada boks kontrol limbah 100% mampu mendegradasi hingga 80 – 100% untuk logam Pb, Cu, dan Fe. Hasil *removal* logam berat dapat meningkat karena faktor luas permukaan yang lebih besar dari pada panjang akar tanaman untuk proses penyerapan logam pada akar tanaman (Darajeh et al., 2014). Selain itu untuk reaktor yang tidak ada pengolahan secara biologis menyebabkan logam mengendap dan diserap oleh mikroorganisme yang ada (Sarjono, 2009) Logam pada air limbah yang diserap bakteri karena reaksi enzimatik dapat dimanfaatkan untuk proses metabolisme di dalam sel sehingga tidak bersifat toksik. Bakteri memiliki nilai toleransi untuk kandungan logam yang dapat diserap sehingga konsentrasi logam yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan, morfologi, aktivitas, biokimia, penurunan biomassa, dan keanekaragaman populasi mikroorganisme (Abdelatey et al., 2011).

Serupa pada penelitian yang dilakukan oleh (Askuroini, 2019) pada sampel kontrol persentase *removal* logam Cr 94%, Cu 53%, Cd 175%, dan Pb - 116%. Sedangkan limbah yang dikombinasikan dengan bakteri *indigenous* Persentase *removal* logam Cr 98%, Cu 87%, Cd 40%. Sedangkan penelitian yang menggunakan bakteri *endofit* menunjukkan bahwa hasil persentase *removal* logam Cr 93%, Cu 65%, serta Pb 34%. Hal ini disebabkan karena bakteri yang memiliki kemampuan untuk mereduksi logam berat karena proses biosorpsi yang menyerap logam secara pasif sehingga struktur sel bakteri tetap utuh dan proses bioakumulasi secara aktif tidak merusak struktur sel bakteri (Chojnacka, 2010).



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tanaman *Vetiveria zizanioides* dengan atau tanpa bakteri *endofit* mampu mengurangi kadar logam Cr sebesar 31,25 – 100%, logam Cu sebesar 22,64 – 86,80%, dan logam Pb sebesar 31,78 – 100%. Sedangkan pada tanaman *Vetiveria zizanioides* dengan atau tanpa bakteri *indigenous* mampu mengurangi kadar logam Cr sebesar 100%, logam Cu sebesar 35,85 – 94,34%, dan logam Pb sebesar 52,63 – 100% pada air limbah industri pengolahan kain tenun di Jepara.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu penelitian air limbah seharusnya membutuhkan pengujian data yang lebih banyak tidak hanya dari hari ke-0 dan hari ke-25 serta konsentrasi 100% saja. Penelitian membutuhkan banyak data pembanding lainnya agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abadin, H. (2007). Copper in plants. *Toxicological Profile for Lead*. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). <https://doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158766>.
- Abdelatey, L. M., Khalil, W. K. B., Ali, T. H., & Mahrous, K. F. (2011). Heavy Metal Resistance and Gene Expression Analysis of Metal Resistance Genes in Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria Present in Egyptian Soils. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 6(2), 201–211.
- Agusetyadevy, I., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (2013). Fitoremediasi Limbah Yang Mengandung Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Dengan Menggunakan Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2, 1–8.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Second Edition. Glasgow : Blackie Academic & Professional An Imprint of Chapman & Hall.
- Ambarwati, Y., & Bahri, S. (2018). Review: Fitoremediasi Limbah Logam Berat dengan Tumbuhan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L). *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(02), 139–147. <https://doi.org/10.23960/aec.v3.i2.2018.p139-147>
- Arief, M., Sulmartiwi, L., Prayogo, & Saputri, H. M. (2010). Isolasi Bakteri Indigen Sebagai Pendegradasi Bahan Organik Pada Media Pembenuhan Ikan Lele Dumbo (*Clarias* sp.) Sistem Sirkulasi Tertutup. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 2(2), 117–122.
- Aryani, D. (2015). *Pemanfaatan Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*, L.) Dalam Proses Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu). Cd.*
- Askuroini, M. (2019). *Evaluasi Biodegradasi Kandungan Logam dan Dissolve Organic Carbon Limbah Tenun Desa Troso.*
- ATCC. (2021). Introduction to. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 12(1s), 1–2. <https://doi.org/10.1145/2820400>
- Backman, P. A., & Sikora, R. A. (2008). Endophytes: An emerging tool for biological control. *Biological Control*, 46(1), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.03.009>
- Batubara, U. M., Susilawati, I. O., & Riany, H. (2015). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Indigen Tanah Di Kawasan Kampus Universitas Jambi Isolation and Characterization of Indigenous Soil Bacteria in. *Prosiding Semirata 2015 Bidang MIPA BKS-PTN Bara*, 243–250.
- Berniyanti, T. (2019). *Biomarker Toksisitas Paparan Logam Tingkat Molekuler.*
- Borne, K. E., Fassman, E. A., & Tanner, C. C. (2013). Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. *Ecological Engineering*, 54, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.031>
- Brader, G., Compant, S., Mitter, B., Trognitz, F., & Sessitsch, A. (2014). Metabolic potential of endophytic bacteria. *Current Opinion in Biotechnology*, 27, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.09.012>
- Bulele, T., Rares, F. E. S., & Porotu'o, J. (2019). Identifikasi Bakteri dengan Pewarnaan Gram pada Penderita Infeksi Mata Luar di Rumah Sakit Mata

- Kota Manado. *Jurnal E-Biomedik*, 7(1), 30–36.
<https://doi.org/10.35790/ebm.7.1.2019.22820>
- Chojnacka, K. (2010). Biosorption and bioaccumulation - the prospects for practical applications. *Environment International*, 36(3), 299–307.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.12.001>
- Chrislundi, V. (2015). *Hidrokarbon Dengan Semen Portland Dan Stabilization / Solidification of Hazardous Waste Containing Heavy Metals and Hydrocarbons Using*.
- Chunrong Z, Cong T, Huairnan C (1998) Preliminary study on purification of eutropic water with vetiver. In: *Paper presented at the international vetiver grass technology workshop in Fuxhou, China*
- Darajeh, N., Idris, A., Truong, P., Abdul Aziz, A., Abu Bakar, R., & Che Man, H. (2014). Phytoremediation potential of Vetiver system technology for improving the quality of palm oil mill effluent. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014(December).
<https://doi.org/10.1155/2014/683579>
- Dewa, R. P. (2016). Penanganan Baku Mutu Kualitas Air Limbah Produksi Atc dari Rumput Laut Eucheuma cottonii. *Ejournal Kemenperin*, 12(02), 34–40.
<http://ejournal.kemenperin.go.id/bpbiam/article/view/1963>
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B. P., Rai, J. P., Sharma, P. K., Lade, H., & Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2189–2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
- Effendi, H., Munawaroh, A., & Puspa Ayu, I. (2017). Crude oil spilled water treatment with *Vetiveria zizanioides* in floating wetland. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(3), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2017.08.003>
- Endah Pratita, M. Y., & Putra, S. R. (2012). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Termofilik Dari Sumber Mata Air Panas Di Songgoriti Setelah Dua Hari Inkubasi. *Teknik Pomits, Vol. 1*(1), 1–5.
- Eskani, I. N., Carlo, I. De, & Sulaeman, S. (2015). Efektivitas Pengolahan Air Limbah Batik dengan Cara Kimia dan Biologi. In *Majalah Ilmiah* (Vol. 22, Issue 1, pp. 16–27).
<http://ejournal.kemenperin.go.id/dkb/article/view/975/839>
- Gadd, G. M., & White, C. (1992). Microbial treatment of metal pollution - a working biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 11(8), 353–359.
[https://doi.org/10.1016/0167-7799\(93\)90158-6](https://doi.org/10.1016/0167-7799(93)90158-6)
- Gupta, A. K., & Sinha, S. (2008). Decontamination and/or revegetation of fly ash dykes through naturally growing plants. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1078–1087. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.062>
- Habashy, M. M., & Hassan, M. M. S. (2010). Effects of temperature and salinity on growth and reproduction of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea-Decapoda) in Egypt. *International Journal of Environmental Science and Engineering (Ijese)*, 1, 83–90.
- Hamzah, amir Priydarshini, R. (2019). Redimentasi Tanah Tercemar Logam Berat. *UNITRI Press, 0341*.
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., & Sugesty, S. (2008). Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses

- Deinking. *Jurnal Selulosa*, 1(01), 31–41.
<https://doi.org/10.25269/jsel.v1i01.18>
- Hidayat, H. (2015). Identifikasi Morfologi Dan Uji Aktivitas Antimikroba Terhadap Bakteri Escherichia Coli Dari Fermentasi Buah Markisa (*Passiflora Sp.*). *Jurnal Eksakta*, 15(1–2), 76–85.
<https://doi.org/10.20885/eksakta.vol15.iss1-2.art8>
- Hussain, Z., Arslan, M., Malik, M. H., Mohsin, M., Iqbal, S., & Afzal, M. (2018a). Integrated perspectives on the use of bacterial endophytes in horizontal flow constructed wetlands for the treatment of liquid textile effluent: Phytoremediation advances in the field. *Journal of Environmental Management*, 224(July), 387–395.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.057>
- Hussain, Z., Arslan, M., Malik, M. H., Mohsin, M., Iqbal, S., & Afzal, M. (2018b). Treatment of the textile industry effluent in a pilot-scale vertical flow constructed wetland system augmented with bacterial endophytes. *Science of the Total Environment*, 645, 966–973.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.163>
- Ichtiakhiri, T. ., & Sudarmaji. (2015). Pengelolaan Limbah B3 dan Keluhan Kesehatan Pekerja di PT. Inka (Persero) Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), 118–127. <http://dx.doi.org/10.20473/jkl.v8i1.2015.118-127>
- Imtiazuddin. (2012). Pollutants of Wastewater Characteristics in Textile Industries. *Journal of Basic and Applied Sciences*, October.
<https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.47>
- Irianti, T. T., Kuswadi, Nuranto, S., & Budiyatni, A. (2017). Logam Berat Dan Kesehatan. *Grafika Indah ISBN: 979820492-1, January 2017*, 1–131.
- Irmanto, I., & Suyata, S. (2008). Penurunan BOD Dan COD Limbah Cair Industri Tekstil Di Kabupaten Pekalongan Dengan Metode Multi Soil Layering. *Molekul*, 3(2), 98. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2008.3.2.54>
- ITRC. (2009). Phytotechnology technical and regulatory guidance and decision trees, revised. *Interstate Technology & Regulatory Council, February*, 1–131. www.itrcweb.org
- Kadlec, R. H. (2003). Effects of pollutant speciation in treatment wetlands design. *Ecological Engineering*, 20(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00118-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00118-0)
- Kadlec, R. H., & Hammer, D. E. (1988). Modeling nutrient behavior in Wetlands. *Ecological Modelling*, 40(1), 37–66. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(88\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0304-3800(88)90101-9)
- Kandel, S., Joubert, P., & Doty, S. (2017). Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants. *Microorganisms*, 5(4), 77.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>
- Keizer-Vlek, H. E., Verdonschot, P. F. M., Verdonschot, R. C. M., & Dekkers, D. (2014). The contribution of plant uptake to nutrient removal by floating treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 73, 684–690.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.081>
- Khoiroh, Z. (2014). *Bioremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dalam Lumpur Lapindo Menggunakan Campuran Bakteri (Pseudomonas pseudomallei dan Pseudomonas aeruginosa)*. 1999(50), 1–6.

- Komarawidjaja, W., & Garno, Y. S. (2016). Peran Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dalam Fitoremediasi Pencemaran Perairan Sungai. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(1), 7. <https://doi.org/10.29122/jtl.v17i1.1459>
- Lestari, P. B. (2016). Biodegradasi Limbah Cair Tahu Dari Mikroorganisme Indigen Sebagai Bahan Ajar Mikrobiologi Lingkungan Di Perguruan Tinggi. *Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 2(1), 84. <https://doi.org/10.25273/jems.v2i1.197>
- Manara, A. 2012. Plants responses in heavy metal toxicity, *Journal SpringerBriefs in Biometals*: 27- 53
- Mathur, N., Bhatnagar, P., & Bakre, P. (2006). Assessing mutagenicity of textile dyes from pali (Rajasthan) using ames bioassay. *Applied Ecology and Environmental Research*, 4(1), 111–118. https://doi.org/10.15666/aer/0401_111118
- Melani, A., Andre, & Rifdah. (2017). Kajian Pengaruh Waktu dan Ukuran Lempengan Terhadap Limbah Cair Industri Kain Tenun Songket Dengan Metode Elektrokoagulasi. *Distilasi*, 2(1), 23–34.
- Misal, S. A., Lingojar, D. P., Shinde, R. M., & Gawai, K. R. (2011). Purification and characterization of azoreductase from alkaliphilic strain *Bacillus badius*. *Process Biochemistry*, 46(6), 1264–1269. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.02.013>
- Mkumbo, S. (2012). *Development of a low cost remediation method for heavy metal polluted soil. TRITA LWR licentiate, Thesis 2067* (Issue December).
- Mousa, W. K., Shearer, C. R., Limay-Rios, V., Zhou, T., & Raizada, M. N. (2015). Bacterial endophytes from wild maize suppress fusarium graminearum in modern maize and inhibit mycotoxin accumulation. *Frontiers in Plant Science*, 6(OCTOBER). <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00805>
- Mukono, J. 2010 *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya: Airlangga Press.
- Mukti, E. T. (2020). *Pengolahan limbah cair tenun dengan sistem constructed treatment wetland menggunakan kombinasi tanaman vetiver dan bakteri indigenous*.
- Munawar. (2008). Studi Penggunaan Bakteri Indigen Petrofilik Dalam Proses Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Wilayah Sumatera Bagian Selatan. *Jurnal Kimia Lingkungan*. 16(2): 3–10.
- Murthi, R., Lisawita, L., & Oemry, S. (2016). Potensi Bakteri Endofit Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tembakau Yang Terinfeksi Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne Spp.*). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 4(1), 1881–1889. <https://doi.org/10.32734/jaet.v4i1.12326>
- Nugroho, R., & Mahmud, I. (2018). Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan Proses AOPs. *Jurnal Air Indonesia*, 1(2), 163–172. <https://doi.org/10.29122/jai.v1i2.2344>
- Nurtana, Rizqon. 2018. Analisis Reduksi Logam pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia menggunakan Tanaman Vetiver (*Vetiveria Zizanioides*) dan Bakteri dengan Metode Floating Treatment Wetland. Yogyakarta
- Nurullah, L., Yulianto, A., Fajri, J. A., Studi, P., Lingkungan, T., & Indonesia, U. I. (2018). *Analisis Removal Logam Berat dengan Metode Floating Wetland menggunakan Tanaman Kolonjono (*Brachiaria mutica*) dan Bakteri pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta. PT. KAI : Yogyakarta*. 1–14.

- Octavia, B. 2010. *Kajian Kekayaan Bakteri Indigenous Indonesia untuk Bioremediasi Limbah*. Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ogugbue, C. J., & Sawidis, T. (2011). Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas hydrophila* Isolated from Industrial Effluent . *Biotechnology Research International*, 2011, 1–11. <https://doi.org/10.4061/2011/967925>
- Palar H. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta; 2008.
- Pang, J., Chan, G. S. Y., Zhang, J., Liang, J., & Wong, M. H. (2003). Physiological aspects of vetiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 52(9), 1559–1570. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00496-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00496-X)
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.14710/jil.10.1.38-48>
- Priester, J. H., Olson, S. G., Webb, S. M., Neu, M. P., Hersman, L. E., & Holden, P. A. (2006). Enhanced exopolymer production and chromium stabilization in *Pseudomonas putida* unsaturated biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(3), 1988–1996. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.3.1988-1996.2006>
- Principal, V., & Madhumathy, M. (2016). A Study On Capital Structure And Financial Performance. *International Journal of Management*, 7(3), 313–322.
- Priya, B. J. and R. M., & Mini, R. (2011). *Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 291–309).
- Priyanto B, Prayitno J. (2004). Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khusus Logam Berat. *Jurnal Informasi Fitoremediasi*.
- Purwani, J. (2010). Remediasi Tanah dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.). *Balai Penelitian Tanah. Bogor*, 287–298.
- Pusparinda, L., & Santoso, I. B. (2016). Studi Literatur Perencanaan Floating Treatment Wetland di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17707>
- Rai, P. K. (2008). Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: An ecosustainable approach. *International Journal of Phytoremediation*, 10(2), 133–160. <https://doi.org/10.1080/15226510801913918>
- Ramadhani, M. (2019). *Unjuk Kerja Reaktor Continuous Wetland Menggunakan Tanaman Vetiver (Vetiveria Zizanioides) Dan Bakteri Untuk Mendegradasi Kandungan Oil & Grease , Total Petroleum Hydrocarbon (Tph) Dan Oil Content Dari Limbah Minyak Industri X Di. kompartemen 2*, 1–12.
- Rana, R. S., Singh, P., Kandari, V., Singh, R., Dobhal, R., & Gupta, S. (2017). A review on characterization and bioremediation of pharmaceutical industries' wastewater: an Indian perspective. *Applied Water Science*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0225-3>
- Raskin, L., Smith, R. D., & Salt, D. E. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment Abbreviation EDTA

- ethylenediaminetetraacetic acid. *Current Opinion in Biotechnology*, 8221–8226.
- Ratna and Padhi, B. S. (2012). Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 940–955. <https://doi.org/10.6088/ijes.2012030133002>
- Rehman, K., Imran, A., Amin, I., & Afzal, M. (2018). Inoculation with bacteria in floating treatment wetlands positively modulates the phytoremediation of oil field wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 349(October 2017), 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.02.013>
- Reynolds J. 2011. *Bacterial Colony Morphology*. Richland College, Texas.
- Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S., & Meesat, R. (2007). Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters. *ScienceAsia*, 33(4), 397–403. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33.397>
- Sarjono, A. (2009). *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara. Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Sekomo, C. B., Kagisha, V., Rousseau, D., & Lens, P. (2014). Heavy metal removal by combining anaerobic upflow packed bed reactors with water hyacinth ponds. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 33(12), 1455–1464. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.633564>
- Setiyono, A. (2014). *Unnes Journal of Public Health*. 3(1), 1–10.
- Shehzadi, M., Fatima, K., Imran, A., Mirza, M. S., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2016). Ecology of bacterial endophytes associated with wetland plants growing in textile effluent for pollutant-degradation and plant growth-promotion potentials. *Plant Biosystems*, 150(6), 1261–1270. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1022238>
- Sholikah, U., & Kuswyasari, N. D. (2013). Uji Potensi Genera Bacillus Sebagai Bioakumulator Merkuri. *Jurnal ITS Surabaya*, 1(1), 1–9.
- Siagian, R., Maryudi, M., and Purba, V. (n.d.). *Vetiver Grass As Phytoremediation For Mine Tailing On Tropical*. 4, 639–648.
- Silaban, N. S. (2013). *Pertumbuhan tanaman padi fase vegetatif dan akumulasi logam berat pada jaringan tanaman padi varietas payo besar dan inpari 12 di lahan gambut yang diberi amelioran*. 1984.
- Singh, V., Thakur, L., & Mondal, P. (2015). Removal of Lead and Chromium from Synthetic Wastewater Using *Vetiveria zizanioides*. *Clean - Soil, Air, Water*, 43(4), 538–543. <https://doi.org/10.1002/clen.201300578>
- Snigdha, M., Kumar, S. S., Sharmistha, M., & Deepa, C. (2013). An overview on *Vetiveria zizanioides*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 4(3), 777–783.
- Stewart, F. M., Mulholland, T., Cunningham, A. B., Kania, B. G., & Osterlund, M. T. (2008). Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes - Results of laboratory-scale tests. *Land Contamination and Reclamation*, 16(1), 25–33. <https://doi.org/10.2462/09670513.874>
- Sunarya, 2007. *Kimia Umum*. Grafindo. Bandung
- Suprihatin. (2014). *Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo*

- dan Alternatif Pengolahannya. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Sutanto, A. (2011). Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Nanas Oleh Bakteri Indigen. *El-Hayah*, 1(4), 151–156. <https://doi.org/10.18860/elha.v1i4.1690>
- Sutrisno, T. (2006). *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Szollosi, R., Kálmán, E., Medvegy, A., Peto, A., & Varga, S. I. (2011). Studies on oxidative stress caused by Cu and Zn excess in germinating seeds of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Acta Biologica Szegediensis*, 55(1), 175–178.
- Taberima, S. (2004). Peranan Mikroorganisme dalam Mengurangi Efek Toksik pada Tanah Terkontaminasi Logam Berat. *Makalah Falsafah Sains, PPs 702*, 1–21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3798.3764>
- Tambunan, J. A. M., Effendi, H., & Krisanti, M. (2018). Phytoremediating batik wastewater using vetiver chrysopogon zizanioides (L). *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(3), 1281–1288. <https://doi.org/10.15244/pjoes/76728>
- Tara, N., Arslan, M., Hussain, Z., Iqbal, M., Mahmood, Q., & Afzal, M. (2019). On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dye-degrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 217, 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.258>
- Vogel, *Text Book Of Quantitative Inorganic Analysis*, London, 1978, pp 141-156, 440-444, 810-817
- Vymazal, J. (2002). The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering*, 18(5), 633–646. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00025-3)
- Walid, A., Novitasari, N., & Wardany, K. (2019). Studi Morfologi Koloni Bakteri Udara Di Lingkungan Fakultas Tarbiyah Dan Tadris Institut Agama Islam Negeri Bengkulu. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 3(1), 10–14. <https://doi.org/10.24815/jipi.v3i1.12974>
- Wardhani, E., Sutisna, M., & Dewi, A. (2012). Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Campuran Media Tanam Pada Tanaman Tomat (Sol. *Jurnal Itenas Rekayasa*, 16(1), 218821.
- Widowati, W., Astiana S. Dan Raymond J.R., 2008, *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Wulaningtyas, F. A. (2018). Environmental Health Risk Assessment of NO₂ Ambient Level and Toll Collectors Officer'S Health Complaints. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.20473/jkl.v10i1.2018.127-137>
- Zakaria, A., Rochaeni, H., & Djasmasari, W. (2012). Karakterisasi dan Pemanfaatan Abu Terbang Aktivasi Fisika Dalam Menjerap Ion Logam Cu²⁺. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Bahan*, 160–167.
- Zulkifli, A. (2014). Pengolahan Limbah Berkelanjutan. *Graha Ilmu : Yogyakarta*.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Panjang Akar Tanaman *Vetiveria zizanioides* pada Hari ke-0

No	Bakteri	Hari ke-0
1	Ra-1	8 cm
2	Ra-2	10 cm
3	Ra-3	12,5 cm
4	Ra-4	14,5 cm
5	Ra-5	12,5 cm
6	Ra-6	15 cm
7	Ra-7	14 cm
8	Ra-8	10,5 cm
9	Rb-1	14,5 cm
10	Rb-2	60 cm
11	Sb-2	8 cm
12	Sb-3	8,5 cm
13	Sb-5	14 cm
14	Sb-6	17 cm
15	Sb-1	9 cm
16	Sc-1	17 cm
17	Sb-4a	26 cm
18	Sb-4b	16 cm
19	Sb-7	16 cm
20	Kontrol limbah+tanaman	11 cm

Lampiran 2 Panjang Akar Tanaman *Vetiveria zizanioides* pada Hari ke-28

No	Bakteri	Hari ke-28
1	Ra-1	9,5 cm
2	Ra-2	21 cm
3	Ra-3	28,5 cm
4	Ra-4	13,5 cm
5	Ra-5	14,7 cm
6	Ra-6	17 cm
7	Ra-7	21 cm
8	Ra-8	16,5 cm
9	Rb-1	15,5 cm
10	Rb-2	61,5 cm
11	Sb-2	14 cm
12	Sb-3	16,5 cm
13	Sb-5	52,5 cm
14	Sb-6	23,5 cm
15	Sb-1	50 cm
16	Sc-1	25,5 cm
17	Sb-4a	28 cm
18	Sb-4b	28,5 cm
19	Sb-7	20 cm
20	Kontrol limbah+tanaman	12,7 cm

Lampiran 3 Hasil OD (*Optical Density*) Bakteri *Endofit*

Kode Sampel	<i>Optical Density</i>
Ra-1	1.218
Ra-2	0.868
Ra-3	1.228
Ra-4	0.847
Ra-5	1.359
Ra-6	1.196
Ra-7	1.305
Ra-8	1.112
Rb-1	1.084
Rb-2	0.089

Lampiran 4 Hasil OD (*Optical Density*) Bakteri *Indigenous*

Kode Sampel	<i>Optical Density</i>
Sb-2	1.629
Sb-3	1.288
Sb-5	1.423
Sb-6	1.239
Sb-1	1.066
Sc-1	0.969
Sb-4a	1.161
Sb-4b	0.864
Sb-7	1.239




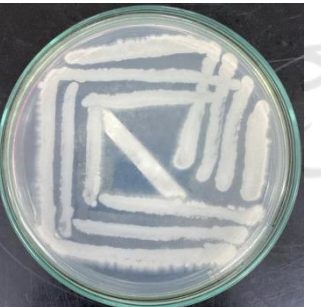
Lampiran 5 Hasil Konsentrasi Logam



Sampel	Konsentrasi logam (mg/L)					
	Cr		Cu		Pb	
	0	25	0	25	0	25
Kontrol 1	0,04	0	0,133	0,063	0,803	0,563
Kontrol 2	0,04	0	0,133	0,018	0,803	0,523
Ra-1	0,04	0,098	0,133	0,463	0,803	0,698
Ra-2	0,04	0	0,133	0,305	0,803	0,74
Ra-3	0,04	0,028	0,133	0,1	0,803	0,6
Ra-4	0,04	0	0,133	0,103	0,803	0,81
Ra-5	0,04	0	0,133	0,1	0,803	0,735

Lampiran 6 Hasil Efisiensi *Removal* Logam

Sampel	Efisiensi Removal (%)		
	Cr	Cu	Pb
	0 ke 25	0 ke 25	0 ke 25
Kontrol 1	100	52,83	29,91
Kontrol 2	100	86,79	34,89
Ra-1	-143,75	-249,06	13,08
Ra-2	100	-130,19	7,79
Ra-3	31,25	24,53	25,23
Ra-4	100	22,64	-0,93
Ra-5	100	24,53	8,41

Lampiran 7 Hasil *Streak* 4 Kuadran

No.	Sampel	<i>Streak</i> 4 kuadran
1	Sb-1	
2	Sb-4a	
3	Sb-5	
4	sb-3	

No.	Sampel	Streak 4 kuadran
5	Sb-6	
6	Sb-1	



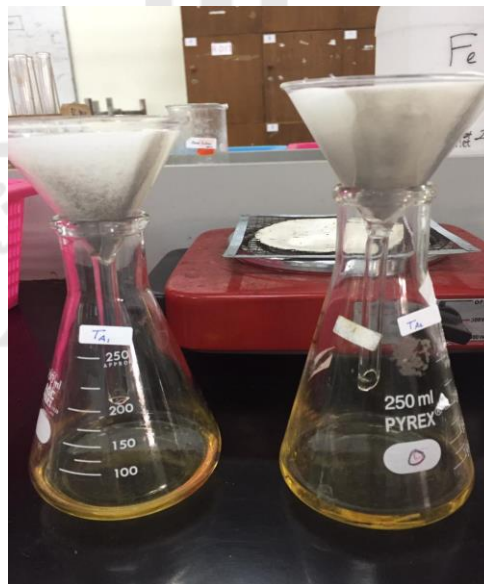
Lampiran 8 Desain Reaktor Limbah



Lampiran 9 Tanaman *Vetiveria zizanioides*



Lampiran 10 Proses Detruksi Air Limbah



Lampiran 11 Proses Penyaringan Air Limbah



Lampiran 12 Instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)





RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Pangkalan Balai, 20 Februari 2000, penulis merupakan putri ke-3 dari Bapak Suparman dan Ibu Nurmahmuda. Penulis menempuh pendidikan di SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III dan melanjutkan pendidikan S-1 jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia tahun 2017. Penulis aktif pada kegiatan *volunteer* berbasis lingkungan dan sosial. Penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Timah Tbk dengan topik Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan. Sedangkan untuk menyelesaikan masa studi Pendidikan Strata 1 (S1) di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, penulis melakukan penelitian dengan judul “Identifikasi Bakteri dari Tanah dan Akar Tanaman *Vetiveria zizanioides* untuk Menurunkan Kadar Logam Limbah Tenun”.

