TUGAS AKHIR

SELEKSI BAKTERI ENDOGENIK DAN ENDOFIT PENGOLAHAN LIMBAH LINDI MENGGUNAKAN FLOATING WETLAND DALAM MENURUNKAN KADAR COD DAN TSS

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

ASA BAGUS DARUSSALAM

19513236

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

SELEKSI BAKTERI ENDOGENIK DAN EDOFIT BAKTERI PENGOLAHAN LIMBAH LINDI MENGGUNAKAN FLOATING WETLAND DALAM MENURUNKAN KADAR COD DAN TSS

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

Asa Bagus Darussalam

19513236

Disetujui,

Menyetujui,
Dosen Pembimbing 1.

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

Menyetujui,
Dosen Pembimbing 2.

27/06/24

Dr. Eng. Awaluddin Nugroho, S.T., M.Eng
NIK 095130403

Mengetahui,
Ketua Program Studi,

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.
NIK 045130401

HALAMAN PENGESAHAN

SELEKSI BAKTERI ENDOGENIK DAN ENDOFIT BAKTERI PENGOLAHAN LIMBAH LINDI MENGGUNAKAN FLOATING WETLAND DALAM MENURUNKAN KADAR COD DAN TSS

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari :

Tanggal :

Disusun Oleh :

Asa Bagus Darussalam

19513236

Tim Penguji :

Dr, Joni Aldila Fajri, S.T., M.Eng :

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng : 23/08/24

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. :

***Halaman ini dibuat apabila sudah selesai pendadaran**

LEMBAR 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 sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 20 Agustus 2024

Yang Membuat Penyataan



Asa Bagus Darussalam

NIM : 19513236

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Judul Penelitian ini "Seleksi Bakteri Endogenik dan Endofit Pengolahan Limbah Lindi Menggunakan Floating Wetland Dalam Menurunkan Kadar COD dan TSS"**.** Adapun penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan Stara Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini telah melewati berbagai tahapan sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan banyak dukungan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1) Allah SWT;
2) Alm Bapak Mardi Mulyanto dan Ibu Sri Wahyuningsih selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
3) Akbar Laras Bayu dan Norma Ayu Izdihar selaku saudara kandung penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan doa demi kelancaran tugas akhir ini;
4) Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai;
5) Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dam memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini;
6) Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini
7) Para dosen, pengajar, dan laboran yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia:

8) Teman-teman Tim Weatland yang berjasa dalam penyelesaian tugas akhir ini Rifa Intan Tanjung yang telah menemani, mendukung, membantu dari awal *sampling* hingga akhir penyusunan tugas akhir ini;
9) Teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan;

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Terlepas dari hal tersebut, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Pada penghujung prakata, penulis ingin meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat ucapan maupun perbuatan penulis yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 4 April 2024

Asa Bagus Darussalam

ABSTRAK

ASA BAGUS DARUSSALAM. Seleksi Bakteri Endogenik dan Endofit Pengolahan Limbah Lindi Menggunakan Floating Wetland Dalam Menurunkan Kadar COD dan TSS. . Dibimbing oleh Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng., Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., dan Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.)

Air lindi pada TPA pada umumnya masih menghasilkan effluen yang belum memenuhi baku mutu, sehingga masih menjadi permasalahan yang besar untuk kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektifitas *floating wetland* menggunakan tanaman *Typha latifolia* dengan bakteri endogenik dan endofit. Sistem wetland menggunakan *Floating Treatment Wetland* (FTW), dengan 10 jenis bakteri dengan kode A, E, G2, H, R, S13, S19, Rd, 17, RA4 yang dibuat duplo tiap jenis reaktor. Setelah proses Aklimatisasi selama 53 hari dan running reaktor hingga hari ke-14, reaktor yang menunjukkan kinerja yang baik adalah D dan J. Hasil akhir menunjukkan bahwa reaktor D berhasil meremoval COD sebesar 54% dan TSS 58% dan reaktor J menyisihkan COD sebesar 57% dan TSS 80%. Meskipun konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari masing-masing reaktor belum memenuhi standar baku mutu, namun bakteri yang efektif terbukti mampu menurunkan kandungan COD setiap minggunya. Sementara itu, untuk kandungan *Total Suspended Solids* (TSS), telah mencapai nilai baku mutu.

Kata Kunci : Floating Wetland, Bakteri Endogenik, Endofit, *Typha latifolia*, Aklimatisasi, COD, TSS.

ABSTRACT

ASA BAGUS DARUSSALAM The Endogenous Bacterial Selection and Endophytes Treatment of Lindi Wastes Using Floating Wetland in Lower COD and TSS. Guided by Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng., Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., dan Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.)

abstract

Lindi water on TPA generally still produces effluents that do not meet quality standards, so it is still a major public health problem. This study aims to find out the effectiveness of floating wetlands using Typha latifolia plants with endogenous bacteria and endofit. The wetland system uses Floating Treatment Wetland (FTW), with 10 types of bacteria coded A, E, G2, H, R, S13, S19, Rd, 17, RA4 that are duplicated each type of reactor. After 53 days of acclimatization and running the reactor until the 14th day, the reactors that showed good performance were D and J. The final results showed that reactor D managed to remove COD by 54% and TSS by 58%, and reactor J separated CODs by 57%, and TSA by 80%. Although the Chemical Oxygen Demand (COD) concentrations of each reactor have not yet met the standard quality standards, effective bacteria have been shown to be able to lower COD content every week. Meanwhile, for Total Suspended Solids (TSS) content, the standard quality value has been reached.

Keywords: Floating Wetland, Endogenic Bacteria, Endofit Bacteria, Typha latifolia, Acclimatisation, COD, TSS.

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR ii
HALAMAN PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
PRAKATA v
ABSTRAK vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Gambaran TPA Piyungan 4
2.2 Constructed wetland 6
2.3 Fitoremediasi 7
2.4 Bakteri Endogen dan Endofit 9
2.5 Typha latifolia 10
2.6 Studi Terdahulu 11
BAB III METODE PENELITIAN 12
3.1 Waktu dan Lokasi 12
3.2 Alur Penelitian 13
3.3 Desain Reaktor 13
3.4 Aklimatisasi Tanaman Typha Latifolia 15
3.5 Running Reaktor 17
3.6 Biomassa 21
3.7 Parameter 22
3.7 Metode Analisis Data 24

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Karakteristik Air Limbah 25
4.2 Hasil Parameter Fisik 26
4.2.1 TDS 26
4.2.2 ORP 27
4.3 Removal COD Air Lindi 28
4.4 Removal TSS Air Lindi 31
4.5 Biomassa Tanaman 33
BAB V 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 36
LAMPIRAN 37
DAFTAR PUSTAKA 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman Typha latifolia 11
Gambar 3.1 IPL Piyungan Lokasi Pengambilan Sample 12
Gambar 3.2 Titik Lokasi Pengambilan Sample 12
Gambar 3.3 Alur Penelitian 13
Gambar 3.4 Persiapan Sample 14
Gambar 3.5 Reaktor Wetland 14
Gambar 3.6 Proses Aklimatisasi 15
Gambar 3.7 Hasil Tanaman pertama kali ditanam 16
Gambar 3.8 Tinggi Awal Tanaman Typha latifolia, Reaktor M adalah kontrol air, Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih 17
Gambar 3.9 Proses Culture Bakteri 18
Gambar 3.10 Proses Running Reaktor 19
Gambar 3.11 Proses Pengambilan Sample 19
Gambar 3.12 Proses Pengukuran Biomassa 22
Gambar 4.1 Rata-Rata TDS Keseluruhan. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, reakto M kontrol aquades, raktor A-J Bakteri Terpilih..... 27
Gambar 4.2 Rata-Rata ORP Keseluruhan. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, reaktor M kontrol aquades, raktor A-J Bakteri Terpilih. 28
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi COD di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih. 29
Gambar 4.4 Grafik Persentase Removal COD di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih. 29
Gambar 4.5 Grafik Pengujian TSS di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih. 31
Gambar 4.6 Grafik Persentase Removal TSS di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih. 32
Gambar 4.7 Grafik Biomassa Batang. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor M kontrol air, raktor A-J Bakteri Terpilih 33
Gambar 4.8 Grafik Biomassa Akar. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor M kontrol air, raktor A-J Bakteri Terpilih 34

DAFTAR TABEL

Tabel. 2.1 Jenis Tanaman Fitoremediasi 7
Table 2. 2 Studi Terdahulu 11
Tabel. 3.2 Daftar Reaktor 20
Tabel. 3.3 Morfologi Bakteri Endofit Terpilih 20
Tabel. 3.4 Morfologi Bakteri Endogen Terpilih 21
Tabel. 3.5 Parameter 24
Tabel. 4.1 Karakteristik Air Lindi Secara Umum 25
Tabel. 4.2 Kualitas Air Lindi TPA Piyungan 26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Uji COD 6 Maret 2024 38
Lampiran 2 Data COD 8 Maret 2024 39
Lampiran 3 Data COD 15 Maret 2024 40
Lampiran 4 Data COD 22 Maret 2024 42
Lampiran 5 Removal Rata-Rata CO 43
Lampiran 6 Rata-Rata COD 44
Lampiran 7 Data TSS 6 Maret 2024 45
Lampiran 8 Data TSS 13 Maret 2024 47
Lampiran 9 Nilai TSS 20 Maret 2024 48
Lampiran 10 Removal TSS 49
Lampiran 11 Rata-rata TSS 49
Lampiran 12 Nilai TDS 50
Lampiran 13 Nilai ORP 50
Lampiran 14 Hasil TSS yang siap di timbang 52
Lampiran 15 Proses Pengukuran Akhir Tanaman per-Reaktor 53
Lampiran 16. Pembuatan Reaktor FTW 54
Lampiran 17 Kondisi Akhir Tanaman Typha latifolia 57

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air lindi adalah air yang terbentuk yang disebabkan dengan adanya timbunan sampah yang mengakibatkan terbentuknya senyawa dari larutan sampah yang mengakibatkan pencemaran dengan kandungan zat organik yang sangat tinggi. Air lindi yang timbul dikarenakan masuknya air dari luar ke dalam timbunan sampah, membilas sampah yang harus dilarutkan, termasuk dengan materi organik dari hasil dekomposisi (Said, dkk,. 2018). Lindi pada TPA Piyungan memiliki debit sebesar 400 m^3/hari disaat kondisi hujan sedangkan disaat musim kemarau memiliki debit 115 m^3/hari (Astuti, dkk., 2023). Kadar COD pada air lindi cukup tinggi sekitar 3511 mg/L dan kandungan TSS sebesar 37,5 mg/L (Kartikasari, dkk., 2020), hal ini diakibatkan oleh sumber air lindi itu sendiri. Air lindi akan semakin terbentuk dari faktor eksternal seperti drainase permukaan, air hujan, air tanah, dan cairan yang berasal dari hasil produksi dari dekomposisi sampah (Muhshanati, 2021). Air lindi tercemar oleh beberapa bakteri patogen sehingga tidak memenuhi baku mutu yang akan berpengaruh terhadap kesehatan masyarakat (Darnas, dkk., 2020). Selain faktor dari bakteri patogen, logam berat pada air lindi berpotensi mengakibatkan akumulasi toksisitas pada mahluk hidup (Kartikasari, dkk., 2020).

Alternatif pengolahan air lindi dapat menggunakan *constructed wetland* yang mengolah lebih terkontrol dan terencana dengan vegetasi, mikroorganisme dan media. *Constructed wetland* dibagi menjadi 2 aliran ada subsurface dan surface. Untuk tanaman yang digunakan pada *constructed wetland* dibagi 3 jenis yaitu tanaman berada di permukaan, tanaman berada dibawah permukaan air, dan tanaman yang akarnya berada pada tanah. Kelebihan *constructed wetland* dalam mendegradasi kandungan cukup baik untuk konsentrasi COD sekitar 60-85%, konsentrasi TSS 80-90%, dan dapat juga menurunkan nitrogen serta fosfor dalam air limbah (Pramesti, dkk,. 2023). Tanaman air sangat berperan penting dalam *constructed wetland* untuk pengolahan air limbah secara alami. Beberapa jenis tumbuhan air yang dapat mengolah lindi dengan baik seperti *Nymphaea spontanea, Limnocharis flava, Pistia stratiotes, Scipirus sumatrensis, Cyperus haspan, Scipirus macronatus, Pharogmites australis, Typha latifolia, Typha angustifolia, Phragmites mauritianus* (Fajariyah, dkk. 2017). Tanaman yang akan di gunakan pada penelitian ini

adalah *Typha latifolia*. Penelitian menggunakan tanaman *Typha latifolia* sudah pernah dilakukan mengolah air lindi TPA Tanjungrojo, Kudus dengan metode *constructed wetland* dengan sistem aliran *sub surface flow* mampu menurunkan COD 64%, BOD 64%, Nitrit 93%, dan pH 5% (Ramadhani, dkk., 2019). Tanaman *Typha latifolia* atau yang biasa disebut dengan ekor kucing. Memiliki ciri-ciri secara umum yaitu berdiri keatas permukaan air memiliki warna coklat pada bunga, bentuknya seperti ekor kucing, dan memiliki tinggi batang berkisar 30-80 cm.

Mengingat bahwa penelitian sebelumnya telah menggunakan sistem aliran sub surface flow maka penelitian ini menggunakan metode Floating Treatment Wetlands (FTW). Secara prinsip FTW merupakan pengolahan yang menggunakan akar dari makrofit yang tumbuh pada media terapung dipermukaan dimana akan mengkombinasi antara mikroorganisme, tanaman, air untuk mengurangi kandungan dibadan air (Mantasa, 2021). Dengan metode FTW dapat memanfaatkan simbiosis tanaman *Typha latifolia* dengan mikroba yang telah terpilih. Fungsi dari mikroba yaitu mengolah kandungan bahan organik yang membuat senyawa lebih sederhana untuk di manfaatkan oleh tanaman sebagai makanannya (Ramadhani, dkk., 2019). Beberapa contoh nama bakteri yang dapat mengurai kandungan limbah seperti *bacillus sp, acinetobacter sp, staphylococcos sp, cardiobacterium sp, dan mycoplasma sp* (Megasari dkk., 2012). Bakteri *endogenik* dan *endofit* yang diperoleh dari akar tanaman dan tanah yang terkontaminasi air lindi. Pengolahan menggunakan proses aerasi serta bakteri dapat menurunkan konsentrasi COD 94%, amonia 98%, dan warna 94% (Bhyantoeo, dkk. 2023).

Oleh karena itu penelitian ini diperlukan untuk mengetahui efektifitas *floating wetland* menggunakan tanaman *Typha latifolia* dengan bakteri *endogenik* dan *endofit* terpilih apakah dapat mendegradasi konsentrasi COD dan TSS dalam mengolah air lindi TPA Piyungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah Bagaimana konsentrasi COD dan TSS pada sampel air lindi TPA Piyungan sebelum dan sesudah fitoremediasi *floating wetland* dengan kombinasi *endogenik* dan *endofit* bakteri?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan rumusan masalah yang ada, tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian adalah Mengetahui kadar COD dan TSS pada sampel air lindi TPA Piyungan sebelum maupun sesudah diolah menggunakan efektivitas kombinasi reaktor *floating wetland* menggunakan tanaman *thypa lativolia,* serta bakteri *endogenik* dan *endofit.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai referensi pembelajaran yang dapat memberikan informasi dan pengetahuan mengenai pemanfaatan tanaman *Typha lativolia.*
2. Sebagai referensi untuk menentukan alternatif pengolahan limbah air lindi TPA Piyungan yang sederhana dan ekonomis sehingga pencemaran lingkungan dapat dikendalikan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah :

1. Sample yang di gunakan air lindi yang terdapat di *aerasi* IPAL TPA Piyungan.
2. Bakteri yang digunakan merupakan hasil terpilih dari penelitian sebelumnya.
3. Aklimatisasi tanaman *Typha latifolia* dilakukan selama 53 hari.
4. Reaktor yang digunakan berupa toples kaca berukuran 500 ml yang di running selama 14 hari
5. Parameter yang akan di uji adalah COD dan TSS. Serta parameter fisik yaitu TDS dan ORP

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran TPA Piyungan

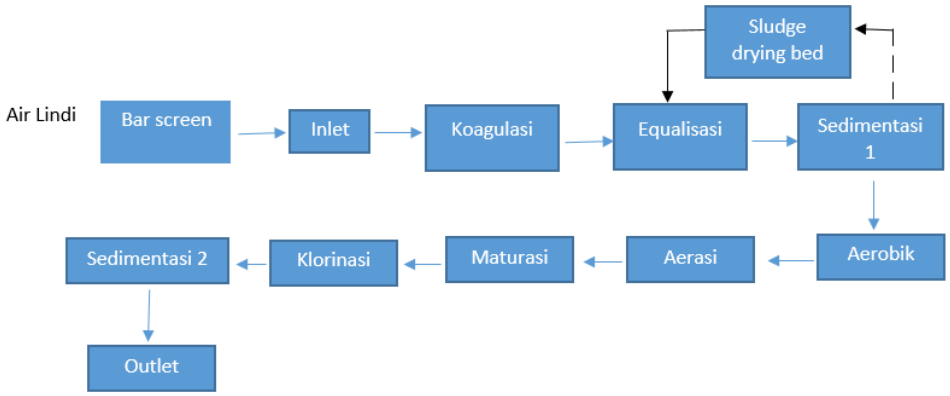
TPA Piyungan berada di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dengan melayani 3 wilayah besar yaitu Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, dan Kota. TPA Piyungan dibagi jadi tiga zona: zona 1, zona 2, dan zona 3. Zona 1 merupakan zona pasif hingga empat hektar dan sudah tidak lagi digunakan untuk penerimaan sampah. Namun dalam kondisi lapangan, zona tersebut telah dinonaktifkan sejak tahun 2000, namun zona 1 masih memiliki aktivitas penangkapan sampah. Hal ini mungkin disebabkan oleh keterbatasan kapasitas TPA Piyungan yang sudah penting, sehingga pengelola memutuskan untuk menggunakan kembali Zona 1 untuk menangani puing-puing yang masuk.

TPA Piyungan sendiri juga telah memperkenalkan sistem pengelolaan sampah yang menggunakan Sanitary Landfill. Namun dalam praktiknya, sampah yang masuk ke TPA Pyungan begitu saja ditimbun tanpa pengolahan lebih lanjut di lokasi. Situasi di sekitar lokasi TPA juga sangat cocok untuk mengurangi timbunan sampah, karena puluhan sapi lokal memakan sampah di TPA. Namun di sisi lain, keberadaan 4.444 ternak penggembalaan dan makhluk hidup lainnya dapat dengan mudah mengganggu operasional TPA dan kesehatan ternak itu sendiri dapat terancam oleh berbagai jenis limbah.

Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) TPA Piyungan terdapat tiga proses utama diantaranya sedimentasi, aerasi dan desinfeksi. warnanya coklat gelap. Warna lindi yang pekat dan bau tidak sedap yang berasal dari hasil dekomposisi dari konsentrasi komposisi sampah, usia landfill, dan pengaruh iklim. Hasil efluen yang dihasilkan (IPL) di TPA Piyungan masih mempunyai potensi bahaya seperti pencemaran tanah, air permukaan, dan air tanah yang berdampak pada makhluk hidup di dalam ekosistem, apabila tidak diolah. Maka dari itu, analisis toksisitas pada IPL tersebut dilakukan agar tidak berdampak buruk pada ekosistem sekitar. (Kartikasari, dkk., 2020).

Pengolahan di TPA Piyungan terdiri dari bar screen, koagulasi, equalisasi, sedimentasi, sludge drying bed, kolam aerob, kolam aerasi, bak maturasi, dan klorinasi. Bar Screen adalah sekumpulan batang besi yang dipasang secara horizontal dan digunakan untuk menyaring kotoran atau sampah berukuran besar. Fungsi dari bar screen adalah untuk menghilangkan benda-benda kasar yang melayang, sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada unit

berikutnya (Jayana. dkk, 2021). Koagulasi adalah metode pengolahan air yang melibatkan pengadukan cepat untuk memastikan bahwa bahan kimia (koagulan) tersebar secara merata. Proses ini dilakukan dengan menambahkan bahan kimia ke dalam air, sehingga kotoran yang berupa padatan tersuspensi, seperti zat warna organik, lumpur halus, dan bakteri, dapat menggumpal dan mengendap dengan cepat (Harmiyati, 2018). Bak ekualisasi ini berfungsi untuk mengatur debit air limbah yang akan diolah serta untuk menyeragamkan konsentrasi zat pencemarnya agar homogen dan proses pengolahan air limbah dapat berjalan dengan stabil (Fathoni. dkk, 2023). Fungsi bak sedimentasi adalah pemisah bagian padat dilakukan dengan memanfaatkan gaya gravitasi, di mana partikel padat yang lebih berat dari air akan tenggelam ke dasar kolam pengendapan, sementara air yang lebih ringan akan berada di atasnya (Harmiyati, 2018). Bak Aerob adalah tempat pemrosesan pengolahan biologis, di mana bakteri digunakan untuk menguraikan polutan dalam air limbah. Bakteri ini memerlukan oksigen untuk dapat hidup dan berkembang biak (Syarifuddin, dkk 2023). Aerasi merupakan metode pengolahan air yang melibatkan penambahan oksigen ke dalam air. Proses ini sangat efektif dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada lindi. Aerasi menyediakan oksigen yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme yang berfungsi sebagai dekomposer untuk memecah bahan pencemar yang ada dalam lindi (Variasi, dkk, 2017). Kolam maturasi berfungsi untuk mengurangi kandungan mikroorganisme, dan menurunkan kandungan BOD (Samina, dkk 2013). Bak klorinasi adalah tempat untuk menambahkan kaporit, yang dilengkapi dengan alat dosing pump atau infuse chlorinator. Larutan klorin dengan konsentrasi yang telah ditentukan dialirkan ke dalam air limpasan IPAL melalui selang yang disertai dengan pengatur aliran atau kran.



Gambar 2.1 Pengolahan IPL TPA Piyungan

2.2 *Constructed wetland*

Constructed wetland (CW) merupakan pengolahan limbah cair buatan yang berbentuk kolam dimana memiliki saluran yang ditanami tumbuhan air. Metode *Constructed wetland* merupakan pengolahan lindi dengan memanfaatkan pertumbuhan mikroorganisme dalam akar dan tanah tanaman. *Constructed wetland* terbagi menjadi dua tipe, yaitu sistem aliran permukaan atau FWS-Wetland (*Free Water System Constructed wetland*) dan sistem aliran bawah permukaan atau SSF-Wetland (Sub-Surface Flow *Constructed wetland*). Sedangkan klasifikasi *Constructed wetland* berdasarkan jenis tanaman yang digunakan terbagi menjadi tiga kelompok:

1. Sistem yang menggunakan tanaman makrofit mengambang, atau sering disebut lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*).
2. Sistem yang menggunakan tanaman makrofit dalam air (*Submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetlands*).
3. Sistem yang menggunakan tanaman makrofit yang akarnya tenggelam, atau sering disebut juga amphibious *plants*, dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan (J. T. Lingkungan, 2016).

Metode *constructed wetland* ini memiliki keuntungan dengan tidak memiliki biaya oprasional yang tinggi dan pemeliharaanya tidak susah karena terbantu secara alamiah, sehingga dapat membantu sekali dalam menekan biaya operasional, operasional, dan teknis pengolahan konvensional. Untuk proses penjernihan limbah cair dilakukan dengan mikroorganisme dari tanaman, serta adanya proses fisika dan kimia. CW memiliki manfaat serta fungsi beragam mulai dari mengolah jenis air limbah, hasil pertanian, perkotaan, industri, pertambangan, maupun air yang berasal dari hasil run-off. CW dapat memperbaiki kualitas air dari sungai maupun danau, dengan mendiamkan beberapa waktu menunggu hingga adanya proses purifikasi air secara alami yang nantinya akan dialirkan kembali ke badan sungai maupun danau. Selain itu manfaat dari CW ialah dapat menghilangkan bahan pencemar yang kemampuanya cukup efektif untuk BOD 80%-90% dan COD 50%-90% (Puspira, dkk,. 2005).

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi salah satu cara membersihkan polutan menggunakan tanaman hiperkumulator. Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani yaitu dari kata Phyto yang artinya tumbuhan dan remediare yang artinya membersihkan. Hal ini sangat mengandalkan tumbuhan dalam menyerap, mentransfer, mendegradasi bahan pencemar logam berat. Lokasi akumulasi logam berat pada tumbuhan akan tersebar luas keseluruh bagian seperti akar, daun, dan bunga (Krause, dkk, 2008). Jenis tanaman yang dikatagorikan hiperkumulator jika :

1. Toleransi akan kandungan logam tinggi, sehingga tidak menghambat pertumbuhan.
2. Mampu menyerap logam dalam tanah.
3. Dapat mentranslokasikan logam berat dari akar ke bagian tertinggi tanaman dengan cepat.
4. Mampu menghasilkan biomassa tinggi dengan waktu tumbuh yang cepat dan mudah dibudidayakan sehingga mudah di produksi (Ulfah, dkk., 2015).

Tabel. 2.1 Jenis Tanaman Fitoremediasi

Jenis Kontaminan	Tumbuhan
Zn (zink)	Thiospi caerulescens, T. calaminare, Sambucus,
Cd (kadmium)	Rumex
	Thiospi caerulescens,
	Sambucus, Rumex, Mimulus
Pb (plumbum)	guttatus, Lolium miscanthus
Co (kobalt)	Lolium miscanthus, Thiaspi rotundifolium
Cu (kuprum)	Agrostis gigantea,
Mn (mangan)	Haumaniastrum robertii, Mimulus
N (nikel)	guttatus
	Aeolanthus biformifolius, Lolium miscanthus
	Alyxia rubricoulis
Cs (sesium)	Alyssum bertolonil, A.
As (arsenik)	lesbiocum, Berkheya coddii,

Jenis Kontaminan	Tumbuhan
Se (selenium) Fe (ferum)	Hybanthus floribundus, Thiospi goesingense,
Hg (merkurium)	T. montanum, Senesio
	coronatus, Lolium
Salinitas	miscanthus, Phyllanthus
	serpentinus
Minyak bumi	Amaranthus retroflexus

Sumber : (Baker, dkk,. 1989)

Tanaman dapat membersihkan atau memulihkan area yang terkontaminasi dengan berbagai mekanisme sebagai berikut :

1. Fitokumulasi

   Fitoakumulasi merujuk pada proses penyerapan dan transportasi kontaminan logam dari tanah yang tercemar oleh akar tanaman.. Metode ini melibatkan penggunaan tanaman untuk menyerap, mengonsentrasikan, dan mengendapkan logam beracun dari tanah yang terkontaminasi ke dalam bagian-bagian tanaman yang ada di atas tanah, seperti dahan, batang, daun, dan bagian tanaman lainnya.keuntungan dari fitokumulasi memiliki biaya minim jika dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu kontaminan dapat dikurangi atau dihilangkan secara permanen dari tanah (Sukono. dkk, 2020).

2. Fitoimobilisasi

   Fitomobilisasi dapat dicapai dengan menonaktifkan atau mengimobilisasi racun atau polutan di akar atau rizosfer tanaman. Kontaminan dapat diimobilisasi di rizosfer melalui eksudat fitokimia, tertahan di permukaan akar dengan bantuan protein transport, atau disimpan dalam vakuola sel akar melalui proses seluler. Dengan membatasi mobilitas dan ketersediaan biologis kontaminan, aktivitas stabilisasi di akar tanaman mengurangi efek toksik dari polutan tersebut (Kafle. dkk, 2022).

3. Rhizofiltrasi

   Rizofiltrasi umumnya diterapkan untuk membersihkan air tanah yang diekstraksi, air permukaan, dan air limbah dengan konsentrasi kontaminan yang rendah. Metode ini melibatkan proses adsorpsi atau pengendapan kontaminan ke akar tanaman, atau penyerapan kontaminan yang terdapat dalam larutan di sekitar zona akar (Sukono. dkk, 2020)..

4. Fitovolatilisasi

   Fitovolatilisasi adalah proses di mana tanaman menyerap kontaminan dari tanah, mengubahnya menjadi bentuk yang mudah menguap, dan melepaskannya ke atmosfer. Dalam proses ini, kontaminan yang masuk ke dalam tubuh tanaman diubah menjadi bentuk yang mudah menguap atau produk degradasi yang mudah menguap, kemudian diangkut bersama uap air melalui daun tanaman (Sukono. dkk, 2020)..

5. Fitodegradasi dan rhizodegradasi

   Tanaman bisa memetabolisme dan menghancurkan kontaminan di dalam tubuhnya melalui proses yang dikenal sebagai fitodegradasi. Polutan organik seperti pestisida bisa diatasi dengan cara dipecah atau diubah oleh berbagai bagian tanaman. Dalam fitodegradasi, tanaman berperan baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, tanaman menyerap kontaminan secara pasif, kemudian menguraikannya menjadi senyawa yang lebih kecil dan aman, dan mendistribusikannya ke bagian-bagian tanaman. Jika proses degradasi terjadi di rizosfer, maka disebut rhizodegradasi.

2.4 Bakteri Endogen dan Endofit

Bakteri endogen merupakan jenis bakteri yang tumbuh atau membentuk koloni pada tanah ataupun air tempat suatu tanaman tumbuh yang secara alami berasal dari alam bebas. Bakteri endogen di lingkungan air dan tanah memiliki peran penting dalam pengolahan limbah melalui bioremediasi, yakni penguraian polutan oleh mikroorganisme. Pengaruh bakteri endogen meliputi pemecahan senyawa organik kompleks menjadi lebih sederhana, pengakumulasian atau perubahan bentuk logam berat untuk mengurangi toksisitas, penguraian bahan organik dan penghilangan nutrien seperti nitrogen dan fosfor dalam pengolahan air limbah, serta penguraian hidrokarbon, pestisida, dan senyawa kimia beracun lainnya di tanah tercemar (Marjan, dkk., 2022).

Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman, dapat diisolasi melalui sterilisasi permukaan jaringan tanaman. Bakteri endofit sebagai organisme yang hidup berasosiasi dengan tanaman dalam seluruh atau sebagian siklus hidupnya. Endofit membentuk dengan tanaman inangnya, termasuk hubungan mutualistik dan simbiotik. Dalam banyak kasus, endofit diyakini memberikan manfaat bagi tanaman inangnya melalui fiksasi nitrogen, percepatan kemunculan bibit, perlindungan dari tekanan lingkungan, peningkatan ketersediaan nutrisi dan pasokan vitamin, serta perlindungan dan mereduksi kontaminan. Mikroba di dalam tanaman berpotensi untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan pengendalian hama penyakit. Kebanyakan dari bakteri endofit adalah menguntungkan, karena mampu sebagai agen biokontrol, dan pemacu pertumbuhan karena dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dan menghasilkan hormon pemacu pertumbuhan. Bakteri endofit di dalam tanaman berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengendalikan hama penyakit. Selain itu kemampuan bakteri endofit memiliki manfaat sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi serta menghasilkan hormon pemacu pertumbuhan (Redfern, dkk,. 2016).

2.5 *Typha latifolia*

Typha latifolia yang dikenal juga sebagai ekor kucing, termasuk dalam suku *Typhaceae* dan ordo *Typhales*. Tanaman ini sering membentuk koloni padat dan memiliki rizoma, tumbuh di air dangkal atau daerah yang basah, dengan batang tegak dan daun berbentuk dua garis yang kebanyakan terletak di dasar tanaman. Habitat asli *Typha latifolia* adalah lingkungan dengan nilai pH antara 4 - 10 dan suhu berkisar 10 - 30^{o} C. Biasanya ditemukan di rawa dan lahan basah di hampir semua benua, dengan tinggi antara 15 hingga 30 cm. Bunga *Typha latifolia* berbentuk bulu halus, dengan bunga jantan di bagian atas dan putik di bagian bawah, tanpa sumbu yang terlihat di antara keduanya. Daunnya tipis dengan pembuluh paralel sepanjang daun yang panjang dan sempit. *Typha latifolia* tumbuh dari rizoma dan membentuk koloni, merupakan tanaman abadi yang dapat hidup bertahun-tahun dengan berkembang biak melalui benih dan vegetatif menggunakan rizoma (Pandia, dkk., 2018).



Gambar 2.2 Tanaman *Typha latifolia*

Sumber : https://www.faidateingiardino.com/

2.6 Studi Terdahulu

Berikut merupakan studi terdahulu yang membahas efektifitas *constructed wetland* menggunakan tanaman sebagai pengurai konsentrasi :

Table 2. 2 Studi Terdahulu

Limbah	Tanaman	Hasil	Refrensi
Air Lindi	*Typha Angustifolia*	TSS 65% pada hari ke 3, dan 70% pada hari ke 6	(Ramadhani, dkk., 2019)
Air Lindi	*Typha latifolia*	TSS 96%, COD 90%, dan 89% Nitrogen pada hari ke 14	(Pramesti & Mirwan, 2023)
Air Lindi	*Typha Angustifolia*	BOD 94% dan COD 94%	(Ariny & Zaman, B. Istirokhatun, 2014)
Limbah Kerupuk	*Typha Angustifolia*	TSS 84%, BOD 94%, COD 94%, Amoniak 87%, Sulfida 99% pada hari ke 15	(Abdulgani & Izzati, 2014)
Air Lindi	-	Penentuan bakteri terpilih yang dihasilkan dari tanah dan tumbuhan tercemar air lindi. Hasil seleksi yang didapatkan ialah bakteri dengan kode A, E, G2, H, R, S13, S19, Rd, 17, RA4.	(Bhyantoeo, dkk. 2023)

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Lokasi pengujian kandungan COD dan TSS berlokasi di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Progam Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Lokasi running reaktor dan pengecekan parameter fisik di workshop Universitas Islam Indonesia. Pengambilan sample dilakukan di IPL TPA Piyungan Yogyakarta, dimana pengambilan lindi dilakukan pada proses aerasi. Penelitian ini dilaukan pada bulan September - April 2024.



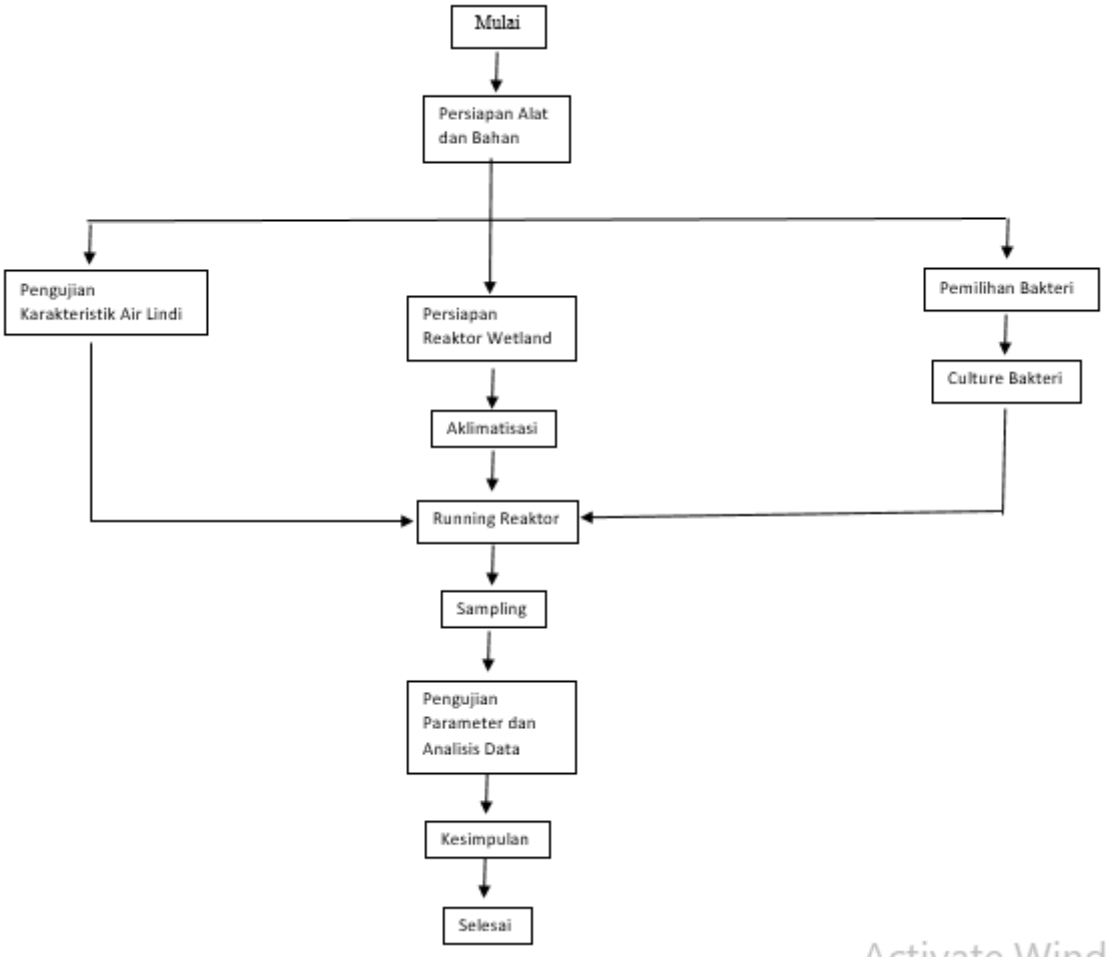
Gambar 3.1 IPL Piyungan Lokasi Pengambilan Sample



Gambar 3.2 Titik Lokasi Pengambilan Sample

3.2 Alur Penelitian

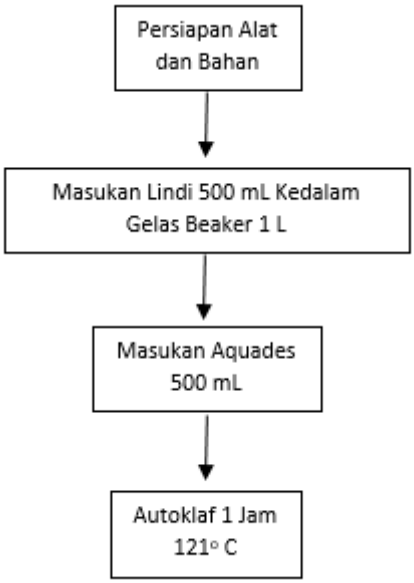
Penelitian ini menggunakan efektifitas kombinasi bakteri dengan tanaman *Typha latifolia*, yang menggunaka pengolahan FTW. Tahapan yang akan di lakukan akan dijelaskan dengan diagram alir. Diagram alir penelitian menunjukan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Alur Penelitian

3.3 Desain Reaktor

Penelitian ini menggunakan air lindi yang di ambil pada IPL TPA Piyungan sebanyak 15 L. Air lindi diambil pada atas permukaan proses aerasi. Sebelum dituang kedalam reaktor air lindi akan di encerkan 50% untuk mengurangi kepekatan kandungan, sehingga tanaman lebih mudah untuk beradaptasi dan mencegah bakteri yang akan dimasukan bertahan hidup. Berikut alur persiapan sample air lindi :



Gambar 3.4 Persiapan Sample

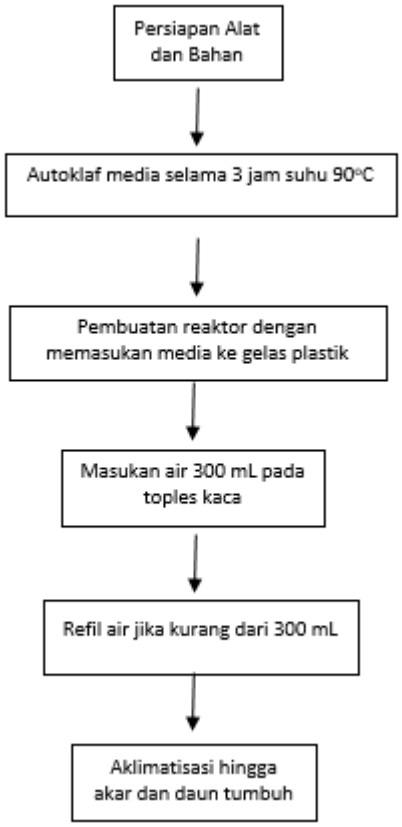
Lahan basah biasanya merupakan cekungan dangkal penuh dengan semacam substrat, biasanya tanah atau kerikil (Rito, 2017). Media menyesuaikan dengan kondisi kondisi alam, sehingga tanaman *Typha latifolia* akan ditanam dengan media yang terdiri dari empat lapisan. Dimana lapisan paling bawah yaitu ijuk 1 cm, batu besar 3 cm, batu split kecil 3 cm, pasir halus 3 cm, dan lapisan paling atas ada tanah telah di autoklaf setebal 3 cm yang dimasukan kedalam wadah plastik berukuran 14 oz. media ini akan dimasukan kedalam toples kaca yang berukuran 500 ml.



Gambar 3.5 Reaktor Wetland

3.4 Aklimatisasi Tanaman *Typha Latifolia*

Proses aklimatisasi dimulai tanggal 12 Januari 2024 hingga tanggal 5 Maret 2024, dengan penyiraman jangka waktu 1 - 2 hari sekali. Tanaman yang berhasil beradaptasi pada proses aklimatisasi memiliki ciri tumbuhan dapat berkembang dengan subur dan pertumbuhan akar yang semakin menjalar, dan tidak mati (Kholif, dkk. 2023) Proses aklimatisasi tanaman *Typha latifolia* dilakukan selama 53 hari, proses ini dilakukan sampai terlihat tanda daun yang bertambah tinggi, munculnya tunas baru, dan pertumbuhan akar. Setelah media di siapkan lalu dimasukan kedalam toples kaca berukuran 500 ml dimana air akan di isi sebanyak 300 ml, untuk pengisian air dilakukan secara rutin apabila air didalam toples kurang dari 300 mL. Berikut merupakan proses aklimatisasi :



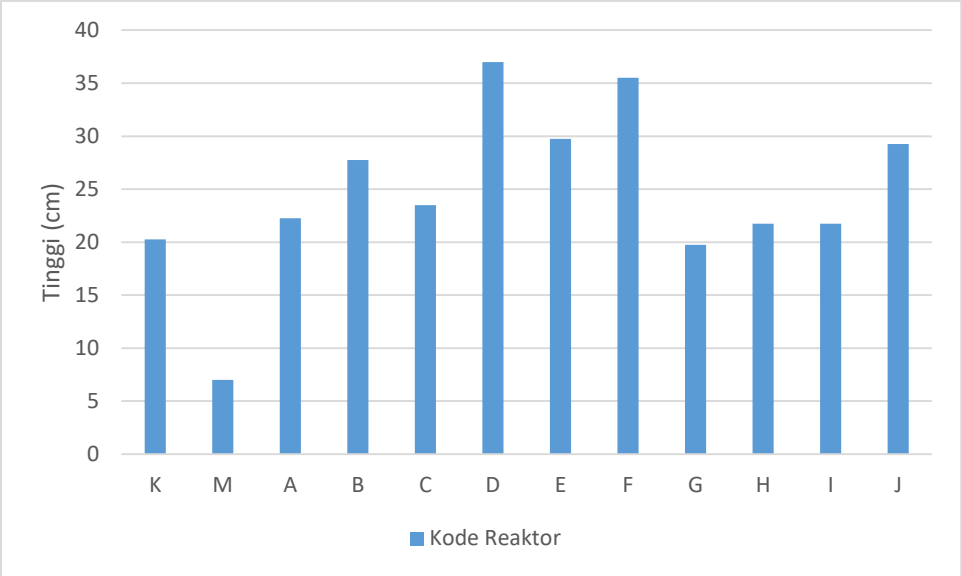
Gambar 3.6 Proses Aklimatisasi



Gambar 3.7 Hasil Tanaman pertama kali ditanam

Bakteri yang di gunakan untuk running reaktor ada 10 bakteri, berikut adalah sample bakteri yang di gunakan A, E, G2, H, R, S13, S19, Rd, 17, RA4. Bakteri Tersebut dihasilkan dari penelitian sebelumnya (Tito, dkk. 2023). Running reaktor di mulai pada tanggal 5 Maret 2024 hingga 29 Maret 2024. Ada 20 reaktor dimana masing-masing bakteri dibuat dua reaktor (duplo), tujuan dari duplo ialah memiliki hasil ketepatan yang lebih akurat (Hasanah,dkk., 2021). Reaktor dimasukan air lindi yang telah di encerkan sebanyak 50% sebanyak 300 ml, dan bakteri yang sudah di culture dimasukan sebanyak 30 ml beserta tanaman *Typha latifolia*. Sebagai kontrol ada 2 reaktor dengan tanaman *Typha latifolia* serta air lindi 300 ml, 2 kontrol air lindi, dan 1 kontrol air berserta tanaman *Typha latifolia*.

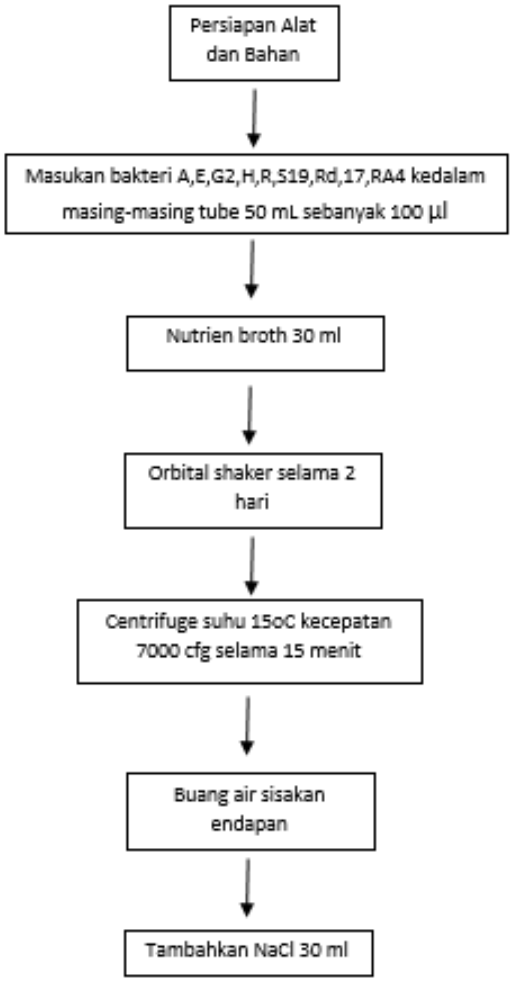
Setelah selesai aklimatisasi terdapat pengukuran sebelum running reaktor. Tanaman *Typha latifolia* memiliki jumlah satu atau dua rumpun, ataupun memliki tunas yang baru tumbuh. Untuk panjang rumpun diawal rata-rata berkisar 60 cm – 148 cm, perhitungan panjang tanaman berdasarkan daun yang terpanjang pertama dan kedua. Sedangkan untuk panjang akar berkisar dari 7 cm – 36 cm. Untuk reaktor yang memiliki tunas baru saat di awal yaitu reaktor D dengan panjang 4 cm dan J1 panjangnya 7 cm. Berikut adalah pengukuran awal tanaman sebelum running reaktor :



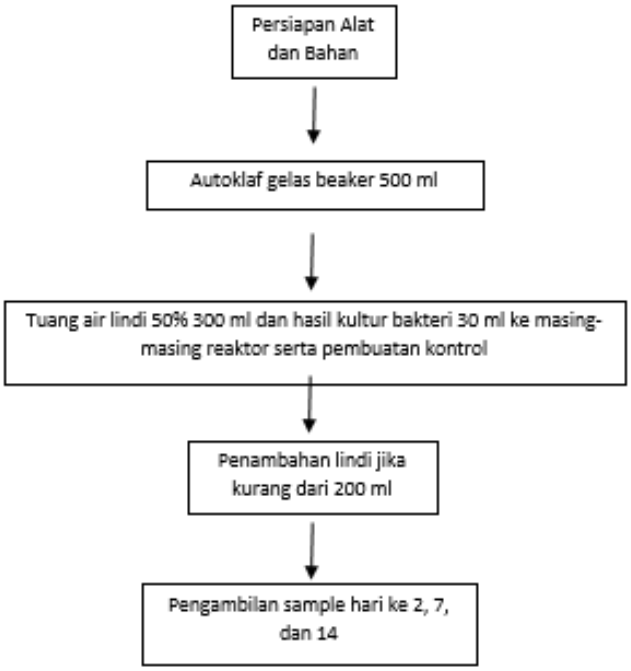
Gambar 3.8 Tinggi Awal Tanaman *Typha latifolia*, Reaktor M adalah kontrol air, Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih

3.5 Running Reaktor

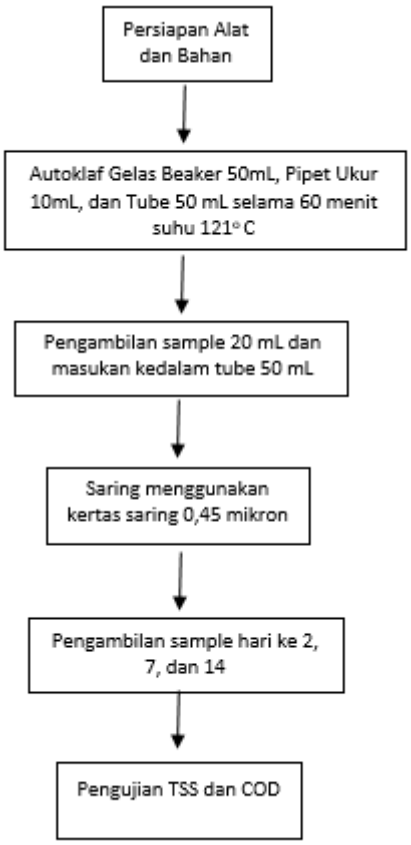
Tanaman yang sudah di aklimatisasi selanjutnya menuju proses inokulasi dengan bakteri. Kultur bakteri yang di inokulasi kan sebanyak 30 ml pada masing – masing reactor yang berisi 300 ml air lindi TPA Piyungan yang telah di encerkan 50%. Sample akan di uji setiap minggu, parameter kimia yang akan di uji COD dan TSS. Dan parameter fisika yang akan di uji adalah TDS dan ORP. Berikut merupakan persiapan tahap running reaktor



Gambar 3.9 Proses Culture Bakteri



Gambar 3.10 Proses Running Reaktor



Gambar 3.11 Proses Pengambilan Sample

Setelah dimulainya running reaktor sebelum pengambilan sample, alat seperti gelas beaker 50 ml dan tube 50 ml di sterilkan terlebih dahulu dengan di autoclave selama 1 jam. Pengambilan sample di hari 2, 7, dan 14 sebanyak 20 ml yang dimasukan kedalam tube 50 ml yang akan siap diuji COD dan TSS. Untuk sample pengujian kimia air lindi akan disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring berukuran 0,45 mikron. Pengujian parameter fisik seperti TDS dan ORP akan dilakukan setiap hari kecuali hari minggu. Berikut merupakan daftar reaktor yang di persiapkan :

Tabel. 3.2 Daftar Reaktor

Sampel	**Bakteri**	**Reaktor**	Komposisi Reaktor
1	A	A	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri A
2	E	B	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri E
3	G2	C	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri G2
4	H	D	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri H
5	R	E	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri R
6	S13	F	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri S13
7	S19	G	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri S19
8	Rd	H	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri Rd
9	S17	I	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri S17
10	RA4	J	Limbah Air Lindi + Tanaman + Kultur Bakteri RA4
11	Kontrol 1	K	Limbah Air Lindi + Tanaman
12	Kontrol 2	L	Limbah Air Lindi
13	Kontrol 3	M	Air + Tanaman

Tabel. 3.3 Morfologi Bakteri Endofit Terpilih

Sampel	Kode Reaktor	Morfologi koloni				
		Bentuk	Margin	Elevation	Ukuran	Appearance
A3	E	Iregular	Undulate	Flat	Besar	Dull
Rd	H	Bulat	Entire	Convex	Moderate	Glistering
Rg	I	Irraguler	Undulate	Flat	Besar	Dull
RA4	J	Bulat	Entire	Raised	Besar	Dull

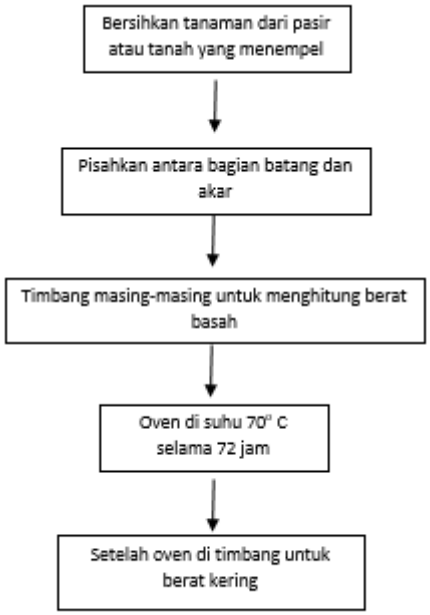
Tabel. 3.4 Morfologi Bakteri Endogen Terpilih

Sampel	Kode Reaktor	Morfologi koloni				
		Bentuk	Margin	Elevation	Ukuran	Appearance
T1	A	Bulat	Undulate	Flat	Sedang	Dull
T2	B	Bulat	Undulate	Raised	Sedang	Dull
T4	C	Bulat	Undulate	Flat	Kecil	Dull
T5	D	Bulat	Entire	Raised	Kecil	Glistering
S13	F	Bulat	Entire	Raised	Moderate	Glistering
S19	G	Irreguler	Lobate	Flat	Moderate	Dull

. Penambahan air lindi dilakukan apabila air lindi sudah mendekati batas bawah, selama penelitian penambahan air lindi dilakukan sebanyak 2 -3 x sebanyak 200 ml – 300 ml. Keberhasilan pertumbuhan tanaman *Typha latifolia* berdasarkan dengan suhu, cahaya, dan hidrologi yang sesuai. Batang yang terhembus angin dengan kencang akan membuat batang menjadi patah, hal ini membuat tanaman menjadi mati (Bansal, dkk., 2019). Ketersediaan air merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman. Ketidak cukupan air pada tanaman dapat menghambat kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang dengan sempurna. Batang daun tidak ada yang berdiri dengan tegap, ujung daun sudah banyak mengalami kekeringan. Hampir semua reaktor memiliki daun yang mati, bahkan hingga satu rumpun mengalami kekeringan sehingga mati. Jumlah akar yang meningkat akan menyebabkan panjang tanaman juga meningkat. Dengan banyaknya akar, kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara dan air akan meningkat, yang mendukung proses pertumbuhan dan perkembangannya. Semakin banyak akar yang tumbuh, area penyerapan akar juga semakin luas, sehingga tanaman dapat menyerap lebih banyak unsur hara dan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan dan perkembangannya (Sasvita, dkk., 2023).

3.6 Biomassa

Kandungan biomassa dari organ-organ pohon, baik yang berada di atas permukaan tanah (seperti batang, cabang/ranting, dan daun) maupun yang berada di dalam tanah (akar), ditimbang dan diukur untuk mendapatkan berat basah dan berat kering oven. Berat basah diperoleh dengan menimbang sampel sebelum dimasukkan ke dalam oven. Berat kering oven diperoleh dengan mengeringkan sampel pada suhu 70° C selama 72 jam untuk bagian-bagian seperti batang, cabang/ranting, dan akar.



Gambar 3.12 Proses Pengukuran Biomassa

3.7 Parameter

Parameter yang akan di uji pada penelitian ini terdapat dua parameter yaitu parameter kimia dan fisik. Pengolahan lindi untuk menurunkan kandungan polutan seperti COD, TSS, ORP, TDS melalui proses pengolahan. Dengan penjelasan mengenai polutannya sebagai berikut :

1. Total Suspended Solid (TSS)

   Total Suspended Solid (TSS) didefinisikan sebagai jumlah massa bahan tersuspensi dalam suatu volume tertentu yang dinyatakan dalam mg/liter. Sumber suspensi ini dapat berasal dari kotoran manusia, hewan, lumpur, limbah industri, serta dapat pula berasal dari sisa-sisa tumbuhan. TSS merupakan salah satu komponen dari zat padat dalam air. Analisis zat padat ini penting dilakukan untuk menentukan komponen-komponen air secara komprehensif dan untuk perencanaan serta pengawasan proses pengolahan dalam bidang air minum maupun air buangan. Kandungan TSS pada TPA Piyungan pada proses aerasi 37,5 mg/L dengan nilai baku mutu 100 mgl/L (Angrianto, dkk., 2021).

2. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik di dalam air. Digunakan untuk menilai total beban organik dan kontrol kualitas lingkungan. Artinya, parameter COD menunjukkan jumlah senyawa organik yang teroksidasi secara kimia. Pemeriksaan COD dilakukan untuk menghitung konsentrasi organik oksidatif (penggunaan oksidan kuat dalam media asam). Konsentrasi COD di lingkungan mempengaruhi manusia dan lingkungan. Hal ini dikarenakan beberapa biota perairan mengalami kematian akibat konsentrasi oksigen terlarut yang sangat rendah di dalam air (Lumaela dkk., 2013).

3. Total Dissolved Solid (TDS)

Konsentrasi TDS dalam air akan mempengaruhi total massa zat padat yang larut, termasuk ion-ion organik, senyawa, dan koloid, menjadi salah satu aspek penting dalam menilai apakah air layak untuk dikonsumsi manusia. Konduktivitas listrik larutan dipengaruhi oleh tingkat TDS yang terionisasi di dalamnya semakin tinggi konsentrasi TDS yang terionisasi, semakin tinggi pula konduktivitas listriknya. Selain itu, suhu air juga memengaruhi konsentrasi TDS (Zamora, dkk,. 2015).

4. Oxidation Reduction Potential (ORP)

Oxidation Reduction Potential (ORP) merupakan pengukuran (mV) dari kecenderungan atau kekuatan yang menunjukkan apakah suatu larutan bersifat oksidator atau pengurang (*deoxidizing*). Nilai positif yang tinggi menunjukkan tingkat oksidasi yang tinggi (seperti pembusukan, karat, penuaan, kelelahan, atau penyakit), sedangkan nilai negatif yang tinggi menandakan tingkat deoksidasi yang tinggi (seperti tidak mudah membusuk, tidak berkarat, atau tahan lama). Setiap nilai positif menandakan bahwa larutan bersifat oksidator; semakin tinggi nilainya, semakin tinggi tingkat oksidasi. Konsep yang sama berlaku pada nilai negatif, hanya dalam arah yang berlawanan, di mana semakin rendah nilainya, semakin kuat sifat

pengurangnya. Semua nilai negatif menunjukkan kecenderungan pengurangan atau sifat deoksidasi (Fisis, dkk., 2015).

Untuk parameter kimia yaitu COD, sedangkan untuk parameter fisik yaitu TSS, TDS, ORP. Berikut adalah tabel parameter dan metodenya :

Tabel. 3.5 Parameter

No	Parameter	Satuan	Metode	SNI
1	COD	mg/L	Spektofotometri	SNI 6989.2:2009
2	TSS	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.3.2019
3	TDS	ppm	TDS Meter	SNI 6989.27:2019
4	ORP	mV	ORP Meter	

3.7 Metode Analisis Data

1. Removal

   Analisis efisiensi removal pada masing-masing parameter polutan air limbah dilakukan untuk melihat potensi keberhasilan bakteri spesifik dan tanaman *Typha latifolia* untuk mengolah air lindi TPA Piyungan. Setelah dilakukan parameter COD, TSS, TDS, ORP pada limbah air lindi TPA Piyungan kemudian dilakukan perhitungan efisiensi removal menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ removal } = \frac{Cawal - Cakhir}{Cawal} \text{ x } 100\%$$

2. Standart Error

   Standar error mencerminkan cara bagaimana jumlah variasi dalam rata-rata sampel berubah seiring dengan ukuran sampel. Standar error memberikan ukuran seberapa besar kemungkinan rata-rata sampel menyimpang dari rata-rata populasi, dan memperhitungkan bahwa semakin besar ukuran sampel, semakin kecil ketidakpastian dalam estimasi rata-rata populasi. Standar deviasi mengukur variasi atau sebaran data dalam satu total data. Ini menggambarkan seberapa jauh nilai individual dalam dataset menyimpang dari rata-rata.

$$\text{Standart Error} = (Standar\ Deviasi)/\sqrt{n}$$

n = rata-rata

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air lindi dipengaruhi oleh karakteristik serta komposisi sampah ,jenis tanah, musim, pH, Kelembapan, serta umur dari landfill. Timbunan sampah yang menghasilkan lindi baru memiliki nilai COD dan BOD yang tinggi, akan tetapi dengan semakin lama umur landfill akan membuat nilai BOD dan COD semakin rendah. Secara umum karakteristik air lindi yaitu memiliki kandungan nitrogen tinggi, logam yang tinggi, kadar pH cenderung asam, dan warna coklat muda hingga hitam. (Said, dkk,. 2015)

Tabel. 4.1 Karakteristik Air Lindi Secara Umum

Parameter	Landfill Umur < 2 th (mg/L)	Landfill Umur > 10 th (mg/L)
BOD	2,000-30.000	100-200
COD	3,000-60.000	100-500
pH	4.5-7,5	6,6-7,5
TSS	200-2.000	100-400
N-NO 2	540	20-40
N-NO 3	540	5-10
Alkalinitas	1.000-10.000	200-1.000
Sulfat	50-100	20-50
Kalsium	200-3.000	100-400
Klorida	200-2.500	100-400
Natrium	200-2,500	100-400
Besi Total	50-1.200	20-200

Sumber : said, dkk,. 2015

Pengolahan air lindi di TPA Piyungan masih belum memenuhi nilai baku mutu pengolahan air lindi. Dengan nilai influen COD 3511 mg/L dan TSS 356 mg/L, dengan baku

mutu COD 300 mg/L dan TSS 100 mg/L. Dikarenakan TPA Piyungan ini berusia lebih dari 10 tahun maka ini dikategorikan *methanogenic leachate* dimana mengambarkan kondisi toksik dan pengolahan sudah tidak efektif dengan pengolahan biologi (Kartikasari dkk., 2020). Berikut merupakan karakteristik air lindi TPA Piyungan :

Tabel. 4.2 Kualitas Air Lindi TPA Piyungan

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Influen	Aerasi	Efluen
Temperatur	Celcius	Deviasi 3	33,2	34,2	34,2
TSS	mg	100	545	37,5	235
pH	-	6-9	8	8,2	8,07
BOD	mg	150	241	129	42,6
COD	mg	300	3511	3652	3511
TN	mg	60	1200	900	700
Hg	mg	0,005	0,118	0,0007	0,102
TDS	ppm	0,1	-	-	-

Sumber : Kartikasari, dkk,. (2020).

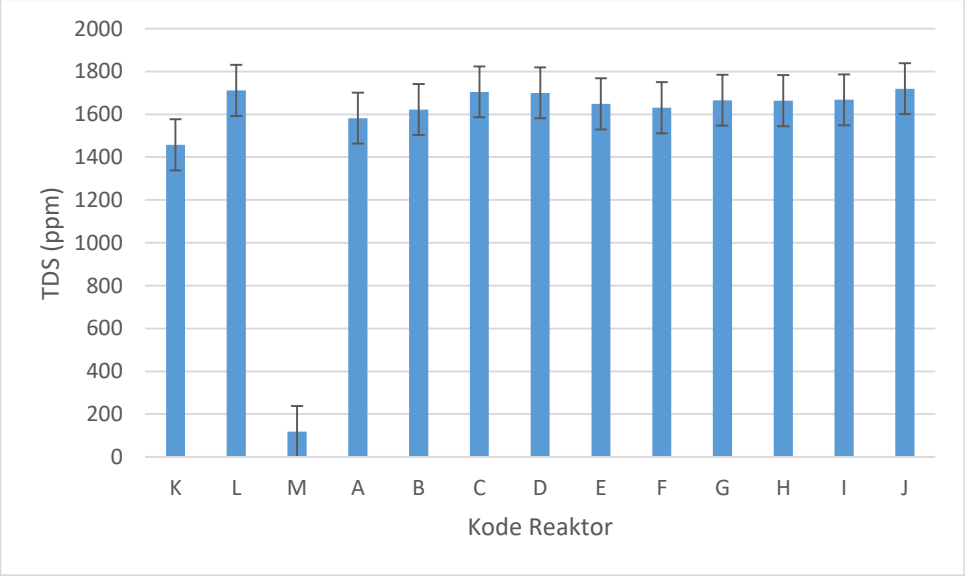
4.2 Hasil Parameter Fisik

Pengujian parameter fisik dilakukan selama 18x dimulai dari tanggal 6 Maret 2024 hingga 27 Maret 2024, pengujian sample menggunakan alat *Multifunction Pen Type Water Quality Testing.*

4.2.1 TDS

Perubahan konsentrasi Total Dissolved Solids (TDS) dalam larutan tidak hanya mempengaruhi tingkat konduktivitas listrik, tetapi juga Chemical Oxygen Demand (COD) dalam air. Ketika konsentrasi TDS meningkat, konduktivitas listrik larutan juga meningkat. Sebaliknya, nilai COD dalam air juga dipengaruhi oleh TDS karena sebagian besar COD

berasal dari garam anorganik yang larut menjadi TDS. Oleh karena itu, nilai TDS memiliki pengaruh langsung terhadap nilai COD, membentuk hubungan linear di antara keduanya (Juwana, dkk., 2021). Kadar TDS saat running reaktor 1190 mg/L dengan nilai paling rendah yaitu reaktor kontrol tanaman+limbah 1 pada hari ke 8, hingga 2030 mg/L untuk reaktor J2 pada hari ke 17. Hal ini bisa terjadi karena pada hari ke 16 reaktor J2 ditambahkan air lindi sebanyak 200 ml,sehingga dapat meningkatnya kandungan TDS. Dihari terakhir penelitian nilai kandungan TDS berkisar 1380 mg/L hingga 1880 mg/L dimana kadar tersebut masih dibawah dari baku mutu yaitu 2000 mg/L (Permen LH No.5/2014 tentang baku mutu limbah). Berikut merupakan rata-rata hasil TDS selama penelitian, dan rata-rata per-hari nilai TDS keseluruhan

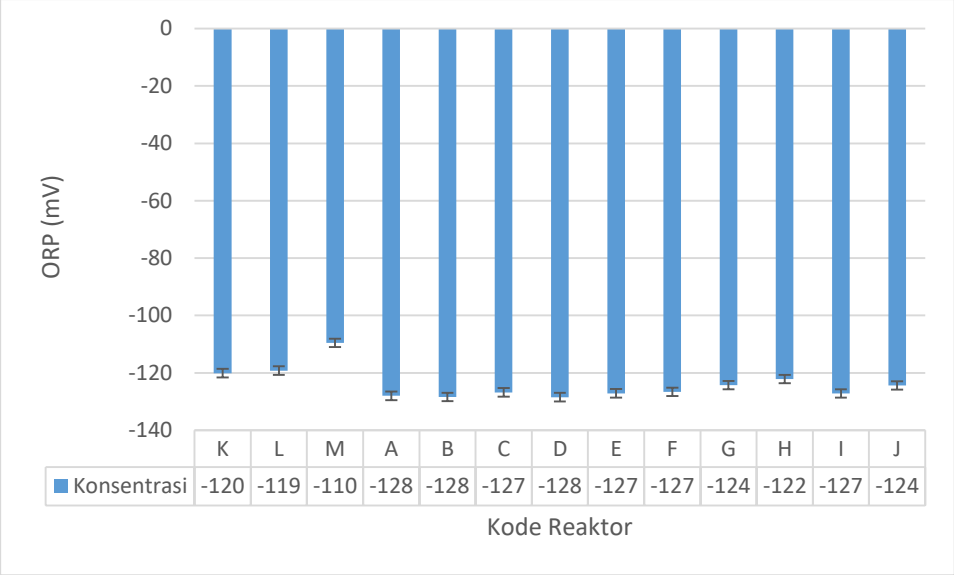


Gambar 4.1 Rata-Rata TDS Keseluruhan. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, reakto M kontrol aquades, raktor A-J Bakteri Terpilih.

4.2.2 ORP

Nilai oksidasi-reduksi potensial (ORP) sangat terkait dengan keberadaan oksigen dalam air. Meskipun suhu memiliki sedikit pengaruh terhadap nilai ORP, namun konsentrasi oksigen sangat memengaruhinya. Biasanya, nilai ORP cenderung menurun seiring dengan penurunan konsentrasi oksigen. Namun, pada hari yang sama, nilai ORP dapat meningkat. Hal ini bisa menandakan kondisi air menjadi anaerobik karena adanya banyak material tersuspensi yang menyebabkan peningkatan nilai konsentrasi. Ketika nilai ORP positif terdeteksi, itu menunjukkan bahwa larutan mengalami oksidasi. Sementara nilai ORP negatif

menunjukkan bahwa air lindi termasuk dalam kategori larutan reduktor. Kenaikan nilai ORP menandakan adanya reaksi oksidasi dalam reaktor, yang sering disertai dengan peningkatan nilai oksigen (Setiadewi, dkk. 2023). Konsentrasi ORP pada kontrol limbah (L) adalah -119 mV, dan kontrol limbah disertakan tanaman menjadi -120 mV. Hasil dari penambahan bakteri pada reaktor, dapat menurunkan konsentrasi ORP. Hal ini dapat dilihat dari seluruh reaktor A-J, dengan konsentrasi -124 mV sampai -128 mV. Konsentrasi ORP semakin hari semakin meningkat dengan nilai di hari pertama berkisar -241 mV sampai -186 mV, untuk diakhir penelitian nilai ORP berkisar -102 mV sampai -149 mV. Semakin tinggi konsentrasi oksigen dalam reaktor, semakin banyak mikroba yang dapat berkembang, sehingga proses pengolahan akan berjalan efisien (Raisa,dkk.). Tingkat efektifitas ORP tertinggi yaitu terjadi pada hari ke 15 dimana rata-rata konsentrasi reaktor -92 mV dan nilai ter-tinggi dari reaktor A1 -48 mV. Berikut merupakan hasil pengamatan ORP selama 18 hari :

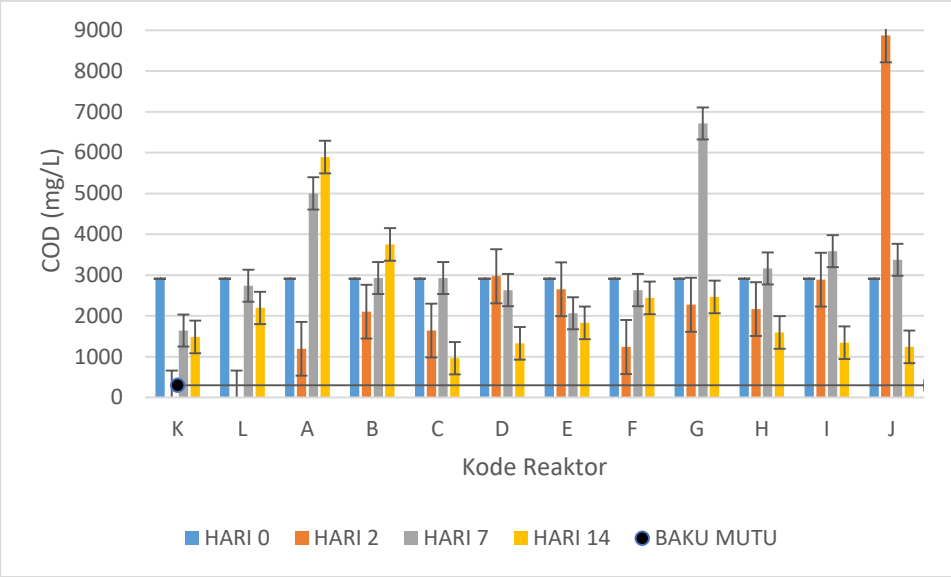


Gambar 4.2 Rata-Rata ORP Keseluruhan. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, reaktor M kontrol aquades, raktor A-J Bakteri Terpilih.

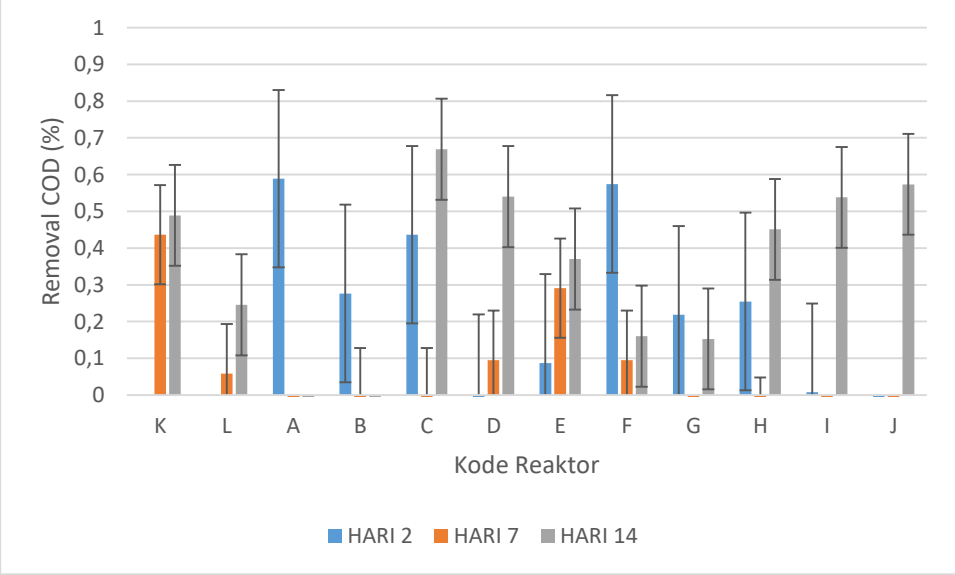
4.3 Removal COD Air Lindi

Setelah running reaktor selama 14 hari, dengan lima kali pengujian. Konsentrasi COD pada air lindi terjadi penurunan dan kenaikan. Terdapat beberapa bakteri yang dapat mengola kadar COD dengan baik, namun kontrol tanaman dengan limbah yang tidak diberi pereaksi juga dapat melakukan reduksi konsentrasi COD dengan cukup baik. Fungsi kontrol

limbah (L) merupakan sebagai patokan nilai COD, sedangkan kontrol limbah dengan tanaman *Typha latifolia* sebagai pembanding apakah Berikut merupakan data hasil pengamatan :



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi COD di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih.



Gambar 4.4 Grafik Persentase Removal COD di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih.

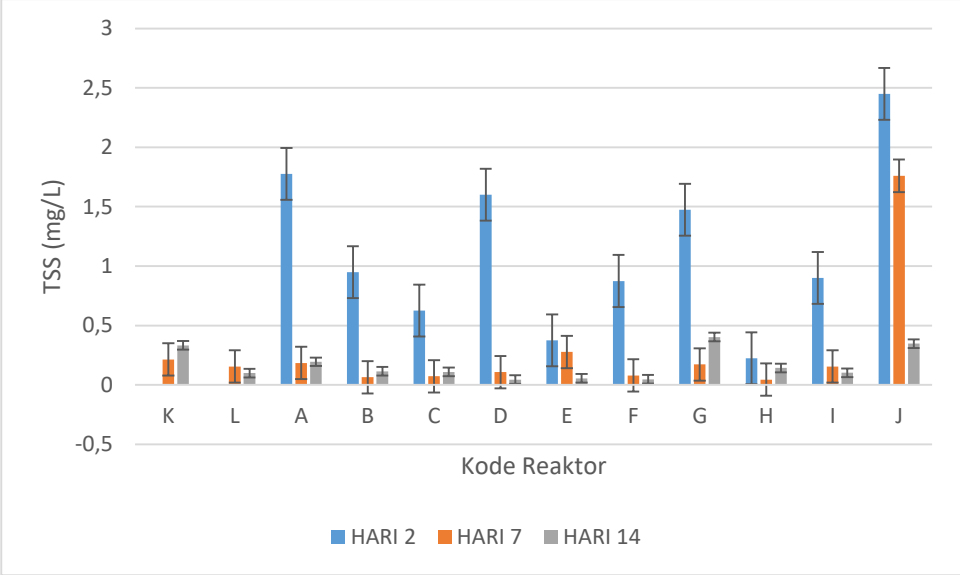
Proses penurunan kadar COD terjadi karena bakteri dapat menurunkan kandungan COD dengan proses fitoremediasi melalui bioaugmentasi. Bioaugmentasi adalah proses penambahan mikroorganisme alami atau hasil rekayasa genetika ke tanah yang tercemar untuk menghilangkan polutan berbahaya (Kafle. dkk, 2022). Mekanisme penurunan kandungan organik selama fitoremediasi polutan air lindi dengan fitostimulasi, rhizofiltrasi, dan rhizodegradasi. Mulai dari fitostimulasi dimana adanya proses pelepasan eskudat tanaman di rhizofer. Adanya eksudat dapat merangsang pertumbuhan bakteri yang ada di sekitar akar untuk tumbuh dengan baik. Selanjutnya proses rhizofiltrasi dimana tanaman akan menyerap polutan melalui akar. Polutan akan diangkut ke rizofer dimana bakteri akan menguraikan kandungan organik yang akan dilakukan dengan proses rhizodegradasi. Proses rhizodegradasi akan membuat bakteri yang berada sekitar akar akan mendegradasi kandungan organik (Yuliasni. dkk, 2023).

Tingginya kandungan COD yang menandakan jumlah bahan organik yang tinggi, sehingga membutuhkan banyak oksigen untuk proses dekomposisi biologis oleh mikroorganisme dan oksidasi kimiawi. Penguraian zat organik adalah proses alami; jika badan air tercemar oleh bahan organik, bakteri akan menghabiskan oksigen terlarut selama proses biodegradasi, yang dapat menyebabkan kematian biota air dan menciptakan kondisi anaerobik yang ditandai dengan bau busuk. Jika konsumsi oksigen sangat tinggi, terlihat dari menurunnya kadar oksigen terlarut, berarti kandungan bahan-bahan buangan yang memerlukan oksigen juga tinggi. Oleh karena itu, tingginya nilai COD merupakan indikator utama pencemaran dan penting untuk menilai tingkat pencemaran air limbah (Dwangga, dkk 2023)

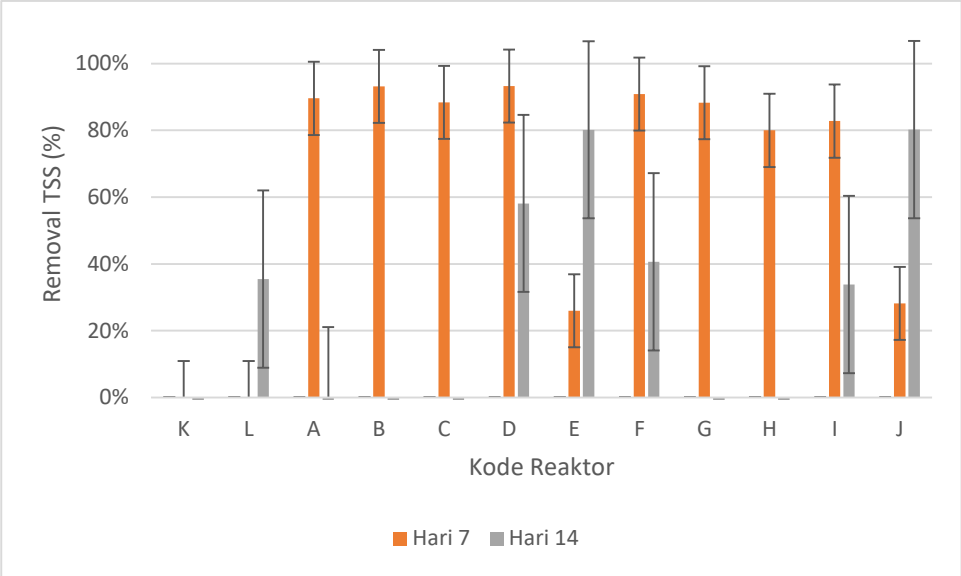
Selama proses running reaktor konsentrasi COD belum mampu menurunkan hingga batas standar baku mutu 300 mg/L (Permen LHK 59 tahun 2016). Nilai kontrol air lindi dengan *Typha latifolia* (K) mampu menurunkan kadar COD dengan nilai removal 49% pada hari ke 14. Dengan penamabahan bakteri dapat meningkatkan efektifitas dari pengolahan air lindi, dimana reaktor C dapat menurunkan 67%, reaktor D 54%, reaktor I 54%, dan reaktor J 57%. Dikarenakan air lindi masih belum memenuhi baku mutu, maka diperlukan pengolahan lanjutan untuk bisa memenuhi baku mutu supaya air limbah dapat dibuang ke badan air.

4.4 Removal TSS Air Lindi

Tanaman tidak hanya berperan sebagai penopang laju aliran air, tetapi juga membantu mengendalikan proses sedimentasi padatan. Filtrasi yang terjadi melalui akar tanaman merupakan salah satu mekanisme utama dalam mengurangi TSS. Akar tanaman mampu menyaring partikel padatan dalam limbah, membentuk filter yang efektif. Selain filtrasi melalui akar tanaman, terdapat juga proses sedimentasi yang memerlukan waktu agar material dengan kandungan bahan organik dapat mengendap. Proses ini juga berkontribusi pada pengurangan TSS dalam air.Selain tanaman, media lain seperti kerikil dan tanah juga berperan dalam menurunkan TSS. Media-media ini membantu menyaring partikel padatan dan memfasilitasi proses sedimentasi.Dengan demikian, kombinasi antara tanaman, akar, dan media seperti kerikil dan tanah membentuk sistem yang efektif dalam mengurangi TSS dalam air limbah (Pramesti, dkk,. 2023). Hasil running reaktor selama 14 hari, dengan pengujian sebanyak tiga kali. Konsentrasi TSS dapat ter reduksi dengan baik. Berikut merupakan data hasil pengamatan TSS :



Gambar 4.5 Grafik Pengujian TSS di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih.

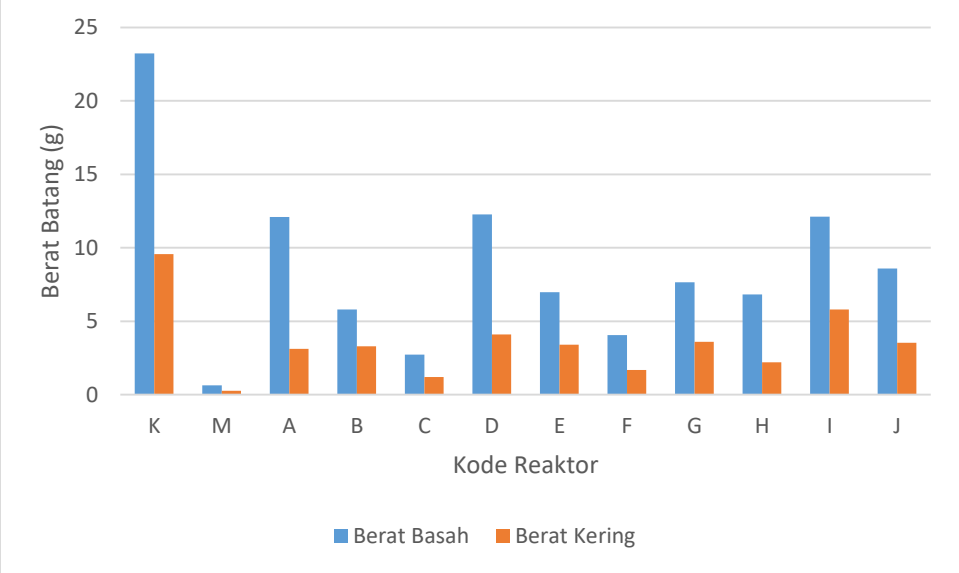


Gambar 4.6 Grafik Persentase Removal TSS di beberapa reaktor. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor L kontrol limbah, raktor A-J Bakteri Terpilih.

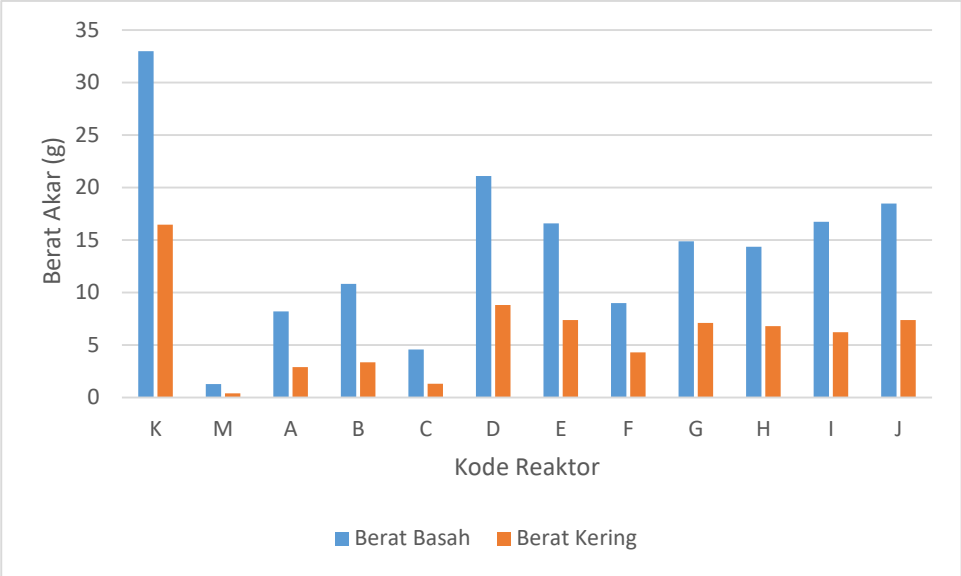
Efektifitas dari tiap rektor sangatlah baik untuk mengurangi konsentrasi TSS. Semakin lama waktu tinggal maka semakin besar efisiensi penyisihan TSS nya atau waktu tinggal berbanding lurus dengan nilai efisiensi penyisihan (Raisa,dkk.,). Kondisi air lindi yang diperoleh dari proses aerasi sudah cukup bersih, sedikit sekali sedimentasi yang dihasilkan. Dari hari ke hari tanaman *Typha latifolia* dapat mengurangi nilai TSS. Kontrol air lindi dengan tanaman namun pada hari ke 14 memiliki nilai removal -55%, hal ini ada beberapa kemungkinan seperti tanah atau pasir wadah reaktor luruh dan kondisi akar tanaman yang mati. Kontrol air limbah (L) bisa mengurangi kandungan TSS dengan removal 35%. Seharusnya kontrol limbah tidak mampu mengurangi konsentrasi TSS dikarenakan tidak ada perlakuan apapun. Jika di bandingkan dengan kontrol, maka reaktor D, E, dan J cukup baik mengolah TSS dengan removal 58%, 80%, dan 80%. Kontrol air Dari hari ke hari tanaman *Typha latifolia* dapat mengurangi nilai TSS. Nilai TSS dari awal hingga akhir sudah memenuhi standart baku mutu 100 mg/L (Permen LH No.5/2014 tentang baku mutu limbah).

4.5 Biomassa Tanaman

Berat basah tanaman mencerminkan kemampuannya dalam menyerap air dari media tanam, di mana semakin banyak jumlah daun pada tanaman, maka berat basahnya akan semakin tinggi. Pertumbuhan yang subur pada tanaman akan meningkatkan berat basah. Dalam penelitian ini, penimbangan berat basah mencakup daun, rumpun baru, dan batang.. Berat kering tanaman umumnya digunakan sebagai indikator pertumbuhan melalui pengukuran biomassa. Akumulasi berbagai cadangan makanan seperti protein, karbohidrat, dan lemak, serta hasil fotosintesis yang terakumulasi di batang dan daun, tercakup dalam berat kering. Tanaman melakukan fotosintesis selama pertumbuhan, dan berat kering merupakan biomassa hasil dari akumulasi fotosintat dari fotosintesis (Khasanah., 2018). Berikut merupakan berat basah dan kering dari batang serta akar :



Gambar 4.7 Grafik Biomassa Batang. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor M kontrol air, raktor A-J Bakteri Terpilih



Gambar 4.8 Grafik Biomassa Akar. Reaktor K kontrol limbah+tanaman, reaktor M kontrol air, raktor A-J Bakteri Terpilih

Semakin kecil konsentrasi limbah maka semakin besar pertumbuhan tumbuhan typha latifolia, dan semakin besar pula berat keringnya. Dimana nilai berat kering tanaman dipengaruhi oleh panjang tanaman serta jumlah daun (Pandia. dkk, 2018). Nilai biomassa dari batang kontrol air (M) secara basah 0,271 g dan keadaan kering 0,271 g, jika di bandingkan dengan kontrol tanaman air lindi (K) nemiliki masa serta lebih tinggi dengan nilai basah 23,229 g dan kering 9,57 g. Nilai terkecil dari reaktor C dengan berat basah 2,738 g dan berat kering 1,217 g, serta untuk nilai terbesar yaitu reaktor I dengan berat basah 12,114 dan berat kering 5,796. Nilai biomassa dari akar, dimulai dari akar kontrol air (M) berat basah 1,298 g dan berat kering 0,388 g. Untuk berat akar dari kontrol tanaman beserta air lindi (K) memiliki berat basah 32,998 g dan berat kering 16,472 g. nilai terendah dari beberapa reaktor yaitu akar reaktor C dengan berat basah 4,575 g dan berat kering 1,31 g, sedangkan reaktor D memiliki berat yang lebih besar dengan berat bersih 21,108 g dan berat kering 8,815. Dilihat dari berat kontrol lebih besar dibandingkan dengan reaktor diberi bakteri, maka penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian (Rahmayani, 2022) dengan pernyataan yang menunjukkan bahwa pemberian bakteri endofit ke dalam tanah mampu meningkatkan berat kering tanaman *Typha latifolia* dan pembentukan akar efektif. Hal ini dimungkinkan bisa terjadi karena perbedaan perlakuan kondisi tanaman.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah proses running reaktor dari awal hingga hari ke 14. Reaktor yang dapat mengolah konsentrasi dengan baik yaitu reaktor D dan J. Konsentrasi COD dari masing-masing reaktor belum mampu memenuhi baku mutu, namun efektifitas bakteri yang terjadi cukup berhasil dengan mampu menurunkan kandungan COD setiap minggunya. Untuk kadar TSS sudah mencukupi nilai baku mutu. Hasil akhir reaktor D dapat meremoval COD sebanyak 54% dan TSS 58% dan reaktor J removal COD 57% dan TSS 80%. Hasil parameter fisik dengan waktu running 19 hari, TDS menghasilkan nilai terendah yaitu 1190 mg/L pada hari ke 7 dan nilai tertinggi yaitu 2030 mg/L pada hari ke 17. Untuk ORP nilai tertinggi yaitu –48 mV dan nilai terendah yaitu -241 mV.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk tanaman maupun reaktor perlu dilakukan dalam jangka waktu yang lebih lama sehingga mampu mengurangi polutan dalam air lindi secara maksimal dan menghasilkan *effluent* yang memenuhi baku mutu yang berlaku. Setelah mengetahu bakteri yang efektif dalam pengolahan *constructed wetland* maka dapat mengembangkan dalam mengolah air lindi menggunakan pengolahan tambahan.

LAMPIRAN

Rabu 6 Maret 2024

Konsentrasi Air Limbah 50% dengan pengenceran 10x

Sampel	Absorbansi (A)	C (mg/L)	f	Kadar COD (Pt-Co)	Kadar COD rata2
Sampel 1	0,077	172,347	10	1723,47319	2907,338409
Sampel 2	0,095	248,453	10	2484,529402	
Sampel 3	0,079	180,803	10	1808,034991	
Sampel 4	0,134	413,348	10	4133,484529	
Sampel 5	0,14	438,717	10	4387,169934	

Lampiran 1 Uji COD 6 Maret 2024

Jumat 8 Maret 2024

Konsentrasu Air Limbah 50% dengan pengenceran 10X

Sampel	Bakteri	Reaktor	Absorbansi (A)	C (mg/L)	f	Kadar COD (Pt-Co)	Rata2	SDEV	SQRT	S.E
1	0		0,036	-1,004373886	10	-10,04373886	0			
2	A	A1	0,065	121,6102381	10	1216,102381	1194,961931	29,8971116	34,87	0,857
3		A2	0,064	117,3821481	10	1173,821481				
4	E	B1	0,101	273,8214806	10	2738,214806	2104,001296	896,9133479	52,33	17,14
5		B2	0,071	146,9787786	10	1469,787786				
6	G2	C1	0,079	180,8034991	10	1808,034991	1638,911388	239,1768928	42,52	5,625
7		C2	0,071	146,9787786	10	1469,787786				
8	H	D1	0,137	426,0327231	10	4260,327231	2970,75976	1823,723807	65,27	27,94
9		D2	0,076	168,1192289	10	1681,192289				
10	R	E1	0,131	400,6641827	10	4006,641827	2653,653005	1913,415142	63,3	30,23
11		E2	0,067	130,0664183	10	1300,664183				

12	S13	F1	0,061	104,6978779	10	1046,978779				
13		F2	0,07	142,7506885	10	1427,506885	1237,242832	269,0740044	32,36	8,316
14	S19	G1	0,115	333,0147416	10	3330,147416				
15		G2	0,065	121,6102381	10	1216,102381	2273,124899	1494,85558	57,71	25,9
16	Rd	H1	0,116	337,2428317	10	3372,428317				
17		H2	0,059	96,24169772	10	962,4169772	2167,422647	1704,135361	58,07	29,34
18	17	I1	0,112	320,3304714	10	3203,304714				
19		I2	0,097	256,9091204	10	2569,091204	2886,197959	448,456674	56,6	7,924
20	RA4	J1	0,343	1297,019277	10	12970,19277				
21		J2	0,149	476,769804	10	4767,69804	8868,945407	5800,03965	113,9	50,93

Lampiran 2 Data COD 8 Maret 2024

Jumat 15 Maret 2024

Konsentrasu Air Limbah 50% dengan pengenceran 10X

Sampel	Bakteri	Reaktor	Absorbansi (A)	C (mg/L)	f	Kadar COD (Pt-Co)	Rata2	SDEV	SQRT	S.E
1	0		0,05	58,18888709	10	581,8888709				
2	A	A1	0,165	544,4192451	10	5444,192451	5000,242994			
3		A2	0,144	455,6293536	10	4556,293536		627,8393435	73,78	8,509
4	E	B1	0,097	256,9091204	10	2569,091204				
5		B2	0,114	328,7866515	10	3287,866515	2928,47886	508,2508972	50,69	10,03
6	G2	C1	0,13	396,4360927	10	3964,360927				
7		C2	0,081	189,2596792	10	1892,596792	2928,47886	1464,958468	62,96	23,27
8	H	D1	0,057	87,78551758	10	877,8551758				
9		D2	0,14	438,7169934	10	4387,169934	2632,512555	2481,460263	29,63	83,75
10	R	E1	0,069	138,5225984	10	1385,225984	2061,720395	956,7075711	37,22	25,71

11		E2	0,101	273,8214806	10	2738,214806				
12	S13	F1	0,061	104,6978779	10	1046,978779				
13		F2	0,136	421,8046331	10	4218,046331	2632,512555	2242,28337	32,36	69,3
14	S19	G1	0,213	747,3675684	10	7473,675684				
15		G2	0,177	595,1563259	10	5951,563259	6712,619472	1076,296018	86,45	12,45
16	Rd	H1	0,142	447,1731735	10	4471,731735				
17		H2	0,08	185,0315892	10	1850,315892	3161,023813	1853,620919	66,87	27,72
18	17	I1	0,155	502,1383444	10	5021,383444				
19		I2	0,087	214,6282197	10	2146,282197	3583,83282	2033,003589	70,86	28,69
20	RA4	J1	0,161	527,5068848	10	5275,068848				
21		J2	0,071	146,9787786	10	1469,787786	3372,428317	2690,740044	72,63	37,05
18	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	0,09	227,3124899	10	2273,124899				
19	Kontrol Tanaman+Limbah 2		0,06	100,4697878	10	1004,697878	1638,911388	896,9133479	47,68	18,81
20	Kontrol Limbah 1	L	0,12	354,155192	10	3541,55192				
21	Kontrol Limbah 2		0,082	193,4877693	10	1934,877693	2738,214806	1136,090241	59,51	19,09

Lampiran 3 Data COD 15 Maret 2024

Jumat 22 Maret 2024

Konsentrasu Air Limbah 50% dengan pengenceran 10X

Sampel	Bakteri	Reaktor	Absorbansi (A)	C (mg/L)	f	Kadar COD (Pt-Co)	Rata2	SDEV	SQRT	S.E
1	0		0,037	3,223716183	10	32,23716183				
2	A	A1	0,111	316,1023813	10	3161,023813	5888,141908			
3		A2	0,24	861,5260003	10	8615,260003		3856,727396	56,22298296	68,59698993
4	E	B1	0,076	168,1192289	10	1681,192289				
5		B2	0,174	582,4720557	10	5824,720557	3752,956423	2929,916937	41,00234492	71,45730182
6	G2	C1	0,071	146,9787786	10	1469,787786				
7		C2	0,047	45,50461688	10	455,0461688	962,4169772	717,5306783	38,33781143	18,7160052
8	H	D1	0,076	168,1192289	5	840,5961445				
9		D2	0,079	180,8034991	10	1808,034991	1324,315568	684,0825688	28,99303614	23,59471997
10	R	E1	0,09	227,3124899	10	2273,124899				
11		E2	0,102	278,0495707	5	1390,247854	1831,686376	624,2883456	47,67729962	13,09403743
12	S13	F1	0,118	345,6990118	10	3456,990118				
13		F2	0,07	142,7506885	10	1427,506885	2442,248502	1435,061357	58,79617435	24,40739338
14	S19	G1	0,103	282,2776608	10	2822,776608				
15		G2	0,086	210,4001296	10	2104,001296	2463,388952	508,2508972	53,12980903	9,566209749
16	Rd	H1	0,098	261,1372104	10	2611,372104				
17		H2	0,05	58,18888709	10	581,8888709	1596,630488	1435,061357	51,10158612	28,08252083
18	17	I1	0,074	159,6630488	10	1596,630488				
19		I2	0,062	108,9259679	10	1089,259679	1342,945083	358,7653392	39,9578589	8,978592674
20	RA4	J1	0,065	121,6102381	10	1216,102381				
21		J2	0,096	252,6810303	5	1263,405151	1239,753766	33,44810953	34,87265951	0,959149947
`	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	0,101	273,8214806	5	1369,107403				
19	Kontrol Tanaman+Limbah 2		0,112	320,3304714	5	1601,652357	1485,37988	164,4341138	37,00145137	4,443990917
20	Kontrol Limbah 1	L	0,181	612,0686862	5	3060,343431				
21	Kontrol Limbah 2		0,099	265,3653005	5	1326,826503	2193,584967	1225,781575	55,32037085	22,15786982

Lampiran 4 Data COD 22 Maret 2024

Sampel	Bakteri	Reaktor	Removal Rata-Rata COD		
			Hari 2	Hari 7	Hari 14
1	0	0	0%		
2	A	A1	59%	-72%	-103%
3		A2			
4	E	B1	28%	-1%	-29%
5		B2			
6	G2	C1	44%	-1%	67%
7		C2			
8	H	D1	-2%	9%	54%
9		D2			
10	R	E1	9%	29%	37%
11		E2			
12	S13	F1	57%	9%	16%
13		F2			
14	S19	G1	22%	-131%	15%
15		G2			
16	Rd	H1	25%	-9%	45%
17		H2			
18	17	I1	1%	-23%	54%
19		I2			

20	RA4	J1	-205%	-16%	57%
21		J2			
22	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K1	TIDAK ADA DATA	44%	49%
23	Kontrol Tanaman+Limbah 2	K2			
24	Kontrol Limbah 1	L1	TIDAK ADA DATA	6%	25%
25	Kontrol Limbah 2	L2			

Lampiran 5 Removal Rata-Rata CO

Rata-Rata COD				
Reaktor	0	2	7	14
K	2908,338	0	1638,911	1485,38
L	2909,338	0	2738,215	2193,585
A	2907,338	1194,962	5000,243	5888,142
B	2907,338	2104,001	2928,479	3752,956
C	2907,338	1638,911	2928,479	962,417
D	2907,338	2970,76	2632,513	1324,316
E	2907,338	2653,653	2061,72	1831,686
F	2907,338	1237,243	2632,513	2442,249
G	2907,338	2273,125	6712,619	2463,389
H	2907,338	2167,423	3161,024	1596,63
I	2907,338	2886,198	3583,833	1342,945
J	2907,338	8868,945	3372,428	1239,754

Lampiran 6 Rata-Rata COD

Rabu 6 Maret 2024

KonsentrasI Air Limbah 50% sebanyak 20 ml

Sampel	Bakteri	Reaktor	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Selisih Berat (g)	TSS (mg/L)	Rata2	SDEV	SQRT	S.E
1	A	A1	1,794	1,814	0,02	1	1,775	1,096016	1	1,096016
2		A2	1,802	1,853	0,051	2,55				
3	E	B1	1,822	1,832	0,01	0,5	0,95	0,636396	0,707107	0,9
4		B2	1,825	1,853	0,028	1,4				
5	G2	C1	1,742	1,754	0,012	0,6	0,625	0,035355	0,774597	0,045644
6		C2	1,787	1,8	0,013	0,65				
7	H	D1	1,797	1,831	0,034	1,7	1,6	0,141421	1,30384	0,108465
8		D2	1,882	1,912	0,03	1,5				
9	R	E1	1,836	1,846	0,01	0,5	0,375	0,176777	0,707107	0,25
10		E2	1,779	1,784	0,005	0,25				
11	S13	F1	1,801	1,811	0,01	0,5	0,875	0,53033	0,707107	0,75
12		F2	1,765	1,79	0,025	1,25				
13	S19	G1	1,766	1,82	0,054	2,7	1,475	1,732412	1,643168	1,054312
14		G2	1,811	1,816	0,005	0,25				
15	Rd	H1	1,765	1,766	0,001	0,05	0,225	0,247487	0,223607	1,106797
16		H2	1,895	1,903	0,008	0,4				
17	17	I1	1,777	1,804	0,027	1,35	0,9	0,636396	1,161895	0,547723
18		I2	1,722	1,731	0,009	0,45				
19	RA4	J1	1,702	1,73	0,028	1,4	2,45	1,484924	1,183216	1,25499
20		J2	1,804	1,874	0,07	3,5				

Lampiran 7 Data TSS 6 Maret 2024

Rabu 13 Maret 2024

KonsentrasI Air Limbah 50% sebanyak 20 ml

Sampel	Bakteri	Reaktor	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Selisih Berat (g)	TSS (mg/L)	Rata2	SDEV	SQRT	S.E
1	A	A1	0,1659	0,1687	0,0028	0,14	0,185	0,06364	0,374166	0,170084
2		A2	0,168	0,1726	0,0046	0,23				
3	E	B1	0,1777	0,1791	0,0014	0,07	0,065	0,007071	0,264575	0,026726
4		B2	0,1719	0,1731	0,0012	0,06				
5	G2	C1	0,1753	0,1774	0,0021	0,105	0,0725	0,045962	0,324037	0,141842
6		C2	0,1693	0,1701	0,0008	0,04				
7	H	D1	0,1627	0,1642	0,0015	0,075	0,1075	0,045962	0,273861	0,167829
8		D2	0,1699	0,1727	0,0028	0,14				
9	R	E1	0,1825	0,1932	0,0107	0,535	0,2775	0,36416	0,731437	0,497869
10		E2	0,1883	0,1887	0,0004	0,02				
11	S13	F1	0,1779	0,1808	0,0029	0,145	0,08	0,091924	0,380789	0,241404
12		F2	0,1746	0,1749	0,0003	0,015				
13	S19	G1	0,1775	0,1832	0,0057	0,285	0,1725	0,159099	0,533854	0,29802
14		G2	0,1766	0,1778	0,0012	0,06				
15	Rd	H1	0,1809	0,1821	0,0012	0,06	0,045	0,021213	0,244949	0,086603
16		H2	0,1782	0,1788	0,0006	0,03				
17	17	I1	0,1842	0,1857	0,0015	0,075	0,155	0,113137	0,273861	0,413118
18		I2	0,1796	0,1843	0,0047	0,235				
19	RA4	J1	0,1774	0,1778	0,0004	0,02	1,76	2,460732	0,141421	17,4
20		J2	0,174	0,244	0,07	3,5				
21	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	0,1762	0,1837	0,0075	0,375	0,215	0,226274	0,612372	0,369504
22	Kontrol Tanaman+Limbah 2		0,1896	0,1907	0,0011	0,055				

23	Kontrol Limbah 1	L	0,1881	0,1936	0,0055	0,275	0,155			
24	Kontrol Limbah 2		0,1889	0,1896	0,0007	0,035		0,169706	0,524404	0,323616

Lampiran 8 Data TSS 13 Maret 2024

Rabu 20 Maret 2024

KonsentrasI Air Limbah 50% sebanyak 20 ml

Sampel	**Bakteri**	**Reaktor**	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Selisih Berat (g)	TSS (mg/L)	**Rata2**	**SDEV**	**SQRT**	**S.E**
1	A	A1	0,1703	0,1749	0,0046	0,23	0,195			
2		A2	0,1842	0,1874	0,0032	0,16		0,049497	0,479583	0,103209
3	E	B1	0,1867	0,1872	0,0005	0,025	0,115			
4		B2	0,1798	0,1839	0,0041	0,205		0,127279	0,158114	0,804984
5	G2	C1	0,176	0,1783	0,0023	0,115	0,11			
6		C2	0,1826	0,1847	0,0021	0,105		0,007071	0,339116	0,020851
7	H	D1	0,1765	0,1769	0,0004	0,02	0,045			
8		D2	0,1822	0,1836	0,0014	0,07		0,035355	0,141421	0,25
9	R	E1	0,1823	0,1833	0,001	0,05	0,055			
10		E2	0,1789	0,1801	0,0012	0,06		0,007071	0,223607	0,031623
11	S13	F1	0,181	0,1819	0,0009	0,045	0,0475			
12		F2	0,187	0,188	0,001	0,05		0,003536	0,212132	0,016667
13	S19	G1	0,1851	0,1975	0,0124	0,62	0,4025			
14		G2	0,1921	0,1958	0,0037	0,185		0,307591	0,787401	0,390642
15	Rd	H1	0,1724	0,1758	0,0034	0,17	0,1425			
16		H2	0,1756	0,1779	0,0023	0,115		0,038891	0,412311	0,094324
17	17	I1	0,1785	0,1794	0,0009	0,045	0,1025	0,081317	0,212132	0,383333

18		I2	0,1792	0,1824	0,0032	0,16				
19	RA4	J1	0,1828	0,1841	0,0013	0,065	0,3475			
20		J2	0,1823	0,1949	0,0126	0,63		0,399515	0,254951	1,567028
21	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	0,187	0,1996	0,0126	0,63	0,3325			
22	Kontrol Tanaman+Limbah 2		0,1841	0,1848	0,0007	0,035		0,420729	0,793725	0,530068
23	Kontrol Limbah 1	L	0,1766	0,1788	0,0022	0,11	0,1			
24	Kontrol Limbah 2		0,1809	0,1827	0,0018	0,09		0,014142	0,331662	0,04264

Lampiran 9 Nilai TSS 20 Maret 2024

REMOVAL TSS			
Reaktor	2	7	14
K	0%	0	-55%
L	0%	0	35%
A	0%	90%	-5%
B	0%	93%	-77%
C	0%	88%	-52%
D	0%	93%	58%
E	0%	26%	80%
F	0%	91%	41%
G	0%	88%	-133%
H	0%	80%	-217%
I	0%	83%	34%

J	0%	28%	80%

Lampiran 10 Removal TSS

Rata-Rata TSS			
Reaktor	2	7	14
K		0,215	0,3325
L		0,155	0,1
A	1,775	0,185	0,195
B	0,95	0,065	0,115
C	0,625	0,0725	0,11
D	1,6	0,1075	0,045
E	0,375	0,2775	0,055
F	0,875	0,08	0,0475
G	1,475	0,1725	0,4025
H	0,225	0,045	0,1425
I	0,9	0,155	0,1025
J	2,45	1,76	0,3475

Lampiran 11 Rata-rata TSS

Sampel	Bakteri	Reaktor	Parameter Fisik TDS (ppm)																			Rata-Rata Per Reaktor	Rata-Rata Reaktor	Rata-Rata Keseluruhan	ERROR	TERTINGGI	TERENDAH
			06/03/2024	07/03/2024	08/03/2024	09/03/2024	11/03/2024	12/03/2024	13/03/2024	15/03/2024	16/03/2024	18/03/2024	19/03/2024	20/03/2024	21/03/2024	22/03/2024	23/03/2024	25/03/2024	26/03/2024	27/03/2024						
1	A	A1	1780	1700	1730	1680	1700	1690	1760	1680	1360	1440	1470	1370	1470	1550	1530	1560	1423	1380	1570,722222	1582,027778	1586,416107	145,319043	1780	1360
2		A2	1770	1670	1710	1700	1780	1720	1740	1780	1580	1490	1610	1520	1360	1500	1490	1430	1440	1390	1593,333333			143,731776	1780	1360
3	E	B1	1860	1740	1680	1810	1690	1640	1680	1740	1650	1550	1570	1320	1510	1560	1550	1490	1510	1640	1621,666667	1622,5		129,080458	1860	1320
4		B2	1840	1670	1810	1750	1740	1760	1780	1620	1520	1680	1540	1410	1620	1530	1510	1520	1490	1430	1623,333333			135,16874	1840	1410
5	G2	C1	1840	1720	1740	1690	1810	1720	1730	1750	1490	1580	1680	1620	1750	1850	1740	1980	2010	1960	1758,888889	1704,722222		134,858919	2010	1490
6		C2	1820	1670	1760	1800	1750	1690	1800	1640	1510	1590	1530	1450	1550	1570	1600	1590	1750	1640	1650,555556			110,691528	1820	1450
7	H	D1	1860	1710	1850	1780	1790	1780	1850	1780	1860	1790	1550	1480	1560	1550	1510	1670	1700	1720	1710,555556	1700		128,359432	1860	1480
8		D2	1830	1680	1820	1730	1750	1810	1780	1610	1570	1490	1570	1550	1570	1690	1730	1930	1640	1660	1689,444444			117,846971	1930	1490
9	R	E1	1840	1710	1830	1820	1740	1800	1770	1630	1490	1520	1480	1470	1470	1440	1550	1590	1310	1560	1612,222222	1648,333333		160,570877	1840	1310
10		E2	1870	1780	1850	1770	1810	1760	1790	1580	1550	1590	1610	1520	1610	1640	1600	1590	1690	1710	1684,444444			109,985145	1870	1520
11	S13	F1	1810	1730	1720	1740	1690	1590	1720	1590	1570	1670	1680	1410	1470	1400	1500	1380	1350	1520	1585,555556	1630,833333		142,755333	1810	1350
12		F2	1920	1710	1900	1760	1720	1790	1850	1640	1570	1700	1680	1450	1720	1580	1550	1530	1460	1640	1676,111111			137,974375	1920	1450
13	S19	G1	1800	1650	1780	1790	1810	1680	1850	1710	1620	1660	1550	1520	1650	1470	1580	1520	1570	1650	1658,888889	1665,833333		112,76675	1850	1470
14		G2	1920	1840	1910	1840	1820	1770	1900	1680	1430	1540	1670	1560	1530	1740	1560	1440	1440	1520	1672,777778			174,011682	1920	1430
15	Rd	H1	1860	1820	1850	1880	1880	1790	1850	1720	1500	1570	1630	1340	1460	1520	1500	1470	1520	1670	1657,222222	1663,888889		177,061158	1880	1340
16		H2	1720	1760	1810	1780	1690	1720	1890	1770	1550	1670	1630	1430	1480	1640	1680	1620	1470	1760	1670,555556			124,827986	1890	1430
17	17	I1	1920	1840	1930	1830	1780	1810	1970	1730	1490	1620	1510	1450	1530	1710	1690	1780	1640	1510	1707,777778	1667,5		163,295314	1970	1450
18		I2	1790	1700	1780	1880	1790	1790	1750	1620	1460	1580	1570	1390	1420	1570	1660	1550	1350	1640	1627,222222			154,759987	1880	1350
19	RA4	J1	1870	1770	1850	1800	1829	1780	1830	1670	1590	1690	1830	1400	1490	1680	1720	1520	1480	1440	1679,944444	1719,416667		155,733737	1870	1400
20		J2	1760	1660	1700	1720	1690	1750	1630	1610	1640	1650	1890	1740	1730	1800	1900	1920	2030	1840	1758,888889			116,411486	2030	1610
21	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	1270	1230	1250	1780	1610	1320	1190	1390	1400	1490	1390	1490	1550	1520	1740	1900	1670	1470	1481,111111	1457,026144		200,818586	1900	1190
22	Kontrol Tanaman+Limbah 2			1380	1310	1390	1580	1270	1310	1290	1460	1420	1430	1500	1350	1340	1570	1500	1390	1870	1432,941176			145,892285	1870	1270
23	Kontrol Limbah 1	L		1390	1470	1430	1490	1460	1510	1430	1280	1770	2420	1970	1840	2020	2150	2240	2260	1850	1763,529412	1711,764706		361,316018	2420	1280
24	Kontrol Limbah 2			1370	1270	1300	1400	1350	1470	1490	1710	1800	1900	1820	1690	1950	1890	1900	2030	1880	1660			259,87978	2030	1270
25	kontrol tanaman+air		130	128	126	119	115	119	122	111	109	120	114	114	119	113	116	115	118	118	118,1111111	118,1111111		5,63485883	130	109

Lampiran 12 Nilai TDS

Sampel	Bakteri	Reaktor	Parameter Fisik ORP (mV)																		Rata-Rata Pereaktor	Rata-Rata Reaktor	Rata-Rata Keseluruhan	ERROR	NILAI TERTINGGI	TERENDAH
			06/03/2024	07/03/2024	08/03/2024	09/03/2024	11/03/2024	12/03/2024	13/03/2024	15/03/2024	16/03/2024	18/03/2024	19/03/2024	20/03/2024	21/03/2024	22/03/2024	23/03/2024	25/03/2024	26/03/2024	27/03/2024						
1	A	A1	-241	-138	-125	-134	-128	-119	-104	-111	-130	-113	-71	-132	-48	-129	-122	-165	-142	-142	-127,4444444			38,76508772	-48	-241
2		A2	-217	-134	-117	-122	-119	-121	-109	-128	-132	-115	-84	-130	-62	-136	-132	-165	-144	-147	-128,5555556	-128		31,75868982	-62	-217
3	E	B1	-196	-134	-115	-133	-114	-115	-111	-119	-126	-112	-93	-131	-73	-139	-129	-168	-148	-149	-128,0555556			27,30109289	-73	-196
4		B2	-208	-128	-113	-125	-113	-118	-105	-122	-135	-114	-109	-129	-83	-150	-135	-155	-137	-139	-128,7777778	-128,4166667		26,13214283	-83	-208
5	G2	C1	-201	-113	-111	-118	-117	-114	-105	-117	-134	-117	-96	-128	-82	-134	-133	-152	-144	-148	-125,7777778			25,90833515	-82	-201
6		C2	-202	-123	-120	-123	-123	-114	-105	-115	-132	-110	-100	-129	-91	-134	-142	-155	-142	-141	-127,8333333	-126,8055556		24,64870835	-91	-202
7	H	D1	-198	-127	-112	-126	-130	-120	-100	-112	-126	-118	-103	-127	-95	-134	-144	-165	-143	-141	-128,9444444			24,40701978	-95	-198
8		D2	-202	-125	-114	-130	-119	-119	-98	-121	-124	-113	-106	-127	-97	-128	-129	-163	-144	-145	-128	-128,4722222		24,55965127	-97	-202
9	R	E1	-200	-122	-113	-120	-124	-114	-93	-111	-123	-119	-109	-129	-95	-131	-141	-167	-148	-140	-127,7222222			25,47618393	-93	-200
10		E2	-203	-121	-111	-115	-112	-118	-101	-119	-120	-113	-109	-128	-97	-132	-155	-159	-134	-131	-126,5555556	-127,1388889		24,99699328	-97	-203
11	S13	F1	-208	-121	-116	-119	-119	-112	-97	-116	-117	-114	-104	-127	-95	-141	-150	-159	-128	-128	-126,1666667			26,18093154	-95	-208
12		F2	-202	-115	-121	-117	-121	-111	-95	-118	-120	-119	-108	-129	-102	-139	-139	-159	-138	-134	-127,0555556	-126,6111111		24,1160728	-95	-202
13	S19	G1	-192	-116	-120	-121	-115	-120	-92	-113	-118	-115	-103	-128	-95	-142	-146	-150	-135	-129	-125		-124,8098434	22,9859292	-92	-192
14		G2	-196	-116	-118	-118	-119	-113	-97	-108	-110	-116	-96	-131	-96	-133	-144	-149	-134	-129	-123,5	-124,25		23,7071595	-96	-196
15	Rd	H1	-187	-116	-111	-117	-114	-115	-91	-100	-102	-111	-99	-121	-95	-139	-138	-151	-134	-131	-120,6666667			23,41944893	-91	-187
16		H2	-202	-116	-119	-114	-123	-111	-91	-114	-110	-119	-97	-130	-93	-133	-142	-147	-131	-133	-123,6111111	-122,1388889		25,0179674	-91	-202
17	17	I1	-196	-116	-116	-119	-118	-112	-105	-108	-112	-118	-101	-129	-103	-138	-149	-152	-138	-137	-125,9444444			23,27703292	-101	-196
18		I2	-200	-127	-118	-124	-119	-114	-98	-113	-113	-118	-104	-129	-107	-137	-151	-154	-145	-141	-128,4444444	-127,1944444		23,99319076	-98	-200
19	RA4	J1	-186	-116	-116	-122	-111	-117	-101	-104	-120	-111	-102	-131	-105	-141	-149	-151	-144	-141	-126			22,31064109	-101	-186
20		J2	-205	-116	-117	-113	-110	-113	-102	-113	-119	-114	-101	-122	-95	-137	-133	-146	-131	-123	-122,7777778	-124,3888889		24,22093299	-95	-205
21	Kontrol Tanaman+Limbah 1	K	-199	-116	-125	-124	-129	-118	-99	-103	-116	-115	-109	-112	-99	-134	-131	-137	-133	-126	-123,6111111			22,1708311	-99	-199
22	Kontrol Tanaman+Limbah 2			-135	-123	-122	-122	-117	-94	-110	-118	-112	-104	-109	-106	-137	-133	-143	-138	-134	-121	-122,3055556		14,04902132	-94	-143
23	Kontrol Limbah 1	L		-130	-125	-129	-129	-115	-89	-114	-111	-119	-97	-110	-95	-139	-141	-129	-127	-123	-118,9411765			14,93096861	-89	-141
24	Kontrol Limbah 2			-132	-123	-130	-128	-116	-94	-118	-111	-114	-92	-111	-97	-128	-144	-139	-128	-126	-119,4705882	-119,2058824		15,04209779	-92	-144
25	kontrol tanaman+air		-144	-103	-117	-113	-112	-114	-101	-112	-109	-102	-92	-99	-99	-120	-122	-103	-108	-102	-109,5555556	-109,5555556		11,77346079	-92	-144

Lampiran 13 Nilai ORP



Lampiran 14 Hasil TSS yang siap di timbang



Lampiran 15 Proses Pengukuran Akhir Tanaman per-Reaktor



Lampiran 16. Pembuatan Reaktor FTW





















Lampiran 17 Kondisi Akhir Tanaman *Typha latifolia*

DAFTAR PUSTAKA

Abdulgani, H., & Izzati, M. (2014). *Kemampuan Tumbuhan Typha Angustifolia Dalam Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat)*. *16*(1).

Adi Buldan Rayaganda Rito, B. (2017). Pemanfaatan Constructed Wetland Sebagai Bagian Dari Rancangan Lansekap Ruang Publik Yang Berwawasan Ekologis Studi Kasus Houtan Park China. *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, *9*(1), 46–59. https://doi.org/10.20885/jstl.vol9.iss1.art5

Akhir, T., & Rahmayani, A. Z. (2022). *Dengan Tanaman Typha Latifolia Dalam Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*.

Alang-alang, L. M. T., & Angustifolia, T. (n.d.). *Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro*.

Angrianto, N. L., Manusawai, J., & Sinery, A. S. (2021). Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat. *Cassowary*, *4*(2), 221–233. https://doi.org/10.30862/casssowary.cs.v4.i2.79

Ariny, T. D., & Zaman, B. Istirokhatun, T. (2014). Penyisihan BOD dan COD dalam Lindi pada Constructed Wetland menggunakan Typha angustifolia dengan Pengaruh Debit dan Jumlah Tumbuhan yang Berbeda (Studi Kasus: Tempat Pembuangan Sampah Kawasan Industri Terboyo, Semarang, Jawa Tengah). *Jurnal Teknik Lingkungan*, *3*(4), 1–19.

Astuti, F. A., Syafrudin, S., & Susilowati, I. (2023). Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *21*(4), 881–887. https://doi.org/10.14710/jil.21.4.881-887

Baker, a J. M., & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, *1*(2), 81–126. http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Terrestrial+higher+plants+which+hyperaccumulate+metallic+elements#5

Bansal, S., Lishawa, S. C., Newman, S., Tangen, B. A., Wilcox, D., Albert, D., Anteau, M. J., Chimney, M. J., Cressey, R. L., Dekeyser, E., & Elgersma, K. J. (2019). *Typha (*

Cattail) Invasion in North American Wetlands : Biology , Regional Problems , Impacts , Ecosystem Services , and Management. Wetlands.

Basah, L. (n.d.). *Lahan Basah Buatan di Ind*.

Bhyantoeo, T. N., Air, T., Dibimbing, L., Fajri, A., Eng, M., Nur, A., Si, S., & Sc, M. (n.d.). *Isolasi Bakteri Endogen dan Endofit dari Tanah dan Akar Tanaman Terkontaminasi Air Lindi*. 1–18.

Cair, L., Minuman, I., Lumpur, D., Limbah, A., Megasari, R., Biyatmoko, D., Ilham, W., & Hadie, J. (2012). *IDENTIFIKASI KERAGAMAN JENIS BAKTERI PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI MINUMAN DENGAN LUMPUR AKTIF LIMBAH TAHU Ritni Megasari, Danang Biyatmoko, Wahyuni Ilham, Jamzuri Hadie*. *8*, 89–101.

Dan, P., Tanaman, H., & Brassica, C. (2018). *No Title*. 173–180.

Darnas, Y., Anas, A. A., & Hasibuan, M. A. A. (2020). Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur. *Jurnal Serambi Engineering*, *5*(3), 1165–1176. https://doi.org/10.32672/jse.v5i3.2080

Dwangga, M., & Farida, A. (2023). Pengaruh Air Lindi (Leachate) Terhadap Kualitas Air Permukaan Di Sekitar Tpa Kota Sorong. *EnviroScienteae*, *19*(1), 183. https://doi.org/10.20527/es.v19i1.15759

Fajariyah, C., & Mangkoedihardjo, S. (2017). Kajian Literatur Pengolahan Lindi. *Teknik ITS*, *6*(2).

Fathoni, F. M., Pudjowati, U. R., & Sutikno. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Komunal di Dusun Sidomulyo Babakbawo Kabupaten Gresik. *Jurnal Online Skripsi*, *4*(1), 84–91. http://jos-mrk.polinema.ac.id/

Fisis, D. A. N., Minum, A. I. R., Ulang, I. S. I., & Kecamatan, D. I. (2015). *KABUPATEN KAMPAR*. *5*(2).

Harmiyati, H. (2018). Tinjauan Proses Pengolahan Air Baku (Raw Water) Menjadi Air Bersih Pada Sarana Penyediaan Air Minum (Spam) Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti. *Jurnal Saintis*, *18*(1), 1–15. https://doi.org/10.25299/saintis.2005.vol8(2).2808

Hasanah, F., Christian, N., & Ramadhani, Y. (2021). *Pendugaan Umur Simpan Kerupuk Tulang Ikan Tenggiri (Scomberomorus commerson) dengan Proses Penirisan dan Tanpa Penirisan dengan Metode Akselerasi Kadar Air Kritis*. *38*, 132–141.

Jayana, R., Nisa, K., & Pusphaningrum, S. A. (2021). Uji Kualitatif Penurunan Kadar

Lemak, Kandungan Padatan, dan Kekeruhan Pada Air Limbah Domestik Dengan Grease Trap Bar Screen Filtration. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, *3*(1), 27–33. https://ejournal.pnc.ac.id/index.php/jppl/article/view/602

Juwana, K., Pati, K., Samuel, E., Hasibuan, F., & Supriyantini, E. (2021). *Pengukuran Parameter Bahan Organik Di Perairan Sungai Silugonggo ,*. *10*(3), 299–306. https://doi.org/10.14710/buloma.v10i3.32345

Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances*, *8*(February), 100203. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203

Kartikasari, I. B., Widyastuti, M., & Hadisusanto, S. (2020a). Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada Daphnia sp. dengan Whole Effluent Toxicity. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *18*(2), 297–304. https://doi.org/10.14710/jil.18.2.297-304

Kartikasari, I. B., Widyastuti, M., & Hadisusanto, S. (2020b). Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada Daphnia sp. dengan Whole Effluent Toxicity. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *18*(2), 297–304. https://doi.org/10.14710/jil.18.2.297-304

Kholif, A., Kholif, M. Al, & Nezarudin, S. I. (n.d.). *Penerapan Teknologi Constructed Wetland (CW) dalam Menurunkan Kadar Cemaran pada Air Limbah Domestik Application Constructed Wetland (CW) Technology to Reduce Pollutant Matter in the Domestic Wastewater*. *10*, 1–11.

Lingkungan, J. I., & E-coli, P. O. D. A. N. (2013). *EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK DI KOTA CIREBON TERHADAP PENURUNAN*. *11*(1), 36–42.

Lingkungan, J. T. (2016). *PERENCANAAN CONSTRUCTED WETLAND UNTUK PENGOLAHAN GREYWATER MENGGUNAKAN TUMBUHAN Canna indica (STUDI KASUS : KELURAHAN KEPUTIH SURABAYA) DESIGN OF CONSTRUCTED WETLAND FOR GREYWATER TREATMENT BY USING Canna indica (CASE STUDY : KELURAHAN KEPUTIH SURABAYA*.

Lumaela, A. K., Otok, B. W., & Sutikno. (2013). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (Cod) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, *2*(1), D100–D105.

Muhshanati, N. (2021). *Penurunban Intensitas Warna Lindi TPA Regional Blang Bintang dengan Proses Contructed Wetland Menggunakan Tanaman Air Ekor Kucing (Typha Latifolia)*. 1–98.

Pandia, S., Purba, E., Hasan, W., Pengajar, S., Teknik, F., Pengajar, S., Pertanian, F., Pengajar, S., & Kesehatan, F. (2018). *Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (Typha Latifolia , Enceng Gondok , Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat*. *III*, 344–351.

Pramesti, T. A., & Mirwan, M. (2023). Penurunan TSS, COD, dan Total-Nitrogen pada Air Lindi dengan Metode Constructed Wetland Tanaman Typha Angustifolia. *Insologi: Junal Sains Dan Teknologi*, *2*(4), 745–753. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i4.2309

Purwaningrum, S. I., & Syarifuddin, H. (2023). Analisis Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUD H. Abdurrahman Sayoeti Kota Jambi. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, *6*(2), 61–68.

Ramadhani, J., Asrifah, R. D., & Wahyuning, I. (2019). Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Constructed Wetland di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumian*, *1*(2), 1–8. http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kebumian/article/view/3280

Redfern, L. K., & Gunsch, C. K. (2016). Endophytic Phytoaugmentation: Treating Wastewater and Runoff Through Augmented Phytoremediation. *Industrial Biotechnology*, *12*(2), 83–90. https://doi.org/10.1089/ind.2015.0016

Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, *8*(1). https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2380

Said, N. I., & Hartaja, R. K. (2015). Leachate Treatment Using Anaerobic-Aerobic Biofilter and Denitrification Process. *Jurnal Air Indonesia*, *8*(1), 1–20.

Sasvita, W., Pratomo, B., & Siagian, A. C. (2023). *J | I | P*. *20*(2), 118–126.

Setiadewi, N., Henny, C., Verawati, D., & Waluyo, A. (n.d.). *Laju Reaksi Penghilangan Fosfat pada Limbah Cair Artifisial NPK Menggunakan Sistem Floating Treatment Wetlands*. 167–177.

Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, *2*(2), 40–47. https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360

Sustainability, E., Salari, M., Rahmanian, V., Hashemi, S. A., Chiang, W., & Lai, C. W. (2022). *Bioremediation Treatment of Polyaromatic Hydrocarbons for*.

Ulfah, M., Rita, E., & Dewi, S. (2015). Evaluasi Fitoremediasi Pencemaran Logam Berat di Tanah TPA. *Snhp-V, November*.

Variasi, P., Tinggal, W., Kadar, T., Pada, D. A. N. T. S. S., Lindi, P., Bukit, T. P. A., Samarinda, P., Sistem, M., & Sedimentasi, B. D. A. N. (2017). *Jurnal " Teknologi Lingkungan " , Volume 1 Nomor 2 , Desember 2017 Jurnal " Teknologi Lingkungan " , Volume 1 Nomor 2 , Desember 2017*. *1*, 20–26.

Yuliasni, R., Kurniawan, S. B., Marlena, B., Hidayat, M. R., Kadier, A., Ma, P. C., & Imron, M. F. (2023). *Recent Progress of Phytoremediation-Based Technologies for Industrial Wastewater Treatment*. *24*(2), 208–220.

Zamora, R., & Wildian, H. (2015). *PERANCANGAN ALAT UKUR TDS (TOTAL DISSOLVED SOLID) AIR DENGAN SENSOR KONDUKTIVITAS SECARA REAL TIME*. *VII*(1), 11–15.