

TA/TL/2024/1772

TUGAS AKHIR
PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM
TEKNIK LINGKUNGAN DENGAN TEKNOLOGI
LINGKUNGAN TEPAT GUNA (TLTG)

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



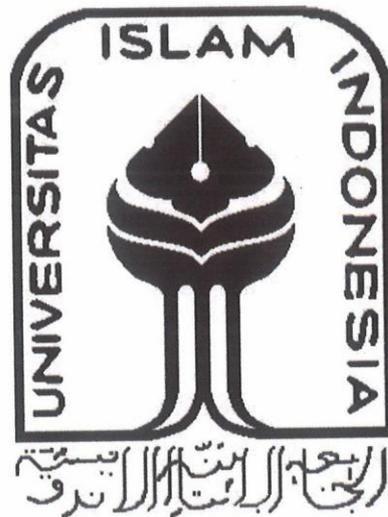
JENIKA NUR FARIDA RAMADHANI
17513177

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCAAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TUGAS AKHIR
PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM
TEKNIK LINGKUNGAN DENGAN TEKNOLOGI
LINGKUNGAN TEPAT GUNA (TLTG)

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



JENIKA NUR FARIDA RAMADHANI
17513177

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Eko Siswono, S.T., M.Sc.E.S., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal: 27 Maret 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

NIK. 045130401

Tanggal: 1 April 2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM
TEKNIK LINGKUNGAN DENGAN TEKNOLOGI
LINGKUNGAN TEPAT GUNA (TLTG)**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Rabu

Tanggal: 27 Maret 2024

Disusun Oleh:

JENIKA NUR FARIDA RAMADHANI

17513177

Tim Penguji:

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

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

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

()

()

()

28-03-2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 16 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Jenika Nur Farida Ramadhani

NIM: 17513177

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. *Shalawat* serta salam tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW serta para keluarga dan sahabatnya.

Alhamdulillahirabbil'alamin penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul: **“Pengolahan Air Limbah Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG)”**. Laporan ini diajukan kepada Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta sebagai persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S-1) di Jurusan Teknik Lingkungan. Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan berkat dorongan, motivasi, bantuan, bimbingan, doa, dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala bentuk kebaikan, kemudahan, dan petunjuk-Nya untuk penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Jendro Widigdo dan Ibu Septieny, yang selalu mendoakan, memberikan semangat, dukungan, dan motivasi untuk penulis tiada henti.
3. Adik penulis, Jenifa Zulfaida, yang selalu menyemangati dan setia menemani penulis selama penelitian berlangsung.
4. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak membimbing, memberikan ilmu dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T. dan Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan masukan yang bermanfaat dalam penulisan laporan agar lebih sempurna.
6. Para laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII yang telah membantu dan mendampingi penulis saat penelitian di laboratorium berlangsung.

7. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Lingkungan 2017 yang saling menyemangati dan membantu semasa perkuliahan.
8. Semua pihak yang telah bersedia membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik karena keterbatasan ilmu yang dimiliki maupun karena penulis tidak luput dari salah dan khilaf. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kemajuan dan kebaikan bersama bagi penulis, khususnya dan bagi pembaca. Semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat dan dapat menjadi referensi penelitian ilmiah selanjutnya.

Yogyakarta, 16 Maret 2024

Jenika Nur Farida Ramadhani

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

JENIKA NUR FARIDA RAMADHANI. Pengolahan Air Limbah Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG). Dibimbing oleh Ir. EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan adalah salah satu laboratorium yang digunakan mahasiswa untuk melakukan berbagai aktivitas praktikum dan penelitian Tugas Akhir dengan menggunakan larutan bahan kimia. Limbah bahan kimia berbahaya yang sering terdapat dalam air limbah laboratorium adalah logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd). Bahaya timbal (Pb) bagi kesehatan manusia dapat mengganggu sistem saraf dan kerusakan otak, sedangkan bahaya kadmium (Cd) bagi manusia dapat mengalami gangguan pernapasan dan penurunan sistem kekebalan tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air limbah dan kemampuan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) dengan rangkaian unit pengolahan dalam menurunkan pencemaran air limbah di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah kuantitatif deskriptif, yang mana pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik di setiap variasi waktu kontak limbah sehingga didapatkan sampel berjumlah 8. Dari 8 sampel tersebut, dibuat lagi sampel dengan pengenceran 10 (sepuluh) kali menggunakan aquades sehingga sampel yang akan dianalisis berjumlah 16 sampel. Sampel dianalisis menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala berdasarkan SNI 6989.8:2009 untuk uji timbal (Pb) dan SNI 6989.16:2009 untuk uji kadmium (Cd). Kemampuan penurunan pencemaran air limbah logam berat timbal (Pb) sebesar 63.10% dari konsentrasi awal 0.063 mg/L menjadi 0.023 mg/L dan kadmium (Cd) sebesar 22.69% dari konsentrasi awal 8.688 mg/L menjadi 6.717 mg/L.

Kata kunci: Air limbah laboratorium, Efektivitas, Kadmium, Timbal

ABSTRACT

JENIKA NUR FARIDA RAMADHANI. *Environmental Engineering Laboratory Wastewater Treatment with Appropriate Environmental Technology (TLTG)*. Supervised by Ir. EKO SISWOYO, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

The Environmental Engineering Water Quality Laboratory is one of the laboratories used by students to carry out various practicum activities and Final Project research using chemical solutions. Hazardous chemical wastes that are often found in laboratory wastewater are heavy metals lead (Pb) and cadmium (Cd). The dangers of lead (Pb) for human health can disrupt the nervous system and brain damage, while the dangers of cadmium (Cd) for humans can experience respiratory problems and a decrease in the immune system. This study aims to analyze the quality of wastewater and the ability of Appropriate Environmental Technology (TLTG) with a series of treatment units in reducing wastewater pollution in the Environmental Engineering Water Quality Laboratory at the Islamic University of Indonesia. The method used in the research is descriptive quantitative, where sampling is carried out at 4 points in each variation of waste contact time so that 8 samples are obtained. Of the 8 samples, samples were made again with a dilution of 10 (ten) times using distilled water so that the samples to be analyzed were 16 samples. The samples were analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) instrument based on SNI 6989.8:2009 for lead (Pb) test and SNI 6989.16.2009 for cadmium (Cd) test. The ability to reduce heavy metal wastewater pollution of lead (Pb) by 63.10% from the initial concentration of 0.063 mg/L to 0.023 mg/L and cadmium (Cd) by 22.69% from the initial concentration of 8.688 mg/L to 6.717 mg/L.

Keywords: Cadmium, Effectiveness, Laboratory wastewater, Lead

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Limbah Cair.....	6
2.2 Limbah Laboratorium.....	6
2.3 Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd).....	7
2.4 Netralisasi pH.....	8
2.5 Sedimentasi.....	8
2.6 Adsorpsi.....	8
2.7 Arang Aktif.....	9
2.8 Fitoremediasi.....	9
2.9 Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	11
2.10 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	16
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.3 Prosedur Analisis Data.....	17
3.3.1 Rangkaian Unit Pengolahan.....	18
3.3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3.3 Metode Uji Sampel.....	22
3.3.4 Metode Analisis Data.....	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Karakteristik Air Limbah Laboratorium.....	28
4.2 Hasil Pengolahan Limbah Laboratorium dengan Reaktor.....	29

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	48
RIWAYAT HIDUP	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Jenis-Jenis Tanaman untuk Aplikasi Fitoremediasi.....	10
Tabel 2	Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3	Karakteristik Air Limbah Laboratorium.....	28
Tabel 4	Hasil Uji Pb dengan td 30 Menit dan 60 Menit	31
Tabel 5	Hasil Uji Cd dengan td 30 Menit dan 60 Menit.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Instrumen AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>) Tipe GBC.....	17
Gambar 2	Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3	Rangkaian Unit Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan.....	18
Gambar 4	Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan	19
Gambar 5	Nilai pH Air Limbah sebelum Proses Netralisasi	19
Gambar 6	Larutan NaOH.....	20
Gambar 7	Nilai pH Air Limbah setelah Proses Netralisasi	20
Gambar 8	Arang Aktif dari Tempurung Kelapa.....	20
Gambar 9	Arang Aktif Dipindahkan dalam Reaktor	20
Gambar 10	Morfologi Keseluruhan Organ Eceng Gondok.....	21
Gambar 11	Morfologi Daun Eceng Gondok	21
Gambar 12	Morfologi Batang Eceng Gondok.....	21
Gambar 13	Morfologi Akar Eceng Gondok	21
Gambar 14	Proses Aklimatisasi Tumbuhan Eceng Gondok.....	21
Gambar 15	Bunga Tumbuhan Eceng Gondok saat Proses Aklimatisasi.....	21
Gambar 16	Diagram Alir Persiapan Pengujian Contoh Uji.....	23
Gambar 17	Proses Destruksi Sampel.....	24
Gambar 18	Proses Penyaringan Sampel	24
Gambar 19	Sampel yang akan Diuji menggunakan Instrumen AAS	24
Gambar 20	Limbah Laboratorium setelah Proses Netralisasi pH	29
Gambar 21	Proses Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan	30
Gambar 22	Proses Pengambilan Sampel setelah melalui Rangkaian Unit Pengolahan.....	30
Gambar 23	Grafik Hasil Uji Pb dengan td 30 Menit	32
Gambar 24	Grafik Hasil Uji Pb dengan td 60 Menit	33
Gambar 25	Grafik Hasil Uji Cd dengan td 30 Menit.....	36
Gambar 26	Grafik Hasil Uji Cd dengan td 60 Menit.....	37
Gambar 27	Kondisi Eceng Gondok setelah Kontak dengan Limbah	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kurva Kalibrasi Logam Berat Timbal (Pb).....	48
Lampiran 2	Kurva Kalibrasi Logam Berat Kadmium (Cd).....	48
Lampiran 3	Data Konsentrasi Hasil Uji Logam Berat Timbal (Pb)	49
Lampiran 4	Contoh Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sampel Inlet dengan td 30 menit.....	49
Lampiran 5	Data Konsentrasi Hasil Uji Logam Berat Kadmium (Cd)	50
Lampiran 6	Contoh Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sampel Inlet dengan td 30 menit.....	50
Lampiran 7	Contoh Perhitungan Efisiensi Hasil Uji Pb pada Sampel Inlet dengan td 30 menit	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu faktor rusaknya lingkungan yang akan berdampak pada makhluk hidup di sekitarnya disebabkan oleh pencemaran lingkungan. Sesuai dengan Undang-Undang RI No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Limbah industri, domestik, pertanian, laboratorium, dan lain sebagainya merupakan salah satu indikator penyebab pencemaran lingkungan. Saat ini, pengolahan limbah yang cukup baik dilakukan oleh industri-industri besar yang telah memiliki instalasi pengolahan limbah sendiri. Sedangkan, limbah kegiatan pertanian, kegiatan rumah tangga, dan kegiatan laboratorium belum mendapat perhatian khusus (Angraini, 2022). Air limbah dapat bersifat toksik bagi organisme maupun manusia sehingga air limbah perlu diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan (Wulandari, 2007). Dalam lingkup kecil suatu limbah, limbah laboratorium cenderung mengandung banyak senyawa logam berat dan bahan organik di dalamnya. Kadar atau konsentrasi limbah laboratorium yang mengandung senyawa organik dan logam berat sangat bervariasi (Azamia, 2012).

Limbah laboratorium merupakan hasil dari penggunaan bahan-bahan kimia dalam kegiatan praktikum atau penelitian di laboratorium yang berasal dari bahan baku yang telah kadaluwarsa, produk proses di laboratorium, bahan habis pakai, produk upaya penanganan limbah, sisa bahan kimia yang selesai digunakan, sisa sampel yang diuji, dan air bekas cucian peralatan (Nurhayati dkk., 2018). Sebagian besar kegiatan yang dilakukan di laboratorium menghasilkan limbah cair berupa bahan kimia yang mana jika tidak dilakukan proses pengolahan sebelum dibuang ke badan sungai akan sangat berbahaya bagi lingkungan. Pada lingkungan perairan,

apabila sudah terkontaminasi oleh limbah mengakibatkan material organik dan anorganik dalam air mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi logam (Rais, 2007). Logam berat di dalam air biasanya berikatan dengan garam organik, seperti senyawa metal, etil, dan fenil. Sedangkan, garam anorganik berupa oksida, klorida, sulfide, dan karbonat hidroksida. Ion yang terbentuk dari senyawa tersebut terserap dan kemudian tertimbun dalam tanaman (Rais, 2007).

Kadar atau konsentrasi senyawa-senyawa organik dan logam berat yang terkandung dalam limbah laboratorium sangat bervariasi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu air sungai dan air danau parameter timbal (Pb) terlarut adalah 0,03 mg/L dan kadmium (Cd) adalah 0,01 mg/L. Logam berat Pb yang masuk ke dalam tubuh dapat menyebabkan terjadinya gangguan otot usus, gangguan sistem saraf, gangguan pada sistem reproduksi, kerusakan ginjal, dan mengganggu proses pembentukan darah. Sedangkan, logam berat Cd menimbulkan penyakit, seperti gagal ginjal, kanker paru-paru, pengeroposan tulang, dan tekanan darah tinggi (Nandal dkk., 2014). Beberapa metode pengolahan limbah laboratorium, yaitu dengan proses sedimentasi, adsorpsi, dan fitoremediasi. Sedimentasi adalah proses pengolahan limbah cair secara fisika dengan menggunakan gaya gravitasi untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi yang telah terbentuk dari dalam air (Martini dkk., 2020). Adsorpsi merupakan suatu metode untuk mengurangi kandungan logam berat Pb dan Cd dalam air limbah dengan menggunakan adsorben. Adsorpsi sebagai metode yang paling umum digunakan karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis (Suhud dkk., 2012). Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, serta menghancurkan bahan pencemar, baik senyawa organik maupun anorganik (Siswoyo dkk., 2009).

Dalam penelitian ini akan dikaji kualitas limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan dengan kemampuan Teknologi Lingkungan Tepat Guna, yaitu metode sedimentasi, adsorpsi, dan fitoremediasi dalam menurunkan pencemaran limbah laboratorium, khususnya logam berat Pb dan Cd. Teknologi Lingkungan

Tepat Guna dirancang agar dapat disesuaikan dengan aspek-aspek lingkungan, kebudayaan, sosial, dan ekonomi masyarakat dengan pertimbangan hemat sumber daya, biaya yang murah, mudah dalam operasional, dampak yang ditimbulkan kecil, serta tingkat efisiensi yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kualitas limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan?
2. Seberapa besar kemampuan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) menurunkan pencemaran dari limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis kualitas air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan.
2. Menganalisis kemampuan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) dalam menurunkan pencemaran air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Memberi informasi mengenai kemampuan penurunan logam Pb dan Cd dalam air limbah menggunakan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) sebagai alternatif pengolahan air.
2. Membantu masyarakat dalam mengurangi pencemaran pada sungai khususnya jika limbah berasal dari aktivitas laboratorium.
3. Menjadi acuan para peneliti berikutnya dalam menciptakan reaktor yang lebih efisien berdasarkan evaluasi penelitian ini.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu satu semester ganjil Tahun Ajaran 2023/2024.
3. Penelitian ini berfokus pada kemampuan menurunkan konsentrasi logam berat Pb dan Cd menggunakan beberapa unit reaktor yang disusun menjadi satu kesatuan sistem.
4. Limbah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari aktivitas Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Dalam pengujian sampel menggunakan beberapa SNI sebagai berikut.
 - a. SNI 6989.8:2009 Air dan air limbah – Bagian 8: Cara uji timbal (Pb) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.
 - b. SNI 6989.16:2009 Air dan air limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala.
6. Air limbah melalui beberapa unit reaktor dengan sistem kontinyu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair

Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, definisi air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Limbah cair merupakan limbah berupa cairan yang berasal dari hasil buangan bahan-bahan yang telah terpakai dari suatu proses produksi industri, domestik (rumah tangga), pertanian, serta laboratorium yang tercampur (tersuspensi) dan terlarut di dalam air. Limbah cair disebut juga sebagai pencemar air karena komponen pencemaran air pada umumnya terdiri dari bahan buangan padat, bahan buangan organik, maupun bahan buangan anorganik (Azamia, 2012).

2.2 Limbah Laboratorium

Limbah laboratorium terdiri atas limbah cair, gas, atau padat yang berasal dari sisa buangan kegiatan laboratorium, seperti praktikum, penelitian, maupun pengujian, yang mana terdapat berbagai larutan kimia di dalamnya. Banyaknya bahan-bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah laboratorium jika dibuang langsung ke lingkungan akan dapat merusak lingkungan, seperti rusaknya struktur tanah, terganggunya keseimbangan ekosistem, serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia (Angraini, 2022). Limbah laboratorium berasal dari buangan hasil reaksi-reaksi berbagai larutan kimia berbahaya dalam suatu eksperimen. Larutan kimia tersebut di antaranya mengandung bahan-bahan kimia toksik dan logam-logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan. Bahan-bahan kimia merupakan bahan yang berbahaya dan memiliki risiko tinggi bila tercemar ke lingkungan karena memiliki zat yang bersifat racun (Azamia, 2012). Laboratorium merupakan sarana penunjang kegiatan riset di dunia perguruan tinggi. Aktivitas penelitian atau pengujian menggunakan bahan-bahan kimia berbahaya menjadikan limbah laboratorium sebagai salah satu limbah yang cukup berbahaya (*hazard waste*) yang harus diolah terlebih dahulu sebelum

dibuang ke badan air (Siswoyo dkk., 2009). Bahan kimia berbahaya yang sering terdapat dalam limbah laboratorium adalah logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd).

2.3 Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd)

Toksisitas adalah kemampuan suatu molekul suatu bahan kimia atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian permukaan tubuh atau bagian dalam tubuh yang peka. Timbal dan kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik dan termasuk logam berat tidak esensial, maksudnya adalah logam yang keberadaannya di dalam tubuh belum diketahui manfaatnya. Timbal dan kadmium sering digunakan untuk industri *electroplating*, baterai nikel-kadmium, bahan *coating*, bahan *stabilizer*, bahan pewarna, cat, dan lain sebagainya. Timbal dan kadmium membahayakan kesehatan melalui rantai makanan (Utami & Wulandari, 2019). Timbal atau yang lebih dikenal dengan sebutan timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya adalah plumbum. Dalam tabel periodik, logam Pb termasuk kelompok logam-logam golongan IV-A dengan nomor atom (NA) 82 dengan berat atom (BA) 207,2. Logam Pb merupakan logam lunak berwarna abu-abu atau putih kebiruan, seperti perak, sangat berkilau jika baru dipotong dan akan berubah kusam jika terkena udara. Unsur Pb merupakan unsur logam yang sangat toksik pada tanaman (Siswoyo dkk., 2011). Kadmium (cd) berwarna putih keperakan menyerupai aluminium. Bila Pb dan Cd masuk ke dalam tubuh manusia, maka logam berat tersebut akan diakumulasi dalam jaringan tubuh dan tidak bisa diekskresikan. Pada kadar yang terlalu tinggi dalam tubuh manusia akan menyebabkan dampak negatif, antara lain menghambat aktivitas enzim sehingga proses metabolisme terganggu, abnormalitas kromosom (gen), menghambat perkembangan janin, menghambat pembentukan hemoglobin, kerusakan ginjal, dan kekurangan darah (Usman dkk., 2015).

2.4 Netralisasi pH

Proses netralisasi pH merupakan proses kimia yang terjadi antara larutan asam dan basa untuk mencapai pH yang diinginkan. Proses netralisasi dilakukan pada air limbah yang mempunyai pH rendah ($\text{pH} < 7$) maupun pH tinggi ($\text{pH} > 7$). Dalam melakukan netralisasi, karakteristik air limbah adalah hal yang perlu diperhatikan. Pada air limbah yang bersifat asam, proses netralisasi dapat dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH, sedangkan untuk air limbah yang bersifat basa dapat dinetralisasi dengan menambahkan larutan H_2SO_4 (Yulia dkk., 2018).

2.5 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan salah satu proses pengolahan limbah cair secara fisika yang menggunakan gaya gravitasi untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi yang telah terbentuk dari dalam air. Proses sedimentasi pada umumnya didahului oleh proses koagulasi dan flokulasi. Proses sedimentasi juga dapat dilakukan pada awal atau pertengahan rangkaian pengolahan limbah cair. Padatan tersuspensi dalam konsentrasi sangat tinggi yang terkandung dalam limbah cair sebaiknya proses sedimentasi diaplikasikan pada awal rangkaian pengolahan sehingga mengurangi pemakaian koagulan, mempercepat proses koagulasi dan flokulasi, dan mencegah penyumbatan pada peralatan pengolahan lanjut (Martini dkk., 2020).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah salah satu metode untuk menghilangkan kontaminan dari air limbah yang menggunakan adsorben untuk mengikat atau menghilangkan komponen tertentu dalam larutan. Arang aktif merupakan metode adsorpsi yang sering digunakan karena memiliki daya adsorpsi yang tinggi. Arang aktif menjadi alternatif untuk cara penanganan limbah karena ekonomis, sederhana, mudah dalam operasional, dan cocok untuk zat yang beracun (Aisyahlika dkk., 2018). Adsorpsi melibatkan proses perpindahan massa dan menghasilkan kesetimbangan distribusi dari satu atau lebih larutan antara fasa cair dan partikel. Fasa penyerap disebut

adsorben. Proses adsorpsi terjadi jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan adsorben (Asadiya, 2018).

2.7 Arang Aktif

Arang aktif atau karbon aktif adalah material berbentuk bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon, seperti batu bara dan tempurung kelapa. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas. Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan proses karbonisasi dan proses aktivasi. Proses karbonisasi yang sempurna dilakukan dengan pemanasan bahan baku tanpa adanya batu bara hingga temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Proses aktivasi, yaitu proses mengubah karbon yang mempunyai daya serap rendah menjadi daya serap tinggi dan menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori dengan menggunakan uap panas, gas karbondioksida, atau penambahan bahan kimia sebagai aktivator (Asadiya, 2018).

2.8 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Secara harfiah, fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *phyton* yang artinya tumbuhan dan bahasa Latin, yaitu *remediare* yang artinya memperbaiki atau membersihkan sesuatu. Definisi tersebut menggambarkan pengobatan masalah lingkungan (bioremediasi) melalui penggunaan tanaman untuk mengurangi masalah lingkungan tanpa perlu menggali bahan kontaminan dan membuangnya di tempat lain (Rondonuwu, 2014).

Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif teknologi sederhana yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair. Teknik fitoremediasi mempunyai kelebihan dalam mengatasi pencemaran secara efektif, murah, dan dapat digunakan secara langsung di tempat yang tercemar, serta dapat digunakan secara langsung di tempat yang terkena pencemaran. Kemampuan fitoremediasi dalam menghasilkan buangan sekunder relatif yang lebih rendah sifat toksiknya terhadap lingkungan

aslinya. Manfaat tumbuhan air sebagai agen pembersih lingkungan sudah tidak diragukan lagi, namun demikian apabila populasi tumbuhan air telah mengalami *blooming* akan menjadikannya sebagai gulma air. Tumbuhan air mempunyai kemampuan sebagai *agent* fitoremediasi, akumulator logam berat, dan bio filter. Tumbuhan air juga dapat berfungsi untuk membersihkan dan mengontrol pencemaran oleh logam berat, pestisida, dan minyak. Eceng gondok (*Eicchornia crassipes*) mempunyai kemampuan dalam menyerap ion logam, seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), dan besi (Fe), senyawa organik dari suatu larutan serta menurunkan TSS dan BOD (Astuti & Indriatmoko, 2018).

Jenis-jenis tumbuhan yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi fitoremediasi dideskripsikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Jenis-Jenis Tanaman untuk Aplikasi Fitoremediasi

Aplikasi	Media	Kontaminan	Jenis Tanaman
Fitoremediasi	Tanah, air tanah, <i>landfill leachate</i> , air limbah	a. Herbisida b. Aromatic (BTEX) c. Chlormate aphatics(TCE) d. Nutrient (NO ³⁻ , NH ⁴⁺ , PO ₄ ³⁻) e. Limbah amunisi(TNT, RDX)	<i>Alfafa, poplar, willow, aspen, gandum</i>
Bioremediasi rhizosfer	Tanah, sedimen, air limbah	a. Kontaminan organik pestisida b. PAH	Murberry, apel, tumbuhan air
Fitostabilisasi	Tanah sedimen	a. Logam (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U) b. Hidrofobik organik (PAHs, dioxin, lurans, pentachlorofenol, DDT, dieldrin)	Tanaman yang memiliki sistem akar yang padat. Rumput yang memiliki serat akar yang banyak, tanaman yang dapat melakukan transpirasi air yang lebih banyak, bunga matahari, dandelion

Rhizofiltrasi	Air tanah, dan air limbah di danau atau air sumur buatan	a. Logam metal (Pb, Cd, Zn, Ni, dan Cu) b. Radioaktif (Cs, Sr dan U) c. Senyawa organik hidrofobik	Tanaman air (eceng gondok, hydrilla, kiambang, akar wangi, kangkung)
----------------------	--	--	--

(Surtikanti, 2011)

2.9 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok di Indonesia diperkenalkan oleh Kebun Raya Bogor pada tahun 1894 yang akhirnya berkembang di Sungai Ciliwung sebagai tanaman pengganggu. Tanaman eceng gondok dikatakan sebagai tanaman pengganggu atau gulma dikarenakan pertumbuhannya yang relatif cepat. Pertumbuhan yang cepat dari eceng gondok menimbulkan masalah lingkungan karena dapat menutupi permukaan air. Pertumbuhan eceng gondok akan semakin baik apabila hidup di air yang dipenuhi limbah. Oleh karena itu, banyaknya eceng gondok sering dijadikan sebagai indikator dari tercemar tidaknya wilayah perairan tersebut (Hajama, 2014).

Berdasarkan morfologinya, eceng gondok mempunyai akar yang mampu menyerap unsur-unsur pencemar dalam air limbah. Pada akar, tumbuhan ini mempunyai senyawa fitokelatin yang berfungsi untuk mengikat unsur logam dan membawanya ke dalam sel melalui peristiwa transport aktif. Selain logam berat terakumulasi pada akar, logam berat juga akan terakumulasi juga pada bagian jaringan tumbuhan lainnya terutama pucuk daun. Tumbuhan akuatik ini mampu mendepositkan ion-ion logam berat ke dalam dinding sel, vakuola, dan lapisan sitoplasma yang akan berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH) atau asam organik lainnya.

Eceng gondok memiliki daun yang terletak di atas permukaan air dan termasuk dalam jenis makrofit. Eceng gondok memiliki daun tunggal, bentuk oval dengan pangkal runcing (acumintus), berwarna hijau, bertangkai, dan permukaan mengkilat yang tersusun di atas roset akar. Tepi daunnya rata (tidak bergerigi) dengan panjang sekitar 7 – 25 cm. Daun eceng gondok memiliki lapisan rongga udara sehingga dengan mudah membuatnya mengapung di atas permukaan air. Tangkai daun eceng gondok mempunyai ciri khas, yaitu bagian dalam penuh

dengan bilik udara. Tangkai daun tersebut berstruktur rongga-rongga dengan dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih. Rongga udara tersebut berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air (Deswandri & Fadhillah, 2018). Akar eceng gondok merupakan akar serabut dan tidak bercabang serta memiliki tudung akar. Akar tanaman ditumbuhi bulu akar atau sering disebut sebagai serabut akar yang berfungsi sebagai jangkar bagi tanaman. Tumbuhan ini juga memiliki akar serabut yang dapat masuk ke dalam lumpur perairan (sistem perakaran dalam) sehingga kondisi demikian memungkinkan eceng gondok mempunyai kesempatan mengadsorpsi ion logam lebih banyak. Partikel-partikel organik yang terdapat dalam air dapat mengikat ion logam karena gravitasinya akan terendapkan di dasar. Akar eceng gondok memiliki kemampuan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari limbah yang biasa dikenal sebagai rhizofiltrasi.

2.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 2 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan menggunakan Biomassa Eceng Gondok	Julhim S. Tangio	2013	pH 3, 4, dan 5 menunjukkan adsorpsi timbal (Pb) menunjukkan peningkatan. Sedangkan, pada pH 6, 7, dan 8 adsorpsi timbal (Pb) mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena pH makin tinggi akan bersifat basa sehingga kelarutan Pb semakin kecil dan mulai terjadi pengendapan.

2.	Efektivitas Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dalam Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air Sumur Masyarakat di Kawasan TPA Talang Gulo Kota Jambi	Fina Ninik Parasni	2023	Efektivitas eceng gondok dalam fitoremediasi logam berat kadmium (Cd) terjadi pada hari ke-21 dengan kadar logam akhir sebesar 0,003 mg/L dan efektivitas 93,61%.
3.	Efektivitas Variasi Ketebalan Arang Aktif Tempurung Kelapa dalam Menyerap Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Larutan Pestisida Mengandung Timbal	Juvita Ayu Puspitaloka, Nur Endah Wahyuningsih, dan Budiyo	2018	Perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat timbal pada larutan pestisida adalah dengan variasi ketebalan arang aktif 20 cm dan diperoleh rata-rata penurunan 27,26%.
4.	Fitoremediasi Timbal (Pb) pada Air Tercemar menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan Apu-Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	Hidrawati, Netty Syam, dan Nurul Ayu	2023	Kemampuan fitoremediasi tumbuhan eceng gondok selama 15 hari dapat mencapai efektivitas sebesar 82,27% dengan penurunan logam timbal (Pb) dalam air 5,29 mg/L.

5.	<p>Pengaruh Waktu Penyerapan dan Media Penyerap terhadap Efektivitas Penyerapan Kandungan Logam Berat pada Limbah Laboratorium</p>	<p>Ignacius Dhani Sukaryono</p>	<p>2014</p>	<p>Efektivitas penyerapan kandungan logam berat timbal (Pb) tertinggi pada media 2 bagian arang aktif dan 1 bagian bio keramik dengan waktu penyerapan 14 hari sebesar 94,35%.</p>
----	--	---------------------------------	-------------	--

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

Penelitian pengolahan air limbah Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Penelitian bersifat kuantitatif deskriptif, yang mana penelitian ini akan membandingkan hasil pengujian pada setiap parameter saat sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan reaktor.

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian pengolahan air limbah Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian dimulai pada bulan Januari sampai Februari 2024.

3.2 Alat dan Bahan

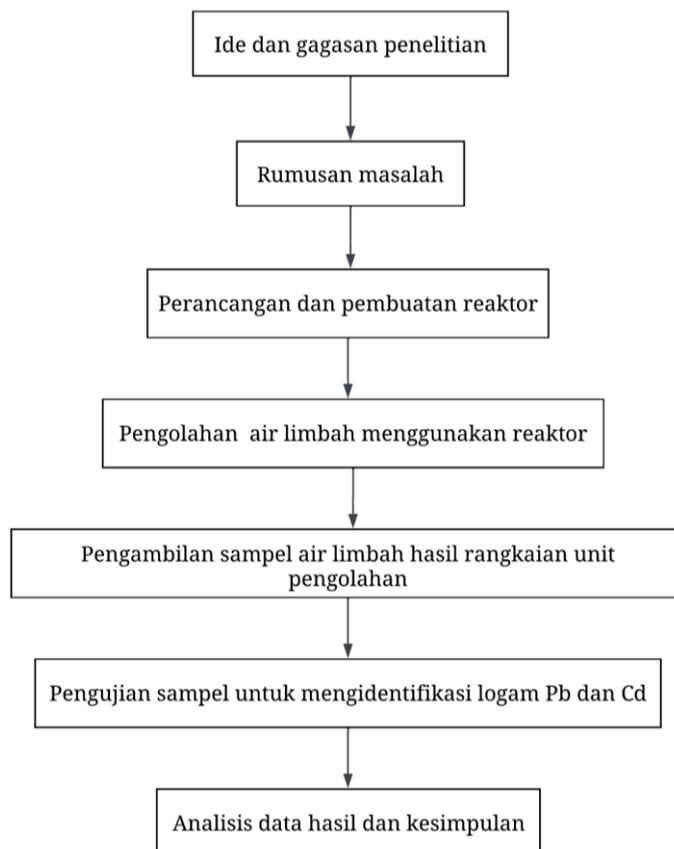
Alat yang digunakan dalam penelitian, yaitu jerigen, ember, neraca analitik, gelas beaker, erlenmeyer, labu ukur, pipet ukur, dan vial. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah limbah cair hasil dari aktivitas Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, arang aktif dari tempurung kelapa, dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan morfologi dan lokasi pengambilan yang sama. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) tipe GBC Avanta Everest.



Gambar 1 Instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) Tipe GBC Avanta Everest

3.3 Prosedur Analisis Data

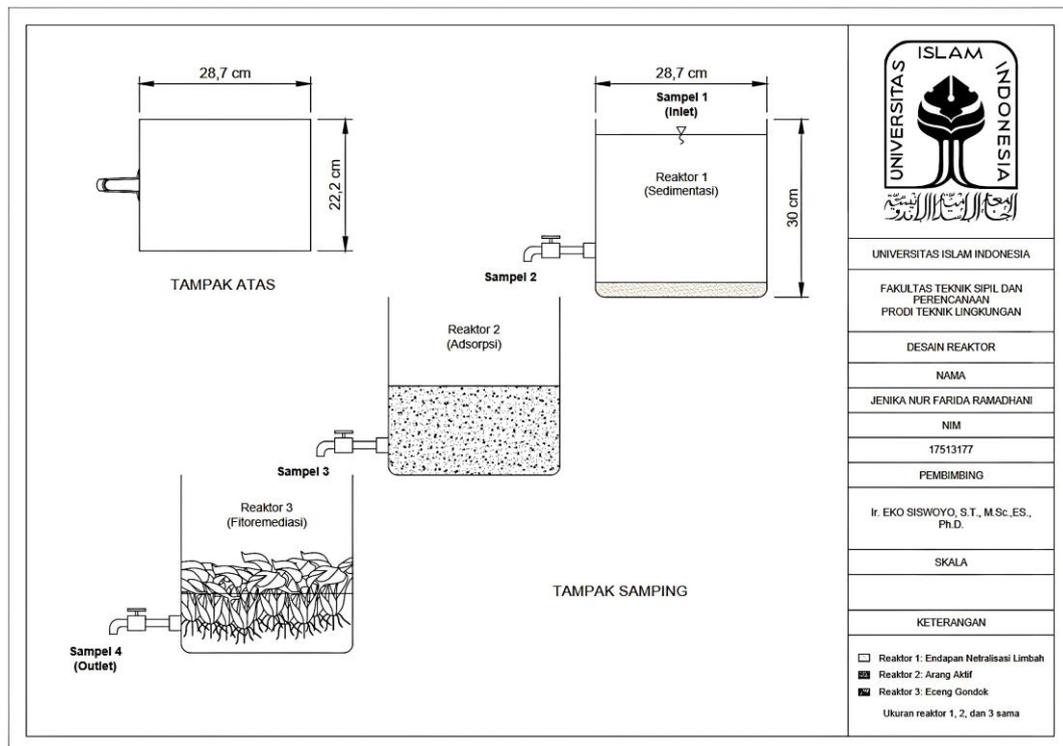
Tahapan penelitian pengolahan air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) secara umum digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Rangkaian Unit Pengolahan

Penelitian ini menggunakan beberapa unit pengolahan air limbah, yaitu sedimentasi, adsorpsi, dan fitoremediasi yang disusun menjadi satu kesatuan sistem sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian Unit Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan

Pada Gambar 3 dapat dilihat masing-masing reaktor memiliki dimensi yang sama, yaitu $28,7 \text{ cm} \times 22,2 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$. Setiap reaktor dipasang keran sebagai jalan mengalirnya air limbah. Proses yang pertama terjadi adalah limbah cair yang telah dinetralisasi pH-nya memasuki reaktor 1, yang mana reaktor tersebut sebagai reaktor sedimentasi. Selanjutnya, limbah cair mengalir dari reaktor sedimentasi menuju reaktor 2, yaitu reaktor adsorpsi yang berisi arang aktif. Kemudian, limbah cair mengalir dari reaktor adsorpsi menuju reaktor 3, yaitu reaktor fitoremediasi yang berisi tumbuhan eceng gondok. Setelah itu, limbah cair mengalir melalui keran terakhir yang ada di reaktor 3. Rangkaian unit pengolahan ini akan berproses

secara kontinyu dengan keran yang dibuka dan telah diatur debit aliran yang sama pada masing-masing reaktor. Pengambilan sampel dilakukan pada 4 (empat) titik di setiap variasi waktu kontak limbah sehingga didapatkan sampel berjumlah 8 (delapan). Dari 8 (delapan) sampel tersebut, dibuat lagi sampel dengan pengenceran 10 (sepuluh) kali menggunakan aquades sehingga sampel yang akan dianalisis berjumlah 16 sampel.

Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan yang tersimpan dalam jerigen 20 liter selama sekitar 6 (enam) bulan. Limbah cair tersebut merupakan akumulasi limbah dari kegiatan berbagai praktikum dan penelitian Tugas Akhir mahasiswa. Limbah cair yang digunakan diencerkan untuk mendapatkan konsentrasi air limbah 50%. Tujuan dari pengenceran ini agar nilai konsentrasi air limbah yang akan diolah tidak terlalu tinggi. Pengenceran dilakukan dengan menggunakan limbah cair sebanyak 15 liter dan air keran 15 liter sehingga didapatkan konsentrasi media 50%. Selain pengenceran menggunakan air keran, limbah juga melalui proses netralisasi dengan menambahkan larutan NaOH, tujuannya agar pH air limbah yang semula tinggi atau asam menjadi normal (pH 7) sehingga akan terjadi proses sedimentasi.



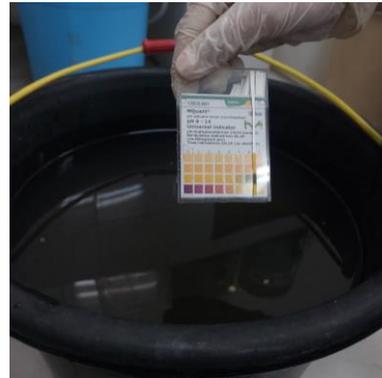
Gambar 4 Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan



Gambar 5 Nilai pH Air Limbah sebelum Proses Netralisasi



Gambar 6 Larutan NaOH



Gambar 7 Nilai pH Air Limbah setelah Proses Netralisasi

Karbon aktif atau biasa disebut dengan arang aktif yang digunakan pada penelitian ini berasal dari tempurung kelapa yang dibeli di *marketplace*. Arang aktif tersebut memiliki iodine < 800, yang mana semakin tinggi bilangan iodinnya, maka akan semakin banyak dan kuat daya serapnya.



Gambar 8 Arang Aktif dari Tempurung Kelapa



Gambar 9 Arang Aktif Dipindahkan dalam Reaktor

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang digunakan pada penelitian ini diambil dari salah satu kolam di Dusun Krapyak, Triharjo, Sleman dengan umur tanaman sekitar 3 (tiga) bulan. Kriteria pengambilan tanaman tersebut, yaitu diambil seluruh organ tubuhnya meliputi akar, batang, dan daun dengan tinggi 20 – 40 cm, serta lebar daun \pm 10 cm sebanyak 9 (sembilan) buah. Setelah itu, tanaman dibersihkan dengan air mengalir untuk persiapan aklimatisasi. Proses aklimatisasi dilakukan di ruangan terbuka selama 3 (tiga) hari menggunakan air keran di baskom karet berukuran 20 liter. Aklimatisasi bertujuan untuk mengatur

kondisi tanaman agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah yang akan diolah. Lokasi proses aklimatisasi disesuaikan dengan lokasi tahapan fitoremediasi untuk mendapatkan faktor lingkungan yang sama.



Gambar 10 Morfologi Keseluruhan Organ Eceng Gondok



Gambar 11 Morfologi Daun Eceng Gondok



Gambar 12 Morfologi Batang Eceng Gondok



Gambar 13 Morfologi Akar Eceng Gondok



Gambar 14 Proses Aklimatisasi Tumbuhan Eceng Gondok



Gambar 15 Bunga Tumbuhan Eceng Gondok saat Proses Aklimatisasi

3.3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif, yang mana penelitian ini akan membandingkan hasil pengujian pada setiap parameter saat sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan reaktor. Penelitian ini memiliki variabel penelitian sebagai berikut.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang akan menjadi faktor pembeda pada setiap sampel uji. Variabel ini akan berpengaruh pada variabel terikat. Pada penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah waktu kontak limbah, yaitu 30 menit dan 60 menit.

b. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang tidak diubah. Pada penelitian ini, variabel kontrolnya adalah jenis dan volume limbah, debit aliran limbah 250 mL/menit untuk waktu kontak 30 menit dan 125 mL/menit untuk waktu kontak 60 menit, berat arang aktif, dan jumlah eceng gondok.

c. Variabel Terikat

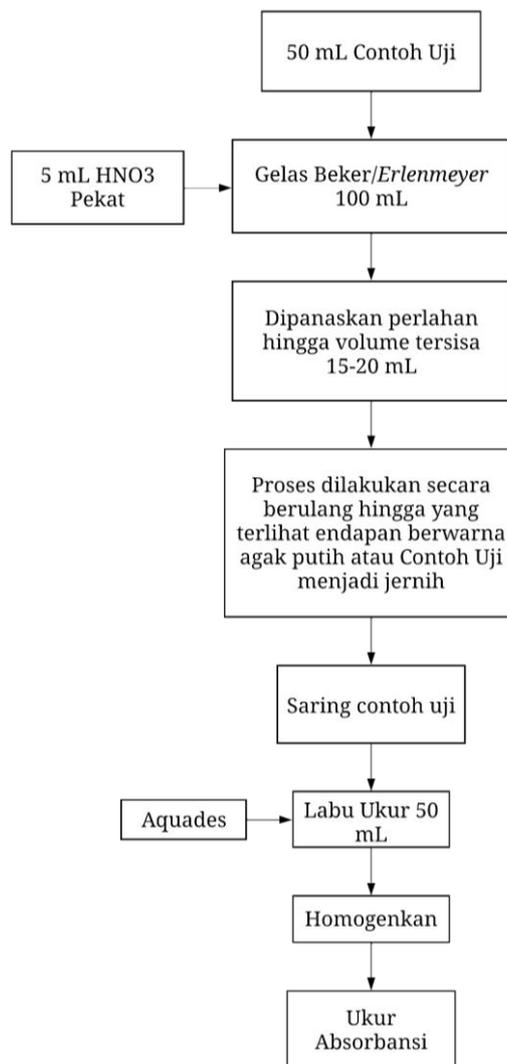
Variabel terikat merupakan hasil dari proses yang terjadi. Pada penelitian ini, variabel terikatnya adalah nilai konsentrasi dan persentase *removal* logam Pb dan Cd.

3.3.3 Metode Uji Sampel

Pelaksanaan penelitian ini memerlukan metode dalam pengujian sampel yang akan diambil sebelum dan sesudah pengolahan. Pada penelitian ini, parameter yang akan diuji adalah konsentrasi logam berat Pb dan Cd. Petunjuk teknis pengujian parameter sampel tersebut mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. SNI 6989.8:2009 Air dan air limbah – Bagian 8: Cara uji timbal (Pb) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala
2. SNI 6989.16:2009 Air dan air limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala

Prosedur persiapan pengujian sampel dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 16 Diagram Alir Persiapan Pengujian Contoh Uji

Proses persiapan contoh uji di Laboratorium Kualitas Air dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 17 Proses Destruksi Sampel



Gambar 18 Proses Penyaringan Sampel



Gambar 19 Sampel yang akan Diuji menggunakan Instrumen AAS

3.3.4 Metode Analisis Data

Metode yang digunakan untuk menganalisis data dalam penelitian ini adalah analisis regresi linear. Linieritas adalah kapasitas metode analitik untuk merespon secara proporsional terhadap konsentrasi analit dalam sampel. Pendekatan matematis melalui penyusunan persamaan garis lurus dan pendekatan kuadrat terkecil antara data pengukuran dan konsentrasi adalah hal yang dilakukan dalam pengujian linieritas. Berikut adalah persamaan garis regresi untuk mengetahui besarnya konsentrasi analit.

$$Y = bX + a \dots\dots\dots(\text{Persamaan 1})$$

Di mana,

Y = nilai absorbansi

b = kemiringan atau *slope* garis Y

a = *intercept* garis Y

x = konsentrasi

Intersep adalah nilai respons yang ditunjukkan oleh kemampuan instrumen terhadap blangko, yang mana nilai idealnya adalah 0 (nol). Kemiringan (*slope*) adalah nilai yang menunjukkan tingkat sensitivitas dari metode pengujian. Nilai kesensitifan metode pengujian akan semakin besar apabila nilai kemiringannya semakin besar pula. Korelasi (R) merupakan korelasi antara konsentrasi analit (x) dengan respon instrumen. Nilai korelasi minimum yang diperlukan untuk menguji logam sesuai dengan panduan EPA adalah 0,995. Dalam hal ini, dapat dilakukan perhitungan konsentrasi logam dengan menggunakan formula sebagai berikut.

$$\text{Konsentrasi logam (mg/L)} = C \times Fp \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2})$$

Di mana,

C = konsentrasi sampel terbaca (mg/L)

Fp = faktor pengenceran

Apabila instrumen tidak mampu membaca konsentrasi logam karena nilainya terlalu tinggi, maka langkah yang diambil adalah melakukan pengenceran untuk mengidentifikasi konsentrasi logam berat. Konsentrasi logam yang telah diketahui, kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan.

Selain metode di atas, metode analisis penelitian ini juga menggunakan metode kuantitatif dengan membandingkan nilai akhir setiap parameter uji setelah pengolahan dengan sebelum pengolahan sehingga akan menemukan nilai efisiensi *removal* dari setiap tahap pengolahan. Berikut rumus matematis dari perhitungan efisiensi reaktor.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Nilai parameter uji (sebelum – setelah) pengolahan}}{\text{Nilai parameter uji sebelum pengolahan}} \times 100\% \text{ ..(Persamaan 3)}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

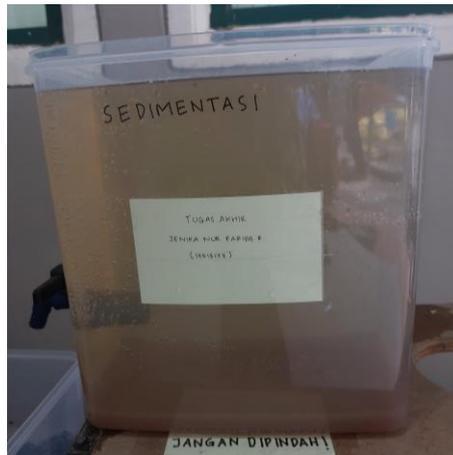
4.1 Karakteristik Air Limbah Laboratorium Kualitas Air

Penentuan karakteristik air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan diperoleh dengan uji baku mutu logam berat Pb dan Cd menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) tipe GBC Avanta Everest. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil uji karakteristik parameter Pb dan Cd di *Inlet* melebihi baku mutu air nasional sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang mana kadar Pb yang diperbolehkan adalah 0,03 mg/L dan untuk kadar Cd yang diperbolehkan adalah 0,01 mg/L. Nilai pH limbah cair laboratorium pada hasil pengukuran menggunakan pH universal adalah 1 (satu), yang artinya tingkat keasaman limbah laboratorium tersebut sangat asam atau tinggi. Logam yang terkandung dalam air jika pH semakin asam, maka kelarutannya semakin besar, sebaliknya jika pH bersifat basa, maka kelarutannya semakin kecil yang ditandai dengan adanya endapan (Tangio, 2013). Kelarutan senyawa logam berat cenderung stabil pada badan air yang memiliki derajat keasaman (pH) normal pada kisaran pH 7 hingga 8. Semakin kecil kelarutan dari senyawa logam berat diikuti dengan kenaikan pH pada air (Sarjono, 2009).

Tabel 3 Karakteristik Air Limbah Laboratorium

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi (mg/L)
1	Pb	mg/L	0.06
2	Cd	mg/L	8.69
3	pH		1

(Sumber: Data Primer, 2024)



Gambar 20 Limbah Laboratorium setelah Proses Netralisasi pH

4.2 Hasil Pengolahan Limbah Laboratorium dengan Reaktor

Pencemaran lingkungan oleh logam berat merupakan salah satu isu serius yang sedang dihadapi dunia. Kurangnya perhatian khusus dalam pengolahan air limbah laboratorium menjadi salah satu faktor penyebab pencemaran air. Sebagian besar kegiatan laboratorium menghasilkan limbah cair berupa bahan kimia, yang mana jika tidak dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan sungai akan sangat toksik bagi lingkungan. Bahan kimia berbahaya yang sering terdapat dalam limbah laboratorium adalah logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd).

Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) tipe GBC Avanta Everest dengan panjang gelombang tertentu. Pengujian dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.



Gambar 21 Proses Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan



Gambar 22 Proses Pengambilan Sampel setelah melalui Rangkaian Unit Pengolahan

4.2.1 Analisis Logam Berat Timbal (Pb)

Untuk pengujian logam berat timbal (Pb) dilakukan pembuatan kurva kalibrasi menggunakan larutan standar dengan konsentrasi 0.05; 0.1; 0.3; 0.6; dan 1 ppm. Deret standar tersebut dianalisis menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217 nm. Kurva kalibrasi standar untuk timbal (Pb) merupakan relasi linier yang menghubungkan konsentrasi timbal (Pb) dalam larutan standar dengan besaran serapan yang dihasilkan oleh instrumen AAS.

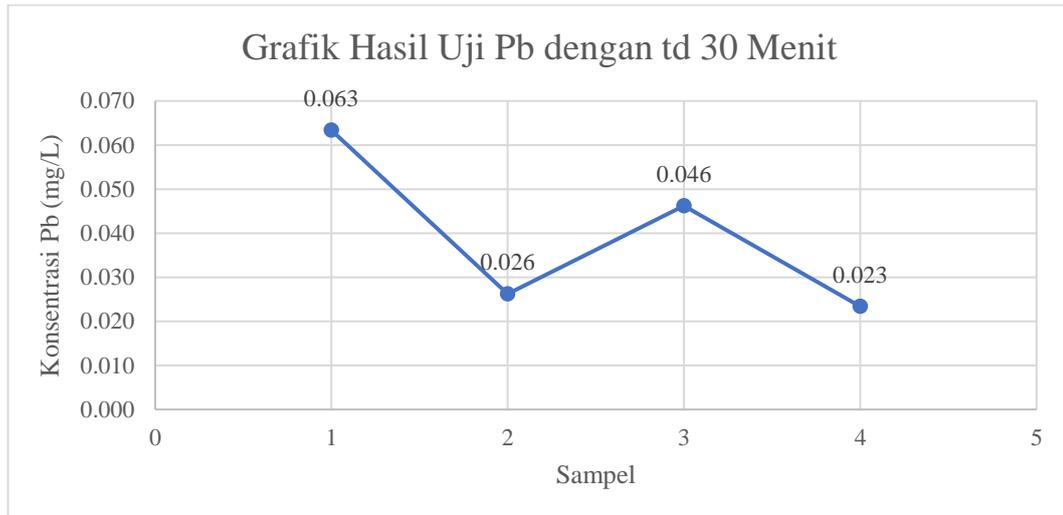
Konsentrasi logam berat timbal (Pb) berbanding lurus dengan absorbansi sehingga semakin besar konsentrasi, maka akan semakin besar absorbansi yang diperoleh. Linieritas kurva kalibrasi yang diperoleh standar timbal (Pb) adalah $y = 0.035x + 0.0015$ dengan regresi sebesar 0.996. Nilai regresi yang didapatkan kurva kalibrasi standar timbal (Pb) lebih tinggi dari standar yang ditetapkan EPA, yaitu 0.995 sehingga dikatakan baik. Hasil pengujian kandungan logam berat timbal (Pb) dengan waktu kontak (td) 30 menit dan 60 menit dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4 Hasil Uji Pb dengan td 30 Menit dan 60 Menit

Waktu Kontak (td)	Inlet		Setelah Netralisasi		Effluent Adsorpsi		Fitoremediasi	
	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4	
Menit	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal Total</i>
30	0.063	58.60 %	0.026	0%	0.046	49.43 %	0.023	63.10 %
60	0.043	28.97 %	0.031	0%	0.103	30.40 %	0.072	0%

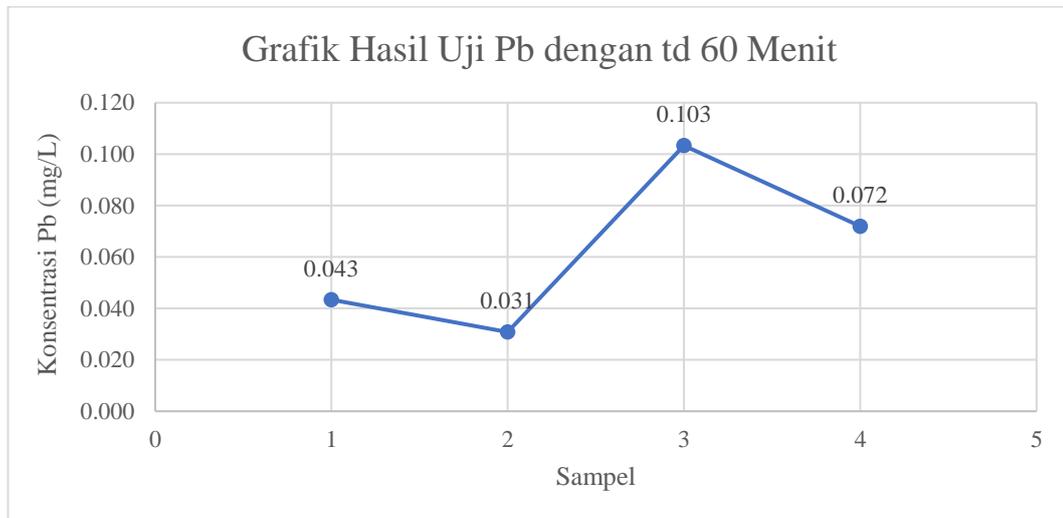
Dari tabel hasil uji Pb dengan td 30 menit dan 60 menit, dapat dijelaskan limbah dengan waktu kontak 30 menit, Sampel 1 menghasilkan konsentrasi 0.063 mg/L dengan efektivitas 58.60%, Sampel 2 menghasilkan konsentrasi 0.026 mg/L dengan efektivitas 0%, Sampel 3 menghasilkan konsentrasi 0.046 mg/L dengan efektivitas 49.43%, dan Sampel 4 menghasilkan konsentrasi 0.023 mg/L dengan efektivitas 63.10%. Dari hasil uji Pb dengan td 30 menit di atas menunjukkan bahwa persentase *removal* maksimal didapatkan pada Sampel 4, yaitu sebesar 63.10% dari konsentrasi awal *Inlet* 0.063 mg/L menjadi 0.023 mg/L. Selanjutnya, limbah dengan waktu kontak 60 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 0.043 mg/L dengan efektivitas 28.97%, Sampel 2 memiliki konsentrasi 0.031 mg/L dengan efektivitas 0%, Sampel 3 memiliki konsentrasi 0.103 mg/L dengan efektivitas 30.40%, dan

Sampel 4 memiliki konsentrasi 0.072 mg/L dengan efektivitas 0%. Dari hasil uji Pb dengan td 60 menit di atas menunjukkan bahwa persentase *removal* maksimal terdapat pada Sampel 3, yaitu sebesar 30.40% dari konsentrasi awal 0.103 mg/L menjadi 0.072 mg/L.



Gambar 23 Grafik Hasil Uji Pb dengan td 30 Menit

Dapat dilihat dari grafik hasil uji Pb dengan td 30 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 0.063 mg/L, Sampel 2 memiliki konsentrasi 0.026 mg/L. Hasil ini menunjukkan penurunan konsentrasi setelah terjadi proses sedimentasi limbah cair. Kemudian, pada Sampel 3 memiliki konsentrasi 0.046 mg/L, yang mana nilai ini menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi. Hal ini dapat terjadi karena kurangnya proses pembilasan arang aktif yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Dapat diketahui bahwa pori-pori arang aktif yang tertutup oleh debu arang akan menghambat proses penyerapan logam berat timbal (Pb). Proses pembilasan arang aktif dengan aquades sangat penting dalam proses adsorpsi sebagai pembuka pori-pori arang aktif (Puspitaloka dkk., 2018). Selanjutnya, Sampel 4 memiliki konsentrasi 0.023 mg/L, yang mana nilai ini menunjukkan adanya penurunan konsentrasi setelah melalui proses fitoremediasi sehingga konsentrasi pada Sampel 4 sebagai *Outlet* telah memenuhi standar baku mutu air nasional sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021.



Gambar 24 Grafik Hasil Uji Pb dengan td 60 Menit

Dapat dilihat dari grafik hasil uji Pb dengan td 60 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 0.043 mg/L, Sampel 2 memiliki konsentrasi 0.031 mg/L. Hasil ini menunjukkan penurunan konsentrasi setelah terjadi proses sedimentasi limbah cair. Kemudian, pada Sampel 3 memiliki konsentrasi 0.103 mg/L, yang mana nilai tersebut menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi. Hal ini dapat terjadi karena kurangnya proses pembilasan arang aktif yang dapat memengaruhi adsorpsi. Dapat diketahui bahwa pori-pori arang aktif yang tertutup oleh debu arang akan menghambat proses penyerapan logam berat timbal (Pb). Proses pembilasan arang aktif dengan aquades sangat penting dalam proses adsorpsi sebagai pembuka pori-pori arang aktif (Puspitaloka dkk., 2018). Selanjutnya, Sampel 4 memiliki konsentrasi 0.072 mg/L, yang mana nilai ini menunjukkan adanya penurunan konsentrasi setelah melalui proses fitoremediasi. Meskipun konsentrasi mengalami penurunan, limbah tidak memenuhi standar baku mutu nasional sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021.

4.2.2 Analisis Logam Berat Kadmium (Cd)

Pada pengujian logam berat kadmium (Cd) ini, larutan dilakukan pengenceran sebanyak 10 kali karena nilai konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang terlalu tinggi. Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang terkandung di dalam air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan sangat tinggi disebabkan oleh berbagai kegiatan penelitian Tugas Akhir mahasiswa yang menggunakan larutan standar kadmium (Cd). Selain itu, faktor yang menyebabkan konsentrasi logam berat kadmium (Cd) tinggi adalah banyaknya limbah yang digunakan mahasiswa untuk penelitian Tugas Akhir yang berasal dari TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) dan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah), baik *Inlet* maupun *Outlet* yang terakumulasi.

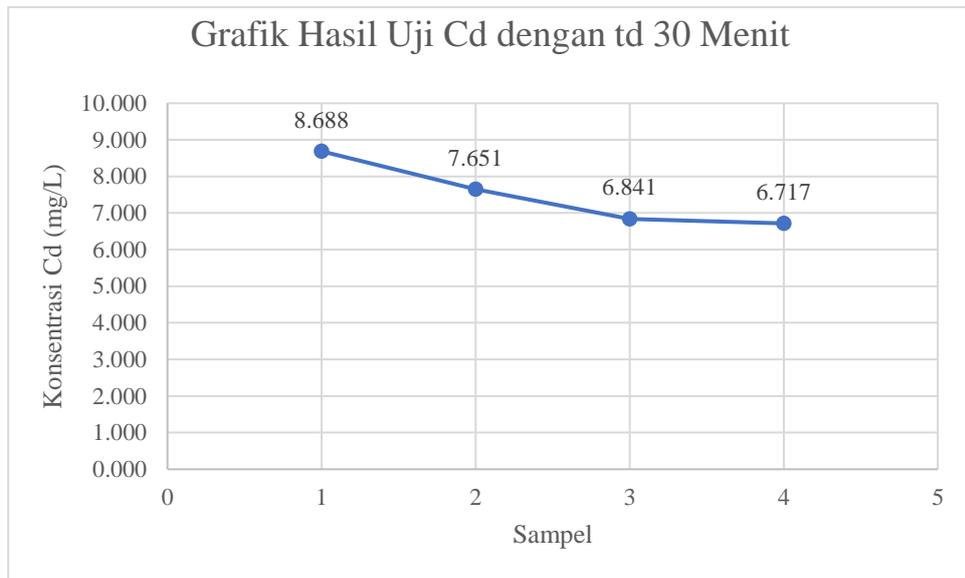
Untuk pengujian logam berat kadmium (Cd) dilakukan pembuatan kurva kalibrasi menggunakan larutan standar dengan konsentrasi 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.5; 0.8; 1, dan 2 ppm. Deret standar tersebut dianalisis menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 228,8 nm. Kurva kalibrasi standar untuk kadmium (Cd) merupakan relasi linier yang menghubungkan konsentrasi timbal (Pb) dalam larutan standar dengan besaran serapan yang dihasilkan oleh instrumen AAS.

Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) berbanding lurus dengan absorbansi sehingga semakin besar konsentrasi, maka akan semakin besar absorbansi yang diperoleh. Linieritas kurva kalibrasi yang diperoleh standar kadmium (Cd) adalah $y = 0.243x + 0.0001$ dengan regresi sebesar 0.9994. Nilai regresi yang didapatkan kurva kalibrasi standar kadmium (Cd) lebih tinggi dari standar yang ditetapkan EPA, yaitu 0.995 sehingga dikatakan baik. Hasil pengujian kandungan logam berat kadmium (Cd) dengan waktu kontak (td) 30 menit dan 60 menit dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 5 Hasil Uji Cd dengan td 30 Menit dan 60 Menit

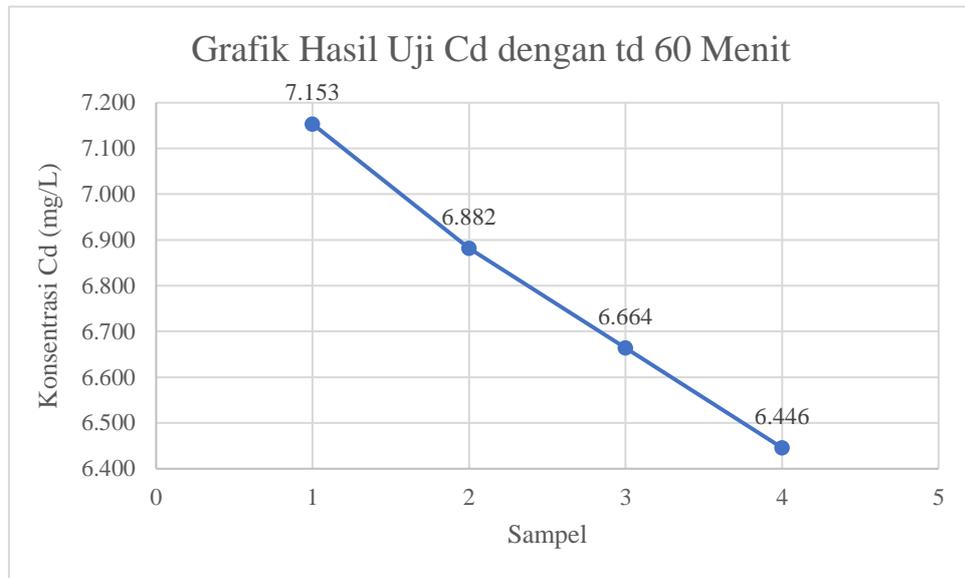
Waktu Kontak (td)	Inlet		Setelah Netralisasi		Effluent Adsorpsi		Fitoremediasi	
	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4	
Menit	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal</i>	Konsentrasi (mg/L)	% <i>Removal Total</i>
30	8.688	11.93 %	7.651	10.59 %	6.841	1.80 %	6.717	22.69 %
60	7.153	3.80 %	6.882	3.17 %	6.664	3.27 %	6.446	9.89 %

Dilihat dari tabel hasil uji Cd dengan td 30 menit dan 60 menit, dapat dijelaskan limbah dengan waktu kontak 30 menit, Sampel 1 menghasilkan konsentrasi 8.688 mg/L dengan efektivitas 11.93%, Sampel 2 menghasilkan konsentrasi 7.651 mg/L dengan efektivitas 10.59%, Sampel 3 menghasilkan konsentrasi 6.841 mg/L dengan efektivitas 1.80%, dan Sampel 4 menghasilkan konsentrasi 6.717 mg/L dengan efektivitas 22.69%. Dari hasil uji Cd dengan td 30 menit di atas menunjukkan bahwa persentase *removal* maksimal didapatkan pada Sampel 4, yaitu sebesar 22.69% dari konsentrasi awal *Inlet* 8.688 mg/L menjadi 6.717 mg/L. Selanjutnya, limbah dengan waktu kontak 60 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 7.153 mg/L dengan efektivitas 3.80%, Sampel 2 memiliki konsentrasi 6.882 mg/L dengan efektivitas 3.17%, Sampel 3 memiliki konsentrasi 6.664 mg/L dengan efektivitas 3.27%, dan Sampel 4 memiliki konsentrasi 6.446 mg/L dengan efektivitas 9.89%. Dari hasil uji Cd dengan td 60 menit di atas menunjukkan bahwa persentase *removal* maksimal terdapat pada Sampel 4, yaitu sebesar 9,89% dari konsentrasi awal *Inlet* 7.153 mg/L menjadi 6.446 mg/L.



Gambar 25 Grafik Hasil Uji Cd dengan td 30 Menit

Dapat dilihat dari grafik hasil uji Cd dengan td 30 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 8.688 mg/L, Sampel 2 memiliki konsentrasi 7.651 mg/L, Sampel 3 memiliki konsentrasi 6.841 mg/L, dan Sampel 4 memiliki konsentrasi 6.717 mg/L. Hasil ini menunjukkan adanya penurunan konsentrasi Cd berturut-turut setelah melalui rangkaian unit pengolahan. Meskipun konsentrasi mengalami penurunan, limbah tidak memenuhi standar baku mutu nasional sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021.



Gambar 26 Grafik Hasil Uji Cd dengan td 60 Menit

Dapat dilihat dari grafik hasil uji Cd dengan td 60 menit, Sampel 1 memiliki konsentrasi 7.153 mg/L, Sampel 2 memiliki konsentrasi 6.882 mg/L, Sampel 3 memiliki konsentrasi 6.664 mg/L, dan Sampel 4 memiliki konsentrasi 6.446 mg/L. Hasil ini menunjukkan adanya penurunan konsentrasi Cd berturut-turut setelah melalui rangkaian unit pengolahan. Meskipun konsentrasi mengalami penurunan, limbah tidak memenuhi standar baku mutu nasional sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021.

Arang aktif merupakan metode adsorpsi yang sering digunakan karena untuk menghilangkan kontaminan dari air limbah yang menggunakan adsorben untuk mengikat atau menghilangkan komponen tertentu dalam larutan yang memiliki daya adsorpsi yang tinggi. Arang aktif menjadi alternatif untuk cara penanganan limbah karena ekonomis, sederhana, mudah dalam operasional, dan cocok untuk zat yang beracun (Aisyahlika dkk., 2018). Arang aktif atau karbon aktif adalah material berbentuk bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon, seperti batu bara dan tempurung kelapa. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas. Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan proses karbonisasi dan proses aktivasi.

Keseluruhan perlakuan fitoremediasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada rangkaian unit pengolahan menunjukkan adanya penurunan konsentrasi logam berat. Penurunan nilai konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak air limbah di reaktor terhadap tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), maka semakin kecil konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terdapat pada air limbah. Penurunan konsentrasi logam berat diduga disebabkan oleh kemampuan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menyerap logam berat cenderung cukup tinggi. Menurut Widyanto dalam Suryanti et al. (2013), eceng gondok mampu menyerap logam Cd, Hg, dan Ni masing-masing 1,35 mg/g; 1,66 mg/g; dan 1,16 mg/g dengan ketentuan logam tersebut tidak tercampur. Faktor yang memengaruhi kecepatan dan banyaknya polutan yang diserap, yaitu jenis logam atau zat pencemar, umur tanaman, ukuran tanaman, dan lamanya kontak berlangsung.

Penurunan kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terjadi karena proses penyerapan dan transpirasi dipengaruhi oleh luas permukaan daun dan jumlah akar yang dimiliki oleh tumbuhan eceng gondok. Proses transpirasi terjadi karena adanya penguapan air dari permukaan sel mesofil yang basah dan uapnya akan keluar melalui stomata yang terdapat pada permukaan daun. Proses transpirasi yang tinggi akan diikuti dengan proses penyerapan yang tinggi pula oleh akar-akar tumbuhan eceng gondok. Proses absorpsi berawal dari penyerapan logam berat Pb dan Cd oleh akar kemudian diendapkan di permukaan akar, logam berat Pb dan Cd secara perlahan akan mengumpul dalam sel, yaitu dalam *diktiosoma* (badan golgi).

Dari fenomena yang terjadi pada proses penyerapan logam Pb dan Cd, dapat diketahui bahwa kandungan logam yang telah diserap oleh akar menuju ke batang dan terakumulasi di bagian daun, walaupun semua kandungan logam tersebut tidak terbawa sampai ke daun. Hal ini terjadi dikarenakan adanya proses rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendap dan mengakumulasi logam-logam pada aliran limbah. Rhizofiltrasi ini merupakan salah satu metode dalam fitoremediasi. Peran tumbuhan cukup penting

karena mampu mengontrol atau menghambat laju aliran air melalui batang maupun akarnya sehingga akan ada waktu untuk terjadinya sedimentasi. Kemampuan tumbuhan eceng gondok dalam menurunkan kontaminan berubah menurut waktu dan konsentrasi dari bahan pencemar tersebut (Siswoyo dkk., 2009).



Gambar 27 Kondisi Eceng Gondok setelah Kontak dengan Limbah

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Kualitas air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan memiliki karakteristik, yaitu nilai pH 1, konsentrasi parameter logam berat timbal (Pb) sebesar 0.06 mg/L, dan konsentrasi parameter logam berat kadmium (Cd) sebesar 8.69 mg/L.
2. Kemampuan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (TLTG) dalam menurunkan pencemaran air limbah laboratorium sesuai hasil uji Pb dengan td 30 menit efisiensi tertinggi terjadi pada Sampel 4, yaitu sebesar 63.10% dari konsentrasi awal 0.063 mg/L menjadi 0.023 mg/L. Hasil uji Cd dengan td 30 menit efisiensi tertinggi terjadi pada Sampel 4, yaitu sebesar 22.69% dari konsentrasi awal 8.688 mg/L menjadi 6.717 mg/L.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Disarankan dalam penelitian selanjutnya melakukan aktivasi lagi pada arang aktif untuk mendapatkan nilai konsentrasi yang efisien.
2. Perlakuan selanjutnya dapat ditambahkan variasi waktu kontak lebih lama untuk melihat perbandingan nilai konsentrasi yang signifikan.
3. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk mengidentifikasi secara spesifik berbagai aktivitas yang dilakukan di laboratorium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *ALOTROP, Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(2), 148-155.
- Angraini, N. (2022). Tesis Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurusan Teknik Kimia: Universitas Sriwijaya*, 1-3.
- Ansori, A. (2022). Uji Potensi Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* solm) Sebagai Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) pada Limbah Cair dari Pabrik Kulit Tahu di Magetan Jawa Timur. *Penelitian*, 2.
- Asadiya, A. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Proses Aerasi, Pengendapan, dan Filtrasi Media Zeolit-Arang Aktif. *Departemen Teknik Lingkungan: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 7-36.
- Astuti, L. P., & Indriatmoko. (2018). Kemampuan Beberapa Tumbuhan Air dalam Menurunkan Pencemaran Bahan Organik dan Fosfat untuk Memperbaiki Kualitas Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 184.
- Azamia, M. (2012). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia dalam Penurunan Kadar Organik serta Logam Berat Fe, Mn, Cr dengan Metode Koagulasi dan Adsorpsi. *Program Studi Kimia: Universitas Indonesia*, 1-6.
- Deswandri, F., & Fadhillah. (2018). Variasi Waktu Terhadap Penyerapan Merkuri (Hg) oleh Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) (Studikasu: Air Danau Bekas PETI di Jorong Jujutan, Nagari Lubuk Gadang, Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan). *Jurnal Bina Tambang*, 4(4), 13-23.
- Endah Valentina, A., Miswadi, S., & Latifah, D. (2013). Pemanfaatan Arang Eceng Gondok dalam Menurunkan Kekeruhan, COD, BOD pada Air Sumur. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2).

- Hajama, N. (2014). Studi Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai Bahan Pembuatan Pupuk Kompos dengan menggunakan Aktivator EM4 dan Mol serta Prospek Pengembangannya. *Skripsi*, I-1.
- Kristijarti, A. P., Prof. Dr. Ign Suharto, A., & Marieanna. (2013). Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X. *LPPM: Universitas Katolik Parahyangan*, 3-33.
- Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Distilasi*, 5(2), 26-33.
- Nandal, M., Hooda, R., & Dhania, G. (2014). Tea Wastes as a Sorbent for Removal of Heavy Metals from Wastewater. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(1), 243-247.
- Nurhayati, I., Sugito, & Pertiwi, A. (2018). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 10(2), 125-138.
- Oktaviana, M. (2007). Tingkat Penurunan Merkuri (Hg) pada Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan Sistem Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurusan Teknik Lingkungan: Universitas Islam Indonesia*, 13-17.
- Puspitaloka, J. A., Wahyuningsih, N. E., & Budiyo. (2018). Efektivitas Variasi Ketebalan Arang Aktif Tempurung Kelapa dalam Menyerap Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Larutan Pestisida Mengandung Timbal. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 6(6), 193.
- Rais, A. (2007). Tingkat Penyerapan Merkuri (Hg) Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurusan Teknik Lingkungan: Universitas Islam Indonesia*, 1-18.
- Rondonuwu, S. (2014). Fitoremediasi Limbah Merkuri menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(1), 52.

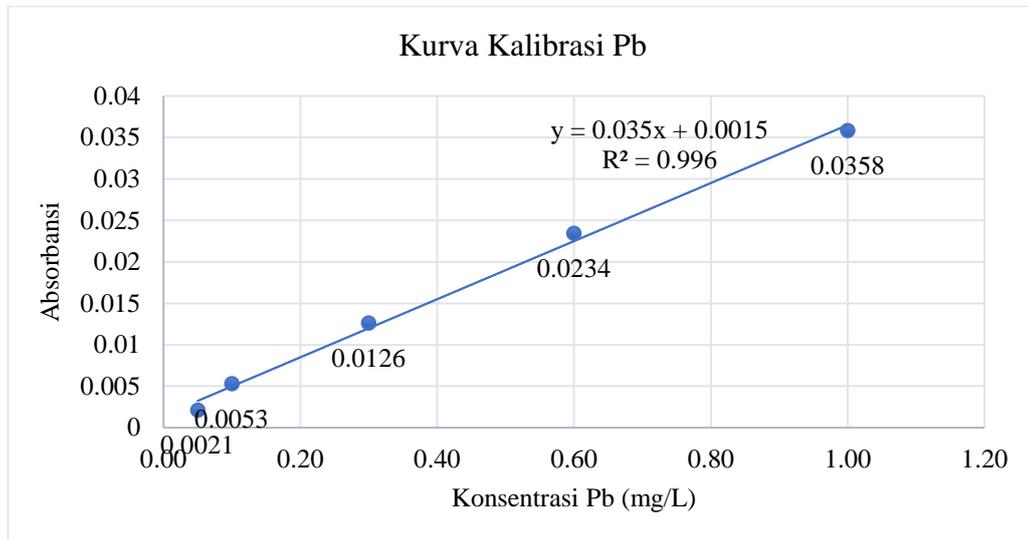
- Sarjono, A. (2009). Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Siswoyo, E., Kasam, & Abdullah, L. M. (2011). Penurunan Logam Timbal (Pb) pada Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3(1), 73-79.
- Siswoyo, E., Kasam, & Widyanti, D. (2009). Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 1(1), 68-76.
- Suhud, I., Tiwow, V. M., & Hamzah, B. (2012). Adsorpsi Ion Kadmium (II) dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar dan Batang Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forks). *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 153-158.
- Surtikanti, H. (2011). *Toksikologi Lingkungan dan Metode Uji Hayati*. Bandung: Rizki Press.
- Suryanti, S., Yusmidiarti, & Jubaidi. (2013). Efektivitas Tumbuhan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe), Timah Hitam (Pb), Mangan (Mn). *Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Bengkulu, Jurusan Kesehatan Lingkungan*, 193-200.
- Tangio, J. S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi*, VIII(1), 502.
- Usman, A. F., Budimawan, & Budi, P. (2015). Kandungan Logam Berat Pb-Cd dan Kualitas Air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Agrokompleks*, 4(9), 103-107.
- Utami, A. R., & Wulandari, C. (2019). Verifikasi Metode Pengujian Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) dalam Air Limbah dengan Menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya*, 8-20.

- Wulandari, S. (2007). Tingkat Penurunan Kromium Total (Cr Total) dari Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurusan Teknik Lingkungan: Universitas Islam Indonesia*, 1-18.
- Yulia, E., Ekawati, E., & Budi, E. M. (2018). Perancangan Sistem Aktuator Laju Aliran Masuk dan Simulasi Proses Netralisasi pH pada Plant Simulator Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil (IPLIT). *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*, 1-2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

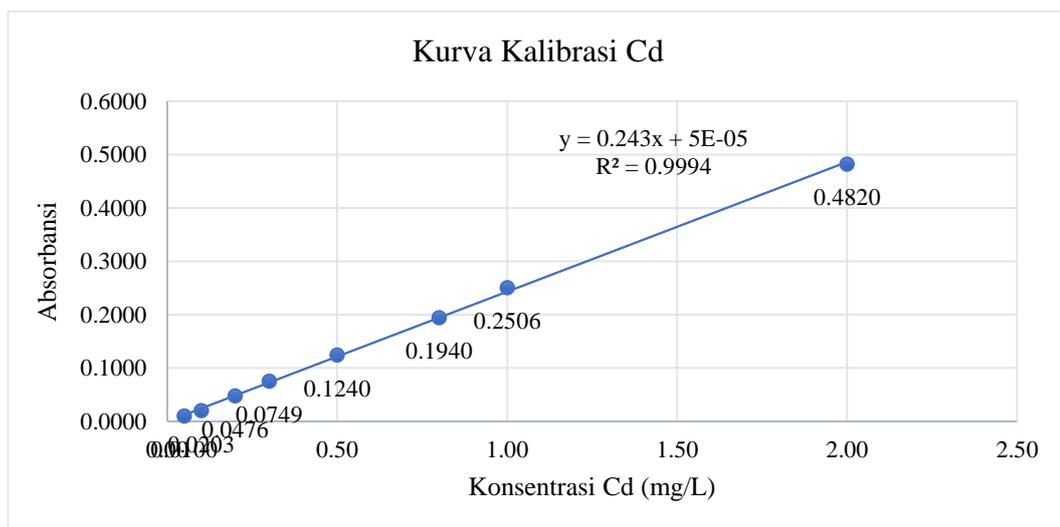
Lampiran 1 Kurva Kalibrasi Logam Berat Timbal (Pb)



$$y = bX + a$$

$$y = 0.035X + 0.0015$$

Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Logam Berat Kadmium (Cd)



$$y = bX + a$$

$$y = 0.243X + 0.0001$$

Lampiran 3 Data Konsentrasi Hasil Uji Logam Berat Timbal (Pb)

No.	Sampel		Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)
			(Y)	(X)
1	Inlet 30'	S1	0.0037	0.063
2	Sedimentasi 30'	S2	0.0024	0.026
3	Adsorpsi 30'	S3	0.0031	0.046
4	Fitoremediasi 30'	S4	0.0023	0.023
5	Inlet 60'	S1	0.0030	0.043
6	Sedimentasi 60'	S2	0.0026	0.031
7	Adsorpsi 60'	S3	0.0051	0.103
8	Fitoremediasi 60'	S4	0.0040	0.072

Lampiran 4 Contoh Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sampel Inlet dengan td 30 menit

Di mana,

y = nilai absorbansi

x = konsentrasi logam berat (mg/L)

a = intersep

b = *slope*

Sehingga

$$y = bX + a$$

$$0.0037 = 0.035X + 0.0015$$

$$0.035X = 0.0037 - 0.0015$$

$$X = (0.0037 - 0.0015) / 0.035$$

$$X = 0.063 \text{ mg/L}$$

Lampiran 5 Data Konsentrasi Hasil Uji Logam Berat Kadmium (Cd)

No.	Sampel		Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Fp	Konsentrasi setelah Pengenceran (mg/L)
			(Y)	(X)		
1	Inlet 30'	S1	0.2112	0.869	10	8.688
2	Sedimentasi 30'	S2	0.1860	0.765	10	7.651
3	Adsorpsi 30'	S3	0.1663	0.684	10	6.841
4	Fitoremediasi 30'	S4	0.1633	0.672	10	6.717
5	Inlet 60'	S1	0.1739	0.715	10	7.153
6	Sedimentasi 60'	S2	0.1673	0.688	10	6.882
7	Adsorpsi 60'	S3	0.1620	0.666	10	6.664
8	Fitoremediasi 60'	S4	0.1567	0.645	10	6.446

Lampiran 6 Contoh Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sampel Inlet dengan td 30 menit

Di mana,

y = nilai absorbansi

x = konsentrasi logam berat (mg/L)

a = intersep

b = *slope*

Sehingga

$$y = bX + a$$

$$2.112 = 0.243X + 0.0001$$

$$0.243X = 2.112 - 0.0001$$

$$X = (2.112 - 0.0001) / 0.243$$

$$X = 8.688 \text{ mg/L}$$

Lampiran 7 Contoh Perhitungan Efisiensi Hasil Uji Pb pada Sampel Inlet dengan
td 30 menit

$$\text{Efisiensi} = ((0.063 - 0.023) / 0.063) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 63.10\%$$

RIWAYAT HIDUP

Jenika Nur Farida Ramadhani, biasa dipanggil Jenika atau Jeje, lahir di Palangkaraya, 08 Januari 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Jendro Widigdo dan Ibu Septieny. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri Sleman 5 (2006 – 2011), kemudian melanjutkan jenjang pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Sleman (2011 – 2014), serta jenjang pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 4 Yogyakarta (2014 – 2017). Setelah menyelesaikan jenjang pendidikan sekolah menengah, penulis melanjutkan pendidikan lebih tinggi di perguruan tinggi Universitas Islam Indonesia Program Studi Teknik Lingkungan dan menyelesaikan pendidikan Strata (S-1) pada tahun 2024.