

**EFEKTIVITAS BAMBU AIR (*Equisetum hyemale*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI LINDI TPA JATIBARANG TERHADAP BOD DAN
COD SERTA IMPLEMENTASI HASIL PENELITIAN PADA
PEMBELAJARAN BIOLOGI**

SKRIPSI



oleh
Ade Ihtiar NPM 20320022

**PROGAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA, ILMU PENGETAHUAN
ALAM, DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
2024**

**EFEKTIVITAS BAMBU AIR (*Equisetum hyemale*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI LINDI TPA JATIBARANG TERHADAP BOD DAN
COD SERTA IMPLEMENTASI HASIL PENELITIAN PADA
PEMBELAJARAN BIOLOGI**

Skripsi

Diajukan kepada Universitas PGRI Semarang
untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan
Program Sarjana Pendidikan Biologi



oleh

Ade Ihtiar NPM 20320022

**PROGAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA, ILMU PENGETAHUAN
ALAM, DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

2024

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul

EFEKTIVITAS BAMBU AIR (*Equisetum hyemale*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI LINDI TPA JATIBARANG TERHADAP BOD DAN COD
SERTA IMPLEMENTASI HASIL PENELITIAN PADA PEMBELAJARAN
BIOLOGI

yang disusun oleh Ade Ihtiar
NPM 20320022

telah disetujui dan siap diujikan
Semarang, 3 Juni 2024

Pembimbing I



Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
NIDN. 0627088002

Pembimbing II



Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si
NIDN. 0624028102

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Berjudul

EFEKTIVITAS BAMBU AIR (*Equisetum hyemale*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI LINDI TPA JATIBARANG TERHADAP BOD DAN COD
SERTA IMPLEMENTASI HASIL PENELITIAN PADA PEMBELAJARAN
BIOLOGI

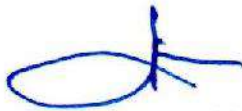
Yang dipersiapkan dan disusun oleh Ade Ihtiar

NPM 20320022

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada hari Senin, 15 Juli 2024
dinyatakan telah memenuhi syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Pendidikan
telah disetujui dan siap diujikan

Panitia Ujian

Ketua



Dr. Supandi, S.Si., M.Si
NIDN 0621067401



Sekretaris



Praptaning Rahayu, S.Si., M.Pd
NIDN 0607098303

Anggota Penguji

1. Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
NIDN. 0627088002
2. Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si
NIDN. 0624028102
3. M. Anas Dzakiy, S.Si., M.Sc
NIDN. 0626048003

(.....)

(.....)

(.....)

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Ihtiar
NPM : 20320022
Program Studi : Pendidikan Biologi
Judul : Efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Agen Fitoremediasi Lindi TPA Jatibarang Terhadap BOD dan COD serta Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan/ atau karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 3 Juni 2024



Ade Ihtiar

NPM 20320022

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

1. Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah diri mereka sendiri (Q.S Ar-Ra'd: 11).
2. Tidak mudah untuk menyembuhkan setiap rasa sakit beserta traumanya, melewati fase demi fase yang akhirnya menyadarkanmu bahwa rencana Allah lebih baik dari rencanamu (Ustadz Hanan Attaki).
3. Bukan yang terkuat dari spesies yang mampu bertahan, juga bukan yang paling cerdas. Tetapi spesies yang paling mudah beradaptasi terhadap perubahan (Charles Darwin).

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua saya yang selalu mendukung dalam keadaan apapun dan almamater tercinta Universitas PGRI Semarang tempat penulis berproses. Dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam proses meraih gelar sarjana ini :

1. Ibu Praptining Rahayu, S.Si., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang yang telah menyetujui skripsi penulis.
2. Ibu Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd. selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan tulus dan sabar membimbing, memberikan arahan, dan dukungan kepada penulis.
3. Ibu Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan tulus dan sabar membimbing, memberikan arahan, dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama menuntut ilmu di Universitas PGRI Semarang.

5. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun material, serta selalu memberikan doa hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
6. Rekan penelitian Septiana Kurniawati, dan Lilla Panca Faizsyahrani atas kerja sama, bantuan, semangat yang telah diberikan
7. Bapak Wahyu Heryawan selaku Kepala UPTD TPA Jatibarang, Bapak Joko, serta, staff TPA Jatibarang yang senantiasa mendampingi dan memfasilitasi selama proses penelitian berlangsung.
8. Teman-teman Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan.

**EFEKTIVITAS BAMBU AIR (*Equisetum hyemale*) SEBAGAI AGEN
FITOREMEDIASI LINDI TPA JATIBARANG TERHADAP BOD DAN
COD SERTA IMPLEMENTASI HASIL PENELITIAN PADA
PEMBELAJARAN BIOLOGI**

Ade Ihtiar

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika Ilmu
Pengetahuan Alam, dan Teknologi Informasi, Universitas PGRI Semarang
Jalan Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Kota
Semarang, Jawa Tengah
Kode Pos 50232
Email: adeihtiar01@gmail.com

ABSTRAK

Lindi atau *Leachate* merupakan cairan dengan bau yang tidak sedap dan warna gelap yang umumnya mengandung bahan organik dan anorganik yang tinggi. Tingginya kadar bahan organik maupun anorganik dalam lindi akan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan teknik fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen dengan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu factorial dengan tiga perlakuan (P_0 tanpa Bambu Air, P_1 750 gr Bambu Air, dan P_2 1000 gr Bambu Air). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman Bambu Air mampu menurunkan kadar BOD dan COD. Persentase efektivitas penurunan kadar BOD paling optimal terjadi pada perlakuan P_2 di hari ke-7 perlakuan, yaitu sebesar 28,42%; sedangkan persentase efektivitas penurunan kadar COD paling optimal terjadi pada perlakuan P_2 di hari ke-7 perlakuan yaitu sebesar 39,14%. Hasil penelitian akan diimplementasikan dalam bentuk Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum yang terintegrasikan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Hasil validasi LKPD oleh ahli materi sebesar 90,97% dan oleh ahli media yaitu sebesar 94,81%. Nilai tersebut termasuk kedalam kategori sangat valid, sehingga LKPD layak digunakan dalam pembelajaran biologi.

Kata kunci: Lindi, Fitoremediasi, Bambu Air, BOD, COD

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Agen Fitoremediasi Lindi TPA Jatibarang Terhadap BOD dan COD serta Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi”. Maksud dari disusunnya skripsi ini yaitu untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini tentu saja banyak ditemui hambatan dan kendala. Semua itu tidak akan teratasi tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, baik secara moral maupun material. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Sri Suciati, M.Hum. selaku Rektor Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat menuntut ilmu dan berproses di Universitas PGRI Semarang.
2. Bapak Dr. Supandi, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Teknologi Informasi Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melakukan penelitian.
3. Ibu Praptining Rahayu, S.Si., M.Pd. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang yang telah menyetujui skripsi penulis.
4. Ibu Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd. selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan tulus dan sabar membimbing, memberikan arahan, dan dukungan kepada penulis.
5. Ibu Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan tulus dan sabar membimbing, memberikan arahan, dan dukungan kepada penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama menuntut ilmu di Universitas PGRI Semarang.

7. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun material, serta selalu memberikan doa hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
8. Rekan penelitian Septiana Kurniawati, dan Lilla Panca Faizsyahrani atas kerja sama, bantuan, semangat yang telah diberikan.
9. Bapak Wahyu Heryawan selaku Kepala UPTD TPA Jatibarang, Bapak Joko, serta, staff TPA Jatibarang yang senantiasa mendampingi dan memfasilitasi selama proses penelitian berlangsung.
10. Teman-teman angkatan 20 Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari seluruh pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang relevan di masa mendatang

Semarang, 3 Juni 2024

Penulis



Ade Ihtiar

NPM. 20320022

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Permasalahan.....	6
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian.....	7
E. Definisi Istilah	8
BAB II.....	10
TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Landasan Teori.....	10
1. Fitoremediasi.....	10
2. Kadar BOD Lindi.....	13
3. Kadar COD Lindi.....	14
4. Lindi.....	15
5. TPA Jatibarang Semarang.....	17
6. Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>) sebagai Agen Fitoremediasi	18
7. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi.....	20
B. Kerangka Berpikir	24
C. Hipotesis.....	25
BAB III.....	26

METODE PENELITIAN.....	26
A. Lokasi dan Waktu.....	26
B. Bahan yang Digunakan	26
C. Alat yang Digunakan.....	26
D. Variabel Penelitian	27
E. Desain Eksperimen.....	27
F. Prosedur Penelitian.....	27
G. Teknik Pengumpulan Data	29
H. Analisis dan Interpretasi Data	31
I. Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi	33
BAB IV	37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
A. Hasil Penelitian	37
B. Pembahasan.....	49
BAB V.....	93
PENUTUP.....	93
A. KESIMPULAN	93
B. SARAN	93
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN.....	105
Lampiran 1. Hitungan Manual	105
Lampiran 2. Hitungan dengan Software SPSS Ver 29.	113
Lampiran 3. Hitungan Validasi LKPD.....	120
Lampiran 4. Data Sekunder Penelitian.....	122
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitan	122
Lampiran 6. Modul Ajar	126
Lampiran 7. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Praktikum.....	136
Lampiran 8. Instrumen Validasi LKPD	153
Lampiran 9. Lembar Validasi LKPD	157
Lampiran 10. Hasil Uji Laboratorium.....	169
Lampiran 11. Metode Pengujian BOD sesuai SNI 6989.72-2009.....	187

Lampiran 12. Metode Pengujian COD sesuai SNI 6989.2-2009.....	196
Lampiran 13. Permohonan Izin Penelitian.....	202
Lampiran 14. Lembar Pembimbingan Skripsi	203

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku mutu lindi.....	16
Tabel 2. 2 Karakteristik BOD dan COD Lindi TPA Jatibarang Semarang	17
Tabel 3. 1 Analisis Sidik Ragam (Uji Anova)	32
Tabel 3. 2 Kategori penilaian LKPD berbasis praktikum	36
Tabel 4. 1 Karakteristik awal lindi TPA Jatibarang Semarang	37
Tabel 4. 2 Kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan	38
Tabel 4. 3 Kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan	38
Tabel 4. 4 Uji Homogenitas kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan	40
Tabel 4. 5 Uji Homogenitas kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan	40
Tabel 4. 6 Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan	40
Tabel 4. 7 Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan	41
Tabel 4. 8 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3.....	42
Tabel 4. 9 Uji Duncan kadar BOD lindi perlakuan hari ke 7.....	42
Tabel 4. 10 Kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan	43
Tabel 4. 11 Kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan	44
Tabel 4. 12 Uji Homogenitas kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan	45
Tabel 4. 13 Uji Homogenitas kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan	45
Tabel 4. 14 Uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan	46
Tabel 4. 15 Uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan	46
Tabel 4. 16 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3.....	47
Tabel 4. 17 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3.....	48
Tabel 4. 18 Hasil validasi LKPD oleh ahli media.....	49
Tabel 4. 19 Hasil validasi LKPD oleh ahli materi	49
Tabel 4. 20 Rincian Hasil Validasi LKPD Praktikum	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skematik Fitoremediasi.....	12
Gambar 2. 2 Tanaman Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>)	19
Gambar 2. 3 Bagan Kerangka Berpikir Penelitian.....	24
Gambar 4. 1 Efektivitas Penurunan Kadar BOD Lindi.....	39
Gambar 4. 2 Penurunan Kadar COD Lindi	44
Gambar 4. 3 Akar Tanaman Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>)	52
Gambar 4. 4 Batang Tanaman Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>).....	53
Gambar 4. 5 Siklus Fitoremediasi BOD oleh Tanaman Bambu Air.....	56
Gambar 4. 6 Kondisi Tanaman Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>) pada Akhir Penelitian	61
Gambar 4. 7 Siklus Fitoremediasi COD oleh Tanaman Bambu Air.....	74
Gambar 4. 8 Pertanyaan Mendasar “Cari Tau Kuy” pada LKPD.....	85
Gambar 4. 9 Pertanyaan Mendasar “Tau Ga Sih” pada LKPD.....	85
Gambar 4. 10 Mendesain Perencanaan Proyek pada LKPD.....	86
Gambar 4. 11 Menyusun Jadwal Perencanaan Proyek pada LKPD	86
Gambar 4. 12 Monitoring Keaktifan dan Perkembangan Proyek pada LKPD	87
Gambar 4. 13 Menguji Hasil Proyek pada LKPD	87
Gambar 4. 14 Evaluasi Pengalaman dan Hasil Proyek pada LKPD	88
Gambar 4. 15 Kata Pengantar Sebelum dan Sesudah Validasi.....	89
Gambar 4. 16 Warna Font pada Gambar Sebelum dan Sesudah Validasi	90
Gambar 4. 17 Penambahan Kolom Penilaian Sebelum dan Sesudah Validasi	90
Gambar 4. 18 Isi Materi Sebelum dan Sesudah Validasi.....	91
Gambar 4. 18 Gambar Sebelum dan Sesudah Validasi.....	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk menyebabkan produksi sampah terus meningkat, sehingga sampah menjadi masalah yang krusial dalam masyarakat (Kurniawan, 2020). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), tahun 2021 Indonesia menghasilkan sampah sebanyak 28.5 juta ton, kemudian volume timbunan naik 21,7% pada tahun 2022 menjadi 37.72 juta ton. Berdasarkan provinsinya, volume terbanyak pada tahun 2022 berasal dari provinsi Jawa Tengah yakni 5,51 juta ton atau 15,39% dari total sampah nasional. Banyaknya timbunan sampah tersebut menjadi permasalahan lingkungan yang serius apabila tidak dikelola dengan baik dan dibuang begitu saja ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Di beberapa daerah di Indonesia besarnya volume sampah seringkali melebihi daya tampung atau *overload* pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Pramesti, 2023). Hal tersebut sejalan dengan Mahyudin (2017) yang menyatakan bahwa permasalahan yang sering dihadapi TPA di Indonesia adalah tingginya jumlah sampah yang masuk ke TPA tidak sebanding dengan biaya dan kualitas pengelolaan sampah yang masih rendah.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan area dimana sampah diproses dan dibuang setelah melewati tahapan pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan (Sanusi, 2023). TPA yang menjadi tempat penampungan sampah di Kota Semarang yaitu TPA Jatibarang. TPA Jatibarang yang berlokasi di Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang ini memiliki luas lahan sebesar 46.183 Ha, dengan 27.7098 Ha atau sekitar 60% dari lahan, digunakan sebagai lahan buang dan 18.4738 Ha atau sekitar 40% digunakan sebagai infrastruktur kolam lindi serta mampu untuk menampung 4,15 juta meter kubik sampah atau 800 ton sampah setiap harinya (Pramesti, 2023). TPA Jatibarang memiliki sistem terbuka atau *open dumping*, yang menyebabkan air dari luar dapat masuk dan menggenangi timbunan

sampah. Sehingga terdapat cairan hitam pekat yang berbau tidak sedap keluar dari timbunan sampah yang disebut lindi (*Leachate*).

Lindi atau *Leachate* merupakan cairan dengan bau yang tidak sedap dan warna gelap yang umumnya mengandung bahan organik dan anorganik yang tinggi (Peng, 2017). Lindi ini tercipta saat curah hujan meresap melalui tempat pembuangan sampah kemudian terkumpul didasarnya, serta akibat proses dekomposisi sampah oleh mikroorganisme (Muna, 2023). Tingginya kadar bahan organik maupun anorganik dalam lindi akan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan apabila tidak diolah dengan baik (Muryani, 2019). Kandungan bahan organik dan anorganik pada lindi tercipta dari berbagai jenis sampah pada timbunan sampah. Untuk bahan organik berupa senyawa hidrokarbon (lemak, karbohidrat, dan protein) berasal dari kandungan sampah organik, kandungan tersebut larut bersamaan dengan proses dekomposisi anaerob sehingga pada lindi mengandung bahan organik (Selvam et al., 2017). Hal yang sama juga terjadi pada bahan anorganik logam dan non logam yang berasal dari sampah industri, kemasan plastik, alat elektronik, baterai, dsb yang kandungannya larut bersama dengan air hujan yang melewati sampah-sampah tersebut sehingga pada lindi terdapat kandungan bahan anorganik (Widiarti & Muryani, 2018). Kandungan bahan organik dan anorganik pada lindi tersebut dapat menurunkan kadar oksigen terlarut pada lindi. Hal tersebut dikarenakan oksigen terlarut terus digunakan baik reaksi biologis maupun reaksi kimia untuk mendegradasi ataupun mengoksidasi bahan organik dan anorganik tersebut (Sugianti & Astuti, 2018).

Menurut Mastur (2020) menyatakan bahwa air lindi TPA Jatibarang Semarang yang diakibatkan penimbunan sampah yang berlebihan berpotensi mencemari air sungai Kreo yang lokasinya tepat di dekat TPA Jatibarang, serta terdapat aroma yang sangat tidak sedap mencemari udara disekitar lokasi TPA tersebut. Dampak yang sudah terjadi pada pencemaran lindi secara biologis menurut penelitian Kurniawati et al., (2016) menyatakan bahwa terjadi pencemaran lindi di sungai kreو sehingga menurunkan kualitas fisikokimia perairan sehingga terjadi penurunan keanekaragaman dan kelimpahan plankton

baik fitoplankton maupun zooplankton. Apabila keanekaragaman dan kelimpahan plankton pada perairan menurun dapat menyebabkan terganggunya ekosistem sungai, dimana terjadi penurunan kadar oksigen dan berdampak pada organisme akuatik yang ada di sungai tersebut (Tiara et al., 2024).

Pengelolaan lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jatibarang belum dikelola dengan maksimal. Hal tersebut dapat dilihat dari penampakan lindi yang berwarna hitam pekat dan berbau yang menyengat. Kondisi tersebut disebabkan oleh masih tingginya kadar BOD dan COD yang terkandung dalam lindi. Berdasarkan hasil penelitian Nofiyanto (2019) menunjukkan kadar BOD lindi TPA Jatibarang yang tinggi yaitu sebesar 1.395 mg/L, diikuti juga dengan tingginya kadar COD sebesar 2.717 mg/L. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat dilihat bahwa kadar BOD dan COD lindi TPA Jatibarang masih jauh melebihi dari standar baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk kadar paling tinggi BOD 150 mg/L dan COD sebesar 300 mg/L. Tingginya kadar BOD dan COD yang melebihi standar baku mutu, merupakan salah satu indikator sebagai agen potensial bagi pencemaran air permukaan dan air tanah.

Munculnya warna hitam pekat dan bau yang tidak sedap pada lindi disebabkan adanya kandungan BOD dan COD pada air lindi. *Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan jumlah oksigen yang terlarut diperlukan mikroorganisme (bakteri) untuk mengurai bahan organik dalam kondisi aerobik. Sedangkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik dan mengoksidasi bahan anorganik. Jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengurai bahan organik, berbanding lurus terhadap jumlah oksigen yang diperlukan untuk proses reaksi oksidasi penguraian bahan anorganik. Semakin tinggi kadar BOD, maka semakin tinggi pula kadar COD, dimana kandungan bahan organik didalam air tersebut juga tinggi. Tingginya bahan organik pada lindi inilah yang menyebabkan warna hitam pekat dan berbau tidak sedap.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukannya sebuah strategi dan inovasi dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada lindi. Solusi untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan pengolahan secara biologis dengan menggunakan tumbuhan atau mikroorganisme yang mampu menghilangkan kontaminan dari lingkungan yang tercemar (Yunita, 2023). Menurut Nofiyanto (2019), menyatakan bahwa indikator tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi yaitu dapat tumbuh atau toleran terhadap polutan yang tinggi atau hipertoleran. Tumbuhan yang mampu menyerap dan mengakumulasi kontaminan dalam perairan disebut tumbuhan hiperakumulator, dimana tumbuhan ini akan menyerap kontaminan dan masuk kedalam proses metabolisme, sehingga tumbuhan hiperakumulasi ini menjadi kandidat yang cocok untuk agen fitoremediasi yang efisien (Silviana, 2023). Menurut Khoirunnisa (2022), salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah kelompok Pteridophyta karena mampu mengalami hiperakumulasi logam berat. Salah satu jenis tumbuhan yang berasal dari kelompok Pteridophyta dan berpotensi sebagai agen fitoremediasi adalah Bambu Air (*Equisetum hyemale*). Hal tersebut didukung dengan penelitian Al Kholif (2020) yang menyatakan bahwa bambu air mampu menyisihkan kadar BOD sebesar 95,43% dan kadar COD sebesar 89,67% pada limbah domestik. Hal tersebut didukung oleh penelitian Margowati & Abdullah, (2017) yang menyatakan bahwa bambu air mampu menurunkan kadar COD pada limbah rumah tangga hingga mencapai 76,35% dan kadar BOD sebesar 86,19%. Tanaman bambu air mudah tumbuh, mudah perawatannya, dan tahan terhadap berbagai pengaruh luar. Tanaman ini memiliki batang yang mampu untuk menyerap partikel karena kandungan silikat nya yang tinggi. Selain itu, tingginya oksigen dari hasil fotosintesis membuat tanaman ini mampu memperkaya kandungan oksigen dalam air yang akan digunakan oleh biota air untuk mendekomposisi kandungan bahan organik dalam limbah (Riyanto, 2023)

Hasil penelitian ini berkaitan dengan pembelajaran Biologi SMA kelas X Semester Genap yaitu pada materi Pencemaran Lingkungan. Secara spesifik materi pencemaran lingkungan terdapat dalam KD 3.11 Menganalisis Data

Perubahan Lingkungan Penyebab, dan Dampaknya bagi Kehidupan dan 4.11 Merumuskan Gagasan Pemecahan Masalah Perubahan Lingkungan yang Terjadi di Lingkungan Sekitar. Berdasarkan penelitian (Arestu, 2019) menyatakan bahwa terdapat permasalahan yang seringkali dialami dalam pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan, dimana kurangnya partisipasi peserta didik dalam pembentukan pengetahuannya. Hal tersebut disebabkan karena pembelajaran yang diberikan hanya sebatas teori tanpa melibatkan memanfaatkan fasilitas seperti laboratorium untuk kegiatan praktikum. Permasalahan yang lain yaitu tidak tersedianya bahan ajar berupa Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai sarana peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari (Benhadj, 2023). Hal tersebut sejalan dengan (Ariana et al., 2022) yang menyatakan bahwa pendidik masih menggunakan buku paket dari sekolah dan hanya mengarahkan peserta didik untuk mencatat kembali yang ada dilembar kerja, serta dalam pengerjaan soal-soal peserta didik hanya mengamati gambar pada lembar kerja lalu menjawab soal-soal yang ada. Oleh sebab itu, dalam proses pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan guru diminta untuk mengaitkan permasalahan kontekstual disekitar hingga dapat menyusun bahan ajar yang mampu untuk memfasilitasi peserta didik dalam memecahkan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari melalui pengalaman belajar secara langsung, salah satunya dengan kegiatan praktikum. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) pada kegiatan praktikum dapat membantu peserta didik dalam menemukan sendiri konsep pemahamannya, mengembangkan keterampilan proses dan sikap ilmiah serta membangkitkan minat peserta didik. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) pada kegiatan praktikum ini merupakan salah satu perangkat pembelajaran berisi langkah kerja yang dapat digunakan sebagai pedoman peserta didik untuk memudahkan dalam kegiatan praktikum (Hariningwang, 2020). Salah satu model pembelajaran yang memberikan kesempatan peserta didik untuk mengembangkan keterampilan dalam menyelesaikan masalah serta mengimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari adalah model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Menurut Ariana (2022) model *Project Based*

Learning (PjBL) mampu untuk memfasilitasi peserta didik dalam kegiatan praktikum, hal tersebut tercermin dalam kegiatan-kegiatan pada sintaks yang dapat membantu peserta didik lebih aktif dan terampil untuk menghasilkan ide-ide baru dalam rangka memecahkan yang ada disekitar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diperlukannya penelitian untuk mengetahui efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan pengetahuan mengenai efektivitas bambu air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD lindi sehingga hasil penelitian dapat dijadikan acuan masyarakat dalam menentukan strategi pengelolaan pencemaran lingkungan akibat limbah lindi. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat diimplementasikan dalam proses pembelajaran Biologi SMA Kelas X Semester Genap pada materi Pencemaran Lingkungan melalui penyusunan LKPD berbasis praktikum yang terintegrasi model *Project Based Learning* (PjBL) guna meningkatkan kemampuan memecahkan masalah peserta didik pada materi pencemaran lingkungan

B. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap BOD ?
2. Bagaimana efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap COD ?
3. Bagaimana implementasi hasil penelitian pada pembelajaran Biologi SMA kelas X Semester Genap pada Materi Pencemaran Lingkungan ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan permasalahan tersebut, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap BOD

2. Mengetahui efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap COD
3. Sebagai wawasan implementasi hasil penelitian pada pembelajaran Biologi SMA kelas X Semester Genap pada Materi Pencemaran Lingkungan

D. Manfaat Penelitian

Penelitian efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap BOD dan COD, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis

Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi pemikiran dalam bidang ilmu lingkungan, khususnya terkait dengan cara penganggulangan pencemaran lingkungan akibat air limbah. Dapat memberikan informasi mengenai tingkat efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD. Serta panduan dalam proses fitoremediasi lindi menggunakan bambu air.

2. Manfaat praktis

a. Bagi peneliti

Hasil penelitian ini dapat memberikan pengetahuan dan wawasan kepada mengenai tingkat efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD

b. Bagi guru

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai pedoman dan acuan dalam melakukan pembelajaran, khususnya dalam materi pencemaran lingkungan. Serta dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam penyusunan LKPD berbasis praktikum yang terintegrasi model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) dalam menyelesaikan suatu permasalahan sekitar guna meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

c. Bagi peserta didik

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan belajar dan referensi bagi peserta didik dalam memahami pencemaran lingkungan,

sehingga dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis dalam memecahkan permasalahan dan sikap peduli lingkungan.

d. Bagi masyarakat

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai data pendukung dalam menentukan strategi pengelolaan lingkungan, khususnya dalam pemanfaatan Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD.

e. Bagi Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai potensi Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD.

f. Bagi peneliti lain

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi pendukung dan acuan dalam melakukan penelitian yang serupa dimasa yang akan datang

E. Definisi Istilah

Oleh karena itu untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap istilah yang digunakan dalam tulisan ini dan guna untuk memperjelas pemahaman tentang istilah yang terdapat dalam tulisan ini, maka perlu adanya definisi istilah sebagai berikut :

1. Efektivitas

Efektivitas merupakan persentase hasil pengukuran tingkat keberhasilan terhadap kadar parameter sebelum pengolahan dan sesudah pengolahan (Yunita, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD.

2. Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) merupakan salah satu jenis tanaman akuatik yang termasuk kelompok *Pteridophyta* dengan batang yang mempunyai kandungan silikat tinggi, berguna untuk mengikat partikel yang terserap oleh akar (Riyanto, 2023)

3. Agen Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan pengolahan secara biologis dengan menggunakan tumbuhan yang mampu menghilangkan kontaminan dari lingkungan yang tercemar (Yunita, 2023). Dalam penelitian ini, fitoremediasi dilakukan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang bertujuan untuk menurunkan kadar BOD dan COD lindi

4. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen terlarut didalam perairan yang digunakan oleh mikroba untuk mendegradasi bahan organik dalam air (Rachman, 2022). Dalam penelitian ini, kandungan BOD digunakan sebagai salah satu parameter dalam mengukur kualitas air lindi sebelum dan setelah diberikan perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dengan waktu tinggal 7 hari.

5. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik dan mengoksidasi secara kimia bahan anorganik (Pramesti, 2023). Dalam penelitian ini, kandungan COD digunakan sebagai salah satu parameter dalam mengukur kualitas air lindi sebelum dan setelah diberikan perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dengan waktu tinggal 7 hari.

6. Lindi

Lindi merupakan air limbah TPA dalam yang sangat pekat dan berbau tidak sedap yang tercipta saat air meresap melalui sampah dan terkumpul didasarnya, cairan ini kental berwarna gelap yang sebagian besar terdiri dari bahan organik (Muna, 2023). Dalam penelitian ini, lindi yang digunakan diperoleh dari TPA Jatibarang Kota Semarang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata Yunani yaitu “*phyto*” berarti tumbuhan dan “*remedium*” dapat menyembuhkan atau mengembalikan ke kondisi semula, sehingga fitoremediasi didefinisikan sebagai proses pengembalian atau penguraian zat kontaminasi yang dilakukan oleh tumbuhan (Laghlimi et al., 2015). Menurut (Yunita et al., 2023) fitoremediasi merupakan pengolahan secara biologis dengan bantuan tumbuhan yang mampu menghilangkan kontaminan dari lingkungan. Proses fitoremediasi ini mengelola air limbah dengan memanfaatkan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan zat pencemar yang terdiri dari senyawa organik dan anorganik (Anggraini, 2022). Menurut (Riyanto, 2023) salah satu cara penganganan air limbah yaitu dengan metode fitoremediasi, dimana metode ini menurunkan dan menghilangkan substansi toksik air limbah dengan media tanaman atau pemanfaatan tanaman untuk mengekstraksi, menghilangkan, dan mendetoksifikasi polutan dari lingkungan. Fitoremediasi mempunyai keunggulan berupa teknologi hijau berbiaya rendah dan telah terbukti efektif dalam menurunkan dan menetralkan zat kontaminan baik pada tanah maupun air dengan memanfaatkan tanaman (Pandia et al., 2018).

Menurut (Lian, 2020) dalam fitoremediasi adanya tanaman menjadi faktor utama dan sangat penting untuk nantinya bekerja sama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral, dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/ polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya. Tanaman yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi yang efisien adalah tanaman hiperakumulasi, tanaman ini mampu menyerap polutan oleh akar tanaman dan konsentrasi jaringan tanaman sehingga polutan dapat terdekomposisi menjadi bentuk yang tidak berbahaya, kemampuan menyerap dan mentoleransi kontaminan tingkat tinggi inilah yang menjadi

salah satu faktor penentuan tanaman tersebut berpotensi sebagai agen fitoremediasi (Silviana & Rachmadiarti, 2023). Menurut penelitian (Rais, 2021) tanaman air merupakan salah satu contoh tanaman hiperakumulator, dimana tanaman air bermanfaat sebagai perangkap bahan organik pada perairan serta mempunyai sifat *luxury uptake* yaitu kemampuan menyerap zat atau nutrisi tertentu melebihi kebutuhannya. Hal tersebut sejalan dengan (Widyasari, 2021) yang menyatakan bahwa secara umum tumbuhan air mempunyai kemampuan yang sangat bermanfaat dalam proses pengolahan limbah cair, tumbuhan air dapat digunakan untuk menurunkan komponen-komponen zat tertentu didalam perairan.

Kemampuan akumulasi polutan oleh tumbuhan hiperakumulator dipengaruhi oleh spesies tumbuhan itu sendiri, selain itu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses akumulasi polutan oleh tumbuhan yaitu spesies, ukuran, kecepatan tumbuh, kecepatan penguapan, kedalaman akar, kebutuhan nutrient untuk metabolisme, faktor pH, kadar zat organik, status nutrient, jumlah ion-ion dan anion-anion tertentu serta faktor lingkungan berupa suhu, kelembapan, curah hujan, sinar matahari. (Irhamni et al., 2017)

Dalam proses fitoremediasi tahapan awal yaitu aklimatisasi. Aklimatisasi tanaman sangat penting untuk dilakukan agar tanaman mampu untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan tumbuh dalam perlakuan fitoremediasi sehingga tanaman tidak mengalami kematian akibat dari stress karena kurangnya pengenalan kondisi lingkungan baru, aklimatisasi ini dilakukan selama 7 hari dengan menggunakan air bersih (Poernomo et al., 2020). Selain aklimatisasi, fitoremediasi terjadi melalui beberapa tahapan. Menurut Irhamni *et al.*, (2017) fitoremediasi terbagi menjadi beberapa tahapan yang meliputi :

a. Fitoakumulasi (*Phytoaccumulation*)

Tubuh tumbuhan dan media pada tumbuhan menarik zat kontaminan serta mengakumulasikan disekitar tanaman.

b. Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*)

Proses pengendapan zat kontaminan di daerah akar serta menempelnya kontaminan tersebut ke akar tanaman.

c. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*)

Transformasi polutan yang kurang berbahaya ke jaringan tanaman pada batang dan daun, digunakan sebagai nutrisi dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

d. Rhizodegradasi (*Rhizodegradation*)

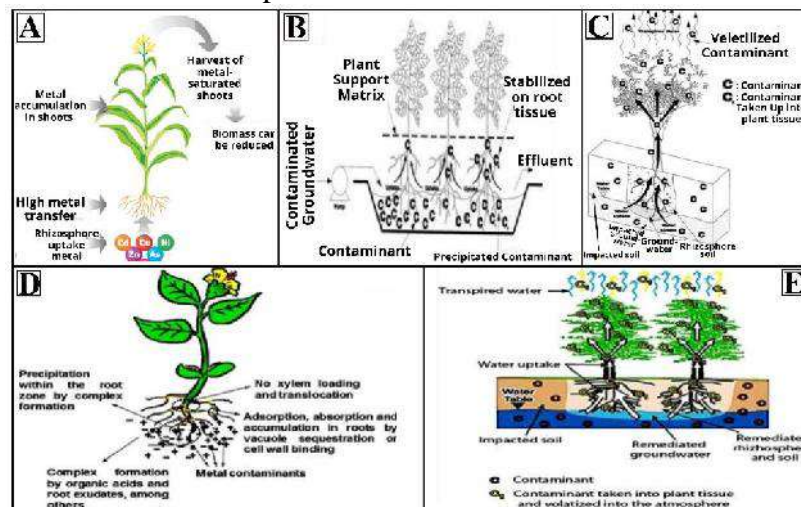
Proses aktivasi mikroba untuk menguraikan zat-zat kontaminan yang berada disekitar akar. Mikroba tersebut berupa ragi, fungi, dan bakteri

e. Fitodegradasi (*Phytodegradation*)

Proses penguraian zat kontaminasi yang terjadi didalam tubuh tumbuhan seperti akar, batang, dan daun. Pada proses ini tumbuhan mengeluarkan enzyme berupa bahan kimia untuk mendegradasi zat kontaminan menjadi bahan yang tidak berbahaya.

f. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)

Proses penarikan dan transpirasi zat kontaminan dalam bentuk larutan terurai sederhana oleh tumbuhan yang sifatnya tidak berbahaya lagi untuk kemudian ditranspirasikan ke atmosfer.



Gambar 2. 1 Skematik Fitoremediasi. A (Fitoakumulasi), B (Rhizofiltrasi), C (Fitostabilisasi), D (Rhizodegradasi & Fitodegradasi), E (Fitovolatilisasi)
Sumber : (Tampubolon et al., 2020)

2. Kadar BOD Lindi

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen terlarut didalam perairan yang digunakan oleh mikroba untuk mendegradasi atau menguraikan bahan organik dalam air (Rachman, 2022). Menurut Ningrum (2018) tingginya kadar BOD suatu perairan biasanya menjadi indikator tingginya mikroorganisme dalam perairan tersebut. Hal tersebut sesuai dengan Hafidhin *et al.*, (2023) yang menyatakan bahwa kadar BOD dalam perairan dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme, dimana semakin tinggi kandungan BOD maka jumlah mikroorganisme yang ada akan semakin banyak. Jumlah dan aktivitas mikroorganisme mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai BOD. Tingginya kadar BOD yang terkandung dalam suatu perairan menyebabkan terjadinya hipoksia atau penurunan kadar oksigen, sehingga bakteri akan lebih mudah untuk berkembangbiak dan menimbulkan penyakit. Penurunan kadar BOD dapat disebabkan adanya proses rhizodegradasi dan zat polutan yang terserap melalui akar tanaman saat proses metabolisme dalam tanaman selama tahap penguraian (Riyanto, 2023).

Menurut (Ramadani *et al.*, 2021) pemeriksaan BOD digunakan sebagai penentuan beban pencemaran yang diakibatkan air buangan penduduk atau industri. Hal tersebut sesuai dengan (Bermuli *et al.*, 2023) nilai BOD yang tinggi dapat menjadi indikator yang menunjukkan banyaknya beban pencemar yang bersumber dari zat organik terlarut yang ada didalam perairan tersebut. Kandungan BOD ini dapat diterapkan sebagai salah satu parameter dalam mengukur kualitas air lindi, dimana semakin rendah kadar BOD lindi maka akan semakin baik pula kualitas air lindi tersebut. Berdasarkan hasil data Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, dengan kadar maksimum BOD sebesar 150 mg/L.

Menurut Pamungkas (2016), apabila nilai BOD tinggi, akan menyebabkan menurunnya kandungan oksigen terlarut dari limbah dan

mengakibatkan senyawa organik yang dihasilkan pun tinggi, sehingga terjadi peningkatan nilai zat padat tersuspensi. Selain itu, tingginya kadar BOD dapat menunjukkan indikasi adanya kegiatan dekomposisi bahan organik yang tinggi dan semakin rendah kualitas air tersebut. Sehingga semakin mudah terjadinya pembusukan/ dekomposisi, maka nilai BOD akan semakin besar. Terjadinya proses dekomposisi oleh mikroorganisme tersebutlah yang mengakibatkan warna air limbah menjadi cokelat kehitaman. Air limbah domestik mengandung sampah padat beserta cair dengan memiliki sifat mengandung mikroorganisme, nilai oksigen terlarut kecil, ada kandungan organik menjadikan nilai BOD tinggi, dan memiliki zat padat mengapung di permukaan (Al Kholif et al., 2020)

3. Kadar COD Lindi

Menurut Pramesti (2023) *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik dan mengoksidasi secara kimia bahan anorganik. Hasil dekomposisi bahan organik berupa CO₂ dan H₂O, sedangkan reaksi kimia oksidasi pada bahan anorganik akan mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana yang berguna untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fidiastuti & Suarsini, 2017). Angka COD menunjukkan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Ramadani et al., 2021). Angka COD tersebut diukur berdasarkan banyaknya konsumsi oksigen pada saat reaksi biologis dan kimia berlangsung (Bermuli et al., 2023)

Menurut Ristiyanto (2020) COD dapat dijadikan indikator dalam mengidentifikasi pencemaran yang terjadi di perairan oleh senyawa-senyawa kimia berupa polutan industri, bahan kimia beracun, dan bahan organik yang sulit untuk diuraikan secara biologis, semakin tinggi COD yang terkandung dalam air berarti semakin buruk kualitas perairan tersebut. Penurunan konsentrasi COD dapat disebabkan karena adanya perlakuan tanaman, dimana pada area akar terjadi degradasi materi organik secara

aerob dan anaerob selama air lindi melewati rizofe (daerah sekitar akar) dari tanaman dan terjadi proses oksidasi secara kimia pada bahan anorganik (Muryani & Widiarti, 2019).

Sebagai upaya meminimalisir pencemaran lingkungan, pemerintah telah menetapkan baku mutu kualitas limbah cair sebagai batas yang diperbolehkan bagi suatu zat kontaminan dalam air sehingga tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan yang semakin tinggi. Berdasarkan hasil data Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, dengan kadar maksimum COD sebesar 300 mg/L. Sehingga ketika lindi dalam TPA melebihi batas baku mutu maka limbah cair lindi berpotensi dapat mencemari lingkungan. Hal tersebut disebabkan tingginya bahan kontaminan yang terkandung didalamnya, maka tidak dapat didegradasi dan dioksidasi secara maksimal.

4. Lindi

Lindi atau *Leachate* merupakan cairan pekat dan berbau tidak sedap dari limbah TPA yang tercipta saat curah hujan meresap melalui tempat pembuangan sampah dan terkumpul didasarnya (Muna, 2023). Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan produksi lindi berkaitan sangat erat, semakin banyak volume sampah yang ada di TPA berarti semakin banyak pula limbah cair lindi yang dihasilkan (Pradinda, 2020). Menurut (Mahtab et al., 2021) lindi merupakan produk sampingan dari beberapa proses fisik, kimia, dan biologis, sehingga banyak variabel yang mempengaruhi lindi antara lain jenis sampah, jumlah curah hujan, hidrologi, umur TPA, lokasi TPA, komposisi sampah, ukuran partikel tanah, jumlah pemadatan, dan iklim. Lindi dari pembuangan sampah mengandung berbagai senyawa diantaranya senyawa organik (lemak, karbohidrat, dan protein), senyawa anorganik (ammonia, kalium, fosfat, kalsium, magnesium), dan logam berat (besi, timbal, seng, tembaga, cadmium) (Selvam et al., 2017). Hal tersebut sejalan dengan Ika Wahyuning Widiarti & Eni Muryani, (2018); Sarwono et al., (2017) yang menyatakan bahwa pada lindi mengandung bahan

organik berupa senyawa hidrokarbon dan bahan anorganik berupa ammonia, kalium, fosfat, kalsium, magnesium, dan senyawa logam berat lainnya seperti besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu), dan cadmium (Cd). Sehingga pengelolaan lindi harus dilakukan dengan tepat, agar tidak menyebabkan kontaminasi terhadap air tanah, air permukaan dan dapat menyebabkan efek negatif pada kesehatan masyarakat yang ada disekitar TPA (Radityaningrum et al., 2022).

Pemerintah telah menetapkan standar baku mutu pada setiap parameter dalam lindi yang harus dipenuhi agar tidak mencemari lingkungan. Baku mutu lindi tersebut tercantum dalam Permen LHK RI No. 59 tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Adapun baku mutu lindi yang telah ditetapkan dapat dilihat dari Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Baku mutu lindi

Parameter	Kadar Maksimum yang Diizinkan	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadium	0,1	mg/L

Sumber: (Permen LHK RI No. 59 Tahun 2016)

Berdasarkan hasil penelitian Nofiyanto (2019) menunjukkan kadar BOD lindi TPA Jatibarang yang tinggi yaitu sebesar 1395 mg/L, diikuti juga dengan tingginya kadar COD sebesar 2.717 mg/L. Hal tersebut dapat dilihat bahwa kadar BOD dan COD lindi TPA Jatibarang masih jauh melebihi dari standar baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk kadar paling tinggi BOD 150 mg/L dan COD sebesar 300 mg/L. Tingginya kadar BOD dan COD yang melebihi standar baku mutu,

merupakan salah satu indikator sebagai agen potensial bagi pencemaran air permukaan dan air tanah.

5. TPA Jatibarang Semarang

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan area dimana sampah diproses dan dibuang setelah melewati tahapan pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan (Sanusi, 2023). Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang menjadi tempat penampungan sampah di Kota Semarang yaitu TPA Jatibarang. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jatibarang yang berlokasi di Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang ini memiliki luas lahan sebesar 46.183 Ha. Dengan 27.7098 atau sekitar 60% dari lahan, digunakan sebagai lahan buang dan 18.4738 Ha atau sekitar 40% digunakan sebagai infrastruktur kolam lindi serta mampu untuk menampung 4.15 juta meter kubik sampah atau 800 ton sampah setiap harinya (Pramesti, 2023). Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jatibarang memiliki sistem terbuka atau *open dumping*, yang menyebabkan air dari luar dapat masuk dan menggenangi timbunan sampah. Sehingga terdapat cairan hitam pekat yang berbau tidak sedap keluar dari timbunan sampah yang disebut lindi (*Leachate*). Lindi atau *Leachate* merupakan cairan pekat dan berbau tidak sedap dari limbah TPA yang tercipta saat curah hujan meresap melalui tempat pembuangan sampah dan terkumpul didasarnya (Muna, 2023). Karakteristik lindi TPA Jatibarang Semarang setiap tahunnya mengalami perubahan, hal tersebut dapat dilihat dari konsentrasi kontaminan yang terkandung didalamnya. Perkembangan kadar BOD dan COD lindi TPA Jatibarang Semarang dari tahun ke tahun berdasarkan penelitian terdahulu dapat dilihat dari tabel 2.2

Tabel 2. 2 Karakteristik BOD dan COD Lindi TPA Jatibarang Semarang

Parameter	Satuan	Kadar	Sumber
BOD	mg/L	1600	(Rezagama et al., 2016)
	mg/L	1626,5	(Prabowo et al., 2017)
	mg/L	1395	(Nofiyanto et al., 2019)
COD	mg/L	4000	(Rezagama et al., 2016)
	mg/L	4200	(Christianty,2017)
	mg/L	2717	(Nofiyanto et al., 2019)

Berdasarkan data penelitian terdahulu tersebut, dapat dilihat bahwa kadar COD lindi TPA Jatibarang belum memenuhi baku mutu BOD dan COD lindi yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan TPA. Kadar BOD lindi TPA Jatibarang terbilang sangat tinggi dibandingkan baku mutu BOD lindi yaitu sebesar 150 mg/L, hal yang sama terjadi pada COD dengan kadar yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan baku mutu yaitu sebesar 300 mg/L. Tingginya kadar BOD dan COD pada TPA Jatibarang Semarang jika tidak segera diolah dan ditangani dengan baik dapat berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan, mengganggu aktivitas masyarakat, dan sebagai sumber penyakit. Selain itu Sungai Kreo yang terletak tidak jauh dari TPA akan berpotensi tercemar karena alirannya yang tepat berada di ujung bawah TPA Jatibarang Semarang.

6. Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Agen Fitoremediasi

Kata *Equisetum* berasal dari kata “*equus*” yang berarti kuda dan “*saeta*” artinya rambut tebal, sehingga tumbuhan ini termasuk kedalam genus paku ekor kuda. *Equisetum hyemale* umumnya tumbuh di lingkungan basah seperti kolam dangkal, daerah pinggiran sungai atau daerah rawa, dan danau dengan akar yang tumbuh pada tanah. Pada sistem perakaran tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) mempunyai jenis akar serabut, sehingga pengambilan nutrisi dapat menyebar kesegala arah. Pada akar tanaman Bambu Air juga mampu mengeluarkan oksigen sehingga mampu memperkaya kandungan oksigen dalam air (Triastianti, 2023). Batang tumbuhan ini berwarna hijau, beruas-ruas, berlubang ditengahnya, dan berperan sebagai organ fotosintetik menggantikan daun (Picauly, 2022). Tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) hanya terdapat satu tipe batang yaitu batang hijau berongga yang menghasilkan bentuk seperti kerucut pada bagian ujungnya (apeks), sehingga batang ini berperan ganda baik sebagai batang generatif maupun vegetatif (Silalahi & Adinugraha, 2019). Batang pada tanaman Bambu Air dapat bercabang, cabangnya mengitari

batang utama. Adapun morfologi tanaman Bambu Air dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



Gambar 2. 2 Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2023)

Menurut Smith (1995) klasifikasi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Pteridophyta
Kelas : Equisetopsida
Ordo : Equisatales
Famili : Equisetaceae
Genus : Equisetum
Spesies : *Equisetum hyemale*

Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki potensi untuk dijadikan agen fitoremediasi. Hal tersebut dikarenakan salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi berasal dari kelompok Pteridophyta karena hipertoleran dan hiperakumulator logam berat (Khoirunnisa, 2022). Tanaman hiperakumulasi ini memiliki kapasitas untuk menyerap kontaminan, dalam hiperakumulasi polutan akan diserap oleh akar tanaman dan terkonsentrasi di jaringan tanaman atau terdekomposisi menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Silviana & Rachmadiarti, 2023).

Sehingga tanaman bambu ini hipertoleran terhadap unsur logam, karena dapat mentoleransi logam berat dengan konsentrasi yang tinggi pada tajuk dan jaringan akarnya (Candra et al., 2019)

Potensi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi dapat dilihat berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Menurut Al Kholif (2020), bambu air mampu menyisihkan kadar kontaminasi dalam limbah domestik dengan waktu tinggal selama 5 hari. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian yang menunjukkan Bambu Air (*Equisetum hyemale*) mampu untuk menyisihkan kadar BOD sebesar 95,43% dan kadar COD sebesar 89,67%.

Kemampuan bambu air sebagai fitoremediator dikarenakan adanya mikroba rhizosfera pada akar yang dapat mengurai zat-zat kontaminan dengan cara menyerapnya dari perairan dan kemudian mengakumulasi bahan terlarut ke dalam struktur tubuhnya, sehingga semakin banyak tanaman bambu air maka semakin besar penurunan kadar BOD nya (Margowati & Abdullah, 2017). Tanaman ini memiliki batang yang mampu untuk menyerap partikel karena kandungan silikat nya yang tinggi. Selain itu, tinggi nya oksigen dari hasil fotosintesis membuat tanaman ini mampu memperkaya kandungan oksigen dalam air yang akan digunakan oleh biota air untuk mendekomposisi kandungan bahan organik dalam limbah (Riyanto, 2023)

7. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi

Menurut (Ainun & Rasmawan, 2021) Lembar Kerja Peserta Didik atau LKPD merupakan salah satu bahan ajar cetak yang berisi materi, ringkasan, dan petunjuk pelaksanaan tugas pembelajaran yang harus dikerjakan oleh peserta didik baik secara teori maupun praktik, yang diharapkan berfungsi untuk mengurangi paradigma *teacher centered* menjadi *student centered* sehingga peserta didik menjadi lebih aktif.

Penelitian efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD ini berkaitan dengan salah satu

materi Biologi SMA Kelas X Semester Genap yaitu pada materi Pencemaran Lingkungan yang tercantum dalam KD 3.11 dan KD 4.11. Sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat diimplementasikan dalam pembelajaran. Salah satu bentuk implementasi hasil penelitian dalam pembelajaran biologi yaitu dengan pembuatan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum dapat diartikan sebagai lembar kerja yang tersusun secara terstruktur dan sistematis berisi tentang panduan sebuah praktikum yang akan dilakukan oleh peserta didik dalam suatu pembelajaran, lembar kerja ini berisi petunjuk praktikum yang diperlukan peserta didik untuk memudahkan dalam melaksanakan sebuah praktikum (Hariningwang & Fitrihidajati, 2020). Menurut (Roza & Chania, 2018), melalui kegiatan praktikum peserta didik akan lebih paham terkait konsep yang dipelajari, dapat menumbuhkan dan mengembangkan minat untuk belajar sains, menciptakan situasi belajar menjadi bermakna, serta dapat menumbuhkan sikap ilmiah peserta didik. Hal tersebut sejalan dengan Kristyowati (2018), penggunaan LKPD dalam praktikum dapat membantu pendidik dalam mengarahkan peserta didik menemukan konsep baik melalui aktivitas individu maupun kelompok, mengembangkan keterampilan proses, mengembangkan sikap ilmiah serta membangkitkan minat peserta didik terhadap alam sekitarnya.

Menurut Prastowo (2019), terdapat langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam menyusun Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) antara lain :

- 1) Analisis Kurikulum

Analisis kurikulum dilakukan untuk mengetahui jenis kurikulum yang digunakan oleh sekolah sehingga melalui analisis kurikulum nantinya dalam penyusunan Lembar Kerja Peserta Didik atau LKPD dapat disesuaikan dengan materi kurikulum yang berlaku di sekolah tersebut. Kesuaian antara materi dengan konsep yang dikembangkan dalam

LKPD akan memberikan gambaran nyata kemampuan yang harus dikuasai oleh peserta didik.

2) Menyusun Peta Kebutuhan LKPD

Penyusunan peta kebutuhan LKPD dilakukan untuk mengetahui jumlah LKPD yang harus dibuat, serta untuk menentukan prioritas penulisan. Setelah melakukan analisis kurikulum, akan didapatkan urutan materi yang harus dibuat LKPD sehingga dapat ditentukan mana LKPD yang harus diprioritaskan serta membuat LKPD lebih efisien karena sesuai dengan konsep materi dalam kurikulum yang digunakan.

3) Menentukan Judul LKPD

Penentuan judul LKPD disesuaikan dengan tiap kompetensi yang akan dicapai. Selain berisikan intruksi dan langkah-langkah pengerjaan, setiap LKPD juga harus dilengkapi dengan judul. Pemberian judul LKPD penting dilakukan sebagai identitas dari LKPD itu sendiri serta agar peserta didik dapat mengetahui materi apa yang sedang dipelajari dalam LKPD tersebut.

4) Menulis LKPD

Dalam menulis LKPD, terdapat 4 tahapan yang harus dilakukan yaitu merumuskan kompetensi dasar, menentukan alat penilaian, menyusun materi, dan menyusun struktur LKPD. Kompetensi dasar dirumuskan dengan melihat kurikulum yang digunakan dan disesuaikan dengan materi. Alat penilaian disesuaikan dengan indikator dan aspek yang akan dinilai. Penyusunan materi dalam LKPD juga mengacu pada kurikulum yang digunakan dan kompetensi yang akan dicapai peserta didik. Setelah itu, penyusunan struktur LKPD dilakukan dengan mengacu pada ketiga aspek sebelumnya sehingga LKPD dapat tersusun secara baik, sistematis, dan tidak membingungkan.

Hasil penelitian ini akan diimplementasikan dalam bentuk LKPD berbasis praktikum yang terintegrasi dengan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Menurut Ariana et al., (2022) menyatakan bahwa *Project Based Learning* (PjBL) ini sebagai model pembelajaran yang sangat

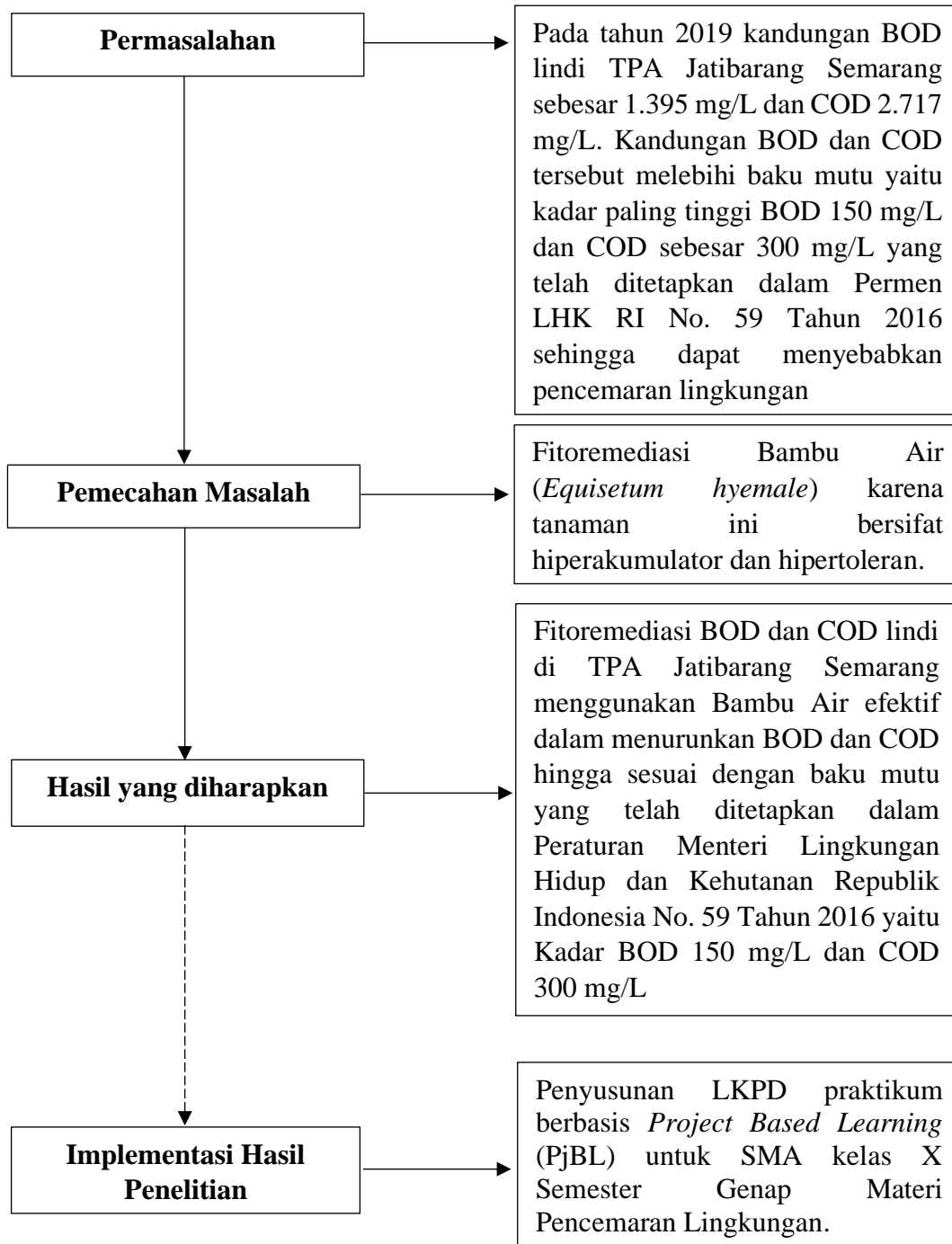
sesuai dalam mengembangkan keterampilan dan kemampuan belajar pada peserta didik. Dengan melalui serangkaian kegiatan merancang produk, melaksanakan proyek, dan menghasilkan suatu produk, yang akan dikumpulkan dalam satu wadah yaitu berupa produk pembelajaran. Selain itu melalui konsep model pembelajaran PjBL yaitu berpusat pada peserta didik dan berangkat dari suatu latar belakang masalah untuk mengerjakan suatu proyek atau aktivitas nyata yang akan membuat peserta didik mengalami berbagai kendala kontekstual, sehingga harus melakukan investigasi dan pemecahan masalah untuk dapat mencapai kompetensi yang diharapkan. Penerapan *Project Based Learning* (PjBL) telah menunjukkan bahwa model tersebut dapat membuat peserta didik mengalami proses pembelajaran yang bermakna, yaitu pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan paham konstruktivis (membangun pengetahuannya sendiri) (Ratri, 2017). Implementasi model pembelajaran PjBL dalam penyusunan LKPD berbasis praktikum adalah sebagai berikut:

- 1) Pertanyaan Mendasar
- 2) Mendesain Perencanaan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 3) Menyusun Jadwal Pelaksanaan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 4) Monitoring Keaktifan dan Perkembangan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 5) Menguji Hasil Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 6) Evaluasi Pengalaman dan Hasil Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air

Rancangan LKPD praktikum yang telah disusun sebelum diujicobakan perlu diuji kelayakannya terlebih dahulu melalui kegiatan validasi oleh ahli materi dan ahli media. Kegiatan validitas ditentukan dari hasil penilaian pakar terhadap produk, sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan produk yang telah dikembangkan. Kegiatan validasi bertujuan untuk memperoleh masukan berupa kritik, saran, dan tanggapan dari validator terhadap kualitas LKPD yang telah dikembangkan, sehingga dapat

mengetahui kesesuaian LKPD dengan standar yang telah ditentukan (Arda, 2021).

B. Kerangka Berpikir



Gambar 2. 3 Bagan Kerangka Berpikir Penelitian

C. Hipotesis

Berdasarkan kerangka berpikir peneliti, maka hipotesis yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Hipotesis Penelitian

Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi mampu untuk menurunkan kadar BOD dan COD air lindi.

2. Hipotesis Statistik

H₀ : Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) tidak efektif sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD

H₁ : Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) efektif sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD

Kriteria pengujian:

- a. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$: Pengaruh yang diamati tidak signifikan, maka H₀ diterima dan H₁ ditolak.
- b. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$: Pengaruh yang diamati signifikan, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 sampai dengan Januari 2024 di TPA Jatibarang Semarang yang berlokasi di Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. Uji kadar BOD dan COD pada air lindi dilakukan di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang yang berlokasi di jalan Tapak Raya, Tugurejo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang, Jawa Tengah.

B. Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Air lindi : 90 liter
2. Bambu Air (*Equisetum hyemale*) : 5250 gram
3. Aquades : 10 liter

C. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Galon plastik 15 liter : 9 buah
2. Ember 10 liter : 1 buah
3. Thermometer digital : 1 buah
4. pH meter : 1 buah
5. DO meter : 1 buah
6. Gayung : 3 buah
7. Timbangan : 1 buah
8. Sarung tangan karet : 5 pasang
9. Masker : 5 buah
10. Kertas label : 1 pcs
11. Jirigen 1 liter : 15 buah
12. Rafia : 1 gulung
13. Gunting : 1 pcs
14. Corong : 1 pcs
15. Gelas Ukur 2 liter : 1 buah

D. Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Variabel bebas : Biomassa tanaman Bambu Air pada tiap taraf perlakuan
2. Variabel terikat : Kadar BOD dan COD pada air lindi
3. Variabel kontrol : Spesies tanaman bambu air, kondisi fisik tanaman bambu air, tinggi tanaman, volume air lindi, ukuran bak reaktor, kelembaban udara, dan intensitas cahaya

E. Desain Eksperimen

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental dengan menggunakan desain *true experiment*. Pengambilan sampel air lindi diperoleh dari kolam pertama pada penampungan lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Jatibarang Semarang. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga taraf perlakuan dan tiga kali ulangan, sehingga didapatkan total sebanyak 9 unit penelitian. Perlakuan yang diberikan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

P0 : 10 liter lindi tanpa Bambu Air (kontrol).

P1 : 10 liter lindi + 750 gram Bambu Air.

P2 : 10 liter lindi + 1000 gram Bambu Air.

F. Prosedur Penelitian

1. Pengambilan sampel air lindi

Pengambilan sampel air lindi dilakukan dengan cara mengambil sebanyak 90 liter air lindi dari kolam penampungan lindi TPA Jatibarang Semarang. Kemudian mengukur volume dan meletakkan sampel air lindi yang telah diambil ke dalam bak unit penelitian berkapasitas 15 liter, di mana pada masing-masing unit penelitian diisi dengan sampel air lindi sebanyak 10 liter.

2. Pemilihan sampel Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Spesies bambu air yang digunakan sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap BOD dan COD pada penelitian ini adalah *Equisetum hyemale*,

karena memiliki sifat sebagai hipertoleran dan hiperakumulator. Variasi biomassa yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 0 gram (P0 atau kontrol), 750 gram (P1), dan 1000 gram (P2). Adanya perbedaan biomassa tanaman tersebut bertujuan untuk mengetahui biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang paling efektif dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada air lindi

3. Aklimatisasi Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Melakukan aklimatisasi tanaman Bambu Air terlebih dahulu selama satu minggu sebelum penelitian dilakukan pada lokasi penelitian. Kegiatan aklimatisasi dengan cara meletakkan bambu air ke dalam galon bekas berisi aquades. Kegiatan aklimatisasi bertujuan agar bambu air dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang baru. Aklimatisasi selama satu minggu dengan asumsi bahwa Bambu Air tersebut dianggap telah mampu beradaptasi dengan lingkungan barunya sehingga tidak mengalami stres ketika diberikan perlakuan. Setelah satu minggu aklimatisasi, kemudian memindahkan bambu air ke dalam baskom berisi air lindi sesuai dengan kode unit perlakuan penelitian.

4. Pengambilan data primer

Data primer dalam penelitian ini meliputi hasil pengukuran terhadap objek yang diteliti yaitu kadar BOD dan COD air lindi sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Melakukan pengambilan data kadar BOD dan COD air lindi pada hari sebelum perlakuan, ketiga, dan ketujuh penelitian dengan cara mengambil sampel air lindi sebanyak 1 liter pada masing-masing unit penelitian. Kemudian melakukan uji kadar BOD dan COD air lindi pada masing-masing unit penelitian di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang yang berlokasi di jalan Tapak Raya, Tugurejo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang, Jawa Tengah

5. Pengambilan data sekunder

Melakukan pengambilan data sekunder pada hari ke-0, ke-3, dan ke-7 penelitian. Kondisi lingkungan tempat penelitian yang diukur meliputi suhu lindi, DO lindi, dan pH lindi.

G. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui percobaan, pengujian, dan pengukuran. Dalam penelitian ini terdapat dua data yaitu data primer yang diperoleh dari percobaan dan hasil uji laboratorium dan data sekunder diperoleh dari pengukuran kondisi lingkungan reaktor fitoremediasi. Kemudian hasil data yang diperoleh dibandingkan dengan standar baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.

1. Pengambilan data primer

Data primer dalam penelitian ini meliputi hasil pengukuran terhadap objek yang diteliti yaitu kadar BOD dan COD lindi sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Melakukan pengambilan data kadar BOD dan COD air lindi pada hari sebelum perlakuan, ketiga, dan ketujuh penelitian dengan cara mengambil sampel air lindi sebanyak 1 liter pada masing-masing unit penelitian yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan uji kadar BOD dan COD di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang yang berlokasi di Jalan Tapak Raya, Tugurejo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. Adapun cara pengujian BOD dan COD sebagai berikut:

a. Pengujian BOD

Pada pengujian BOD dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.72:2009. Bahan yang digunakan pada pengujian ini meliputi air sampel, air bebas mineral, larutan suspensi bibit mikroba, larutan nutrisi, larutan air pengencer, larutan glukosa-asam glutamate, larutan asam basa, larutan natrium sulfit, inhibitor nitrifikasi Allylthiourea (ATU), asam asetat, larutan kalium iodida, larutan indikator amilum (kanji). Sedangkan alat yang digunakan pada pengujian ini antara lain botol DO, lemari inkubasi atau *water cooler* dengan suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan pada kondisi gelap, pipet volumetrik, labu

ukur, pH meter, DO meter yang terkalibrasi, shaker, blender, oven, dan timbangan analitik.

Cara kerja yang dilakukan untuk pengujian BOD yaitu dengan mengencerkan sampel kedalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambahkan larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C sampai 1°C selama 5 hari, kemudian nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut pada hari ke-0 dan hari ke-5.

b. Pengujian COD

Pada pengujian COD dilakukan dengan refluks tertutup secara spektrofotometri berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.2:2009. Bahan yang digunakan pada pengujian ini meliputi air sampel, air bebas organik, *digestion solution* pada kisaran konsentrasi tinggi, *digestion solution* pada kisaran konsentrasi rendah, larutan pereaksi asam sulfat, asam sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$). Sedangkan alat yang digunakan pada pengujian ini antara lain spektrofotometri sinar tampak (400 nm sampai 700 nm), kuvet, *digestion vessel* atau ampul borosilikat, *heating block*, buret, labu ukur, pipet volumetrik, gelas piala, *magenetic stirrer*, dan timbangan analitik.

Cara kerja yang dilakukan untuk pengujian COD yaitu sampel yang mengandung bahan organik dan anorganik dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup dan menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan Cr^{3+} kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm.

2. Pengambilan data sekunder

Data sekunder diambil dengan cara mengukur secara langsung kondisi lingkungan reaktor pada hari ke-0, ke-3, dan ke-7 selama 7 hari penelitian dengan menggunakan alat thermometer air untuk mengukur suhu, DO

meter untuk mengukur *Dissolved Oxygen* (DO), dan pH meter untuk mengukur pH pada lindi.

H. Analisis dan Interpretasi Data

Dilakukan pengujian kadar BOD dan COD terlebih dahulu untuk mengetahui kadar awal sebelum perlakuan pada air lindi Jatibarang Semarang. Kemudian dilakukan pengujian Kembali pada hari ke-0, ke-3, dan ke-7 penelitian untuk mengetahui efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi dalam penurunan kadar BOD dan COD. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016. Selanjutnya data penelitian dianalisis dengan uji homogenitas sebelum dilakukan uji Analisis Sidik Ragam. Perbedaan pengaruh antar perlakuan terhadap perbaikan kualitas air lindi dianalisis dengan uji ANOVA (*Analysis of Variant*) dan dilanjutkan dengan uji lanjutan apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, dimana didapatkan hasil perlakuan yang berbeda nyata (signifikan). Uji lanjutan dapat menggunakan uji *Duncan*, uji BNT, ataupun uji BNJ yang disesuaikan dengan nilai koefisien keragaman.

1. Uji Sidik Ragam

Menurut Santiyasa (2016), analisis Sidik Ragam atau (ANOVA) dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Menentukan derajat bebas

$$db \text{ perlakuan} = t - 1$$

$$db \text{ total} = (r.t) - 1$$

$$db \text{ galat} = t(r - 1)$$

- b. Menentukan Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{G^2}{r.t}$$

- c. Menentukan Jumlah Kuadrat (JK)

$$JK \text{ perlakuan} = \frac{\sum (\text{total perlakuan})^2}{r} - FK$$

$$JK \text{ total} = JK \text{ seluruh nilai pengamatan} - FK$$

$$JK \text{ galat} = JK \text{ total} - JK \text{ perlakuan}$$

- d. Menentukan Kuadrat Tengah (KT)

$$KT_{perlakuan} = \frac{JK_{perlakuan}}{db_{perlakuan}}$$

$$KT_{galat} = \frac{JK_{galat}}{db_{galat}}$$

- e. Menentukan F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KT_{perlakuan}}{KT_{galat}}$$

Untuk melakukan analisis sidik ragam (Uji Anova) perhitungan yang dibutuhkan untuk menganalisis data tersebut disajikan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Analisis Sidik Ragam (Uji Anova)

Sumber Keragaman (SK)	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}	
					5%	1%
Perlakuan	$t - 1$	JKP	KTP	$\frac{KTG}{KTP}$		
Galat	$t (r - 1)$	JKG	KTG	$\frac{KTG}{KTP}$		
Total	$rt - 1$					

Sumber : Santiyasa (2016)

- f. Menghitung koefisien keragaman

$$KK = \frac{\sqrt{KTG}}{rataan\ umum} \times 100\%$$

Interpretasi data dilakukan berdasarkan tabel Uji Sidik ragam (ANOVA) dengan cara membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} dan diperoleh kesimpulan apakah hipotesis diterima atau ditolak. Jika hipotesis diterima ($F_{hitung} > F_{tabel}$), maka dilakukan uji lanjutan dengan melihat besarnya nilai KK yang diperoleh agar uji lanjutan yang dilakukan dapat sesuai. Jika hipotesis ditolak ($F_{hitung} < F_{tabel}$), maka tidak dilakukan uji lanjutan. Menurut Kristiana (2021) terdapat kriteria pemelilihan uji lanjutan berdasarkan besarnya nilai KK sebagai berikut :

- a. Jika nilai KK besar, (minimal 10% pada kondisi homogen atau minimal 20% pada kondisi heterogen) uji lanjutan yang digunakan sebaiknya uji Duncan

- b. Jika nilai KK sedang (antara 1-5% pada kondisi homogen atau antara 5-10% pada kondisi heterogen), uji lanjutan yang sebaiknya digunakan adalah uji BNT (Beda Nyata Terkecil).
 - c. Jika nilai KK kecil, (maksimal 5% pada kondisi homogen atau maksimal 10% pada kondisi heterogen), uji lanjutan yang sebaiknya digunakan adalah uji BNJ (Beda Nyata Jujur)
2. Efektivitas penurunan dan peningkatan parameter pencemaran air lindi.

Menurut Yunita et al., (2023), efektivitas penurunan parameter dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$E = \frac{Co - Ci}{Co} \times 100\%$$

Keterangan :

E : Persen efisiensi

Co : Konsentrasi parameter pencemaran sebelum perlakuan.

Ci : Konsentrasi parameter pencemaran setelah perlakuan.

I. Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi

Penelitian ini berkaitan dengan salah satu materi Biologi SMA Kelas X Semester Genap yaitu pada materi Pencemaran Lingkungan yang tercantum dalam KD 3.11 dan KD 4.11. Sehingga pada hasil penelitian diharapkan dapat diimplementasikan kedalam pembelajaran, Salah satu bentuk dari implementasi tersebut yaitu dengan pembuatan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum.

1. Penyusunan LKPD

Penyusunan LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) menggunakan model ADDIE yang dikembangkan oleh Dick & Carry (1996), namun dalam penelitian ini hanya berfokus pada tahap ADD (*Analysis, Design, dan Development*).

a. Tahap *Analysis*

Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis terhadap kebutuhan dan permasalahan yang seringkali dihadapi dalam proses pembelajaran pada salah satu materi Biologi SMA Kelas X Semester Genap yaitu

materi Pencemaran Lingkungan, serta kurikulum yang berlaku. Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengetahui keadaan bahan ajar sebagai informasi utama dalam pembelajaran serta ketersediaan bahan ajar yang mendukung terlaksananya pembelajaran. Analisis kurikulum dilakukan dengan memperhatikan karakteristik kurikulum yang digunakan, sehingga pengembangan yang akan dilakukan dapat sesuai dengan tuntutan kurikulum yang berlaku. Hasil analisis akan digunakan sebagai pedoman pembuatan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum materi Pencemaran Lingkungan sehingga ketika nantinya digunakan akan lebih efektif dan efisien dalam penerapannya.

b. Tahap *Design*

Pada tahap ini, peneliti melakukan perencanaan pengembangan bahan ajar, meliputi penyusunan bahan ajar dalam pembelajaran kontekstual dengan mengkaji kompetensi inti dan kompetensi dasar untuk menentukan materi pembelajaran, merancang skenario pembelajaran, pemilihan kompetensi bahan ajar, perencanaan awal perangkat pembelajaran yang didasarkan pada kompetensi mata pelajaran, serta merancang materi pembelajaran dan instrumen evaluasi pembelajaran. Selain itu, LKPD yang disusun harus memperhatikan aspek substansial yaitu aspek materi dan aspek media. Desain LKPD praktikum yang disusun nantinya juga akan terintegrasi dengan sintaks model *Project Based Learning* (PjBL) untuk memfasilitasi peserta didik. Sintaks PjBL tersebut meliputi: 1) menentukan pertanyaan mendasar, 2) menyusun perencanaan proyek, 3) menyusun jadwal, 4) monitoring, 5) menguji hasil, 6) evaluasi pengalaman

c. Tahap *Development*

Pada tahap ini, LKPD praktikum yang telah disusun sebelum diimplementasikan pada pembelajaran biologi harus diuji kelayakannya terlebih dahulu melalui kegiatan validasi oleh ahli materi dan ahli media. Kegiatan validasi ini bertujuan untuk

mengetahui kesesuaian bahan ajar yang telah dibuat, meliputi validasi materi dan media, serta di dalamnya mencakup aspek kebahasaan. Selain itu, kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh masukan berupa kritik, saran, dan tanggapan dari validator terhadap kualitas LKPD yang telah disusun sehingga dapat mengetahui kesesuaian LKPD dengan standar yang telah ditentukan. Validasi materi dan media dilakukan oleh para ahli, di mana dalam hal ini adalah dosen sebagai validator. Bahan ajar yang telah disusun akan divalidasi oleh 2 ahli media dan 2 ahli materi dari program studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang.

2. Tahap Validasi LKPD

Rancangan LKPD yang telah disusun sebelum diujicobakan perlu diukur kualitasnya melalui tahapan validasi oleh para ahli yang dijadikan sebagai validator untuk menguji sejauh mana kelayakan LKPD yang telah dibuat. Kegiatan validasi bertujuan untuk memperoleh masukan berupa kritik, saran, dan tanggapan dari validator terhadap kualitas LKPD yang telah dibuat, sehingga dapat mengetahui kesesuaian LKPD dengan standar yang telah ditentukan. Adapun aspek penilaian oleh ahli materi meliputi meliputi isi materi LKPD praktikum dan penggunaannya dalam pembelajaran biologi, sedangkan penilaian oleh ahli media meliputi aspek penyajian, kebahasaan, dan kegrafisan. Dalam melakukan validasi diperlukan instrumen validasi berupa angket yang digunakan sebagai pedoman dalam menilai kualitas produk LKPD yang dibuat. Angket disusun dalam bentuk skala linkert menggunakan kategori positif dengan rincian sebagai berikut:

4 : Sangat baik

3 : Baik

2 : Kurang Baik

1 : Tidak Baik

Penilaian ditentukan berdasarkan kriteria interpretasi skor yang diperoleh. Perhitungan data nilai hasil angket dianalisis dalam skala (0- 100%) yang dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{X}{Y} \times 100\%$$

Keterangan :

P : Nilai aspek yang diukur

X : Skor yang diperoleh

Y : Skor maksimum

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus di atas nantinya diperoleh kategori penilaian Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum yang disajikan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3. 2 Kategori penilaian LKPD berbasis praktikum

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

Sumber: Roza & Chania (2018)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh data mengenai hasil kadar BOD dan COD lindi TPA Jatibarang Semarang yang telah melalui proses fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air, sebagai berikut :

1. Karakteristik Awal Lindi TPA Jatibarang Semarang

Lindi TPA Jatibarang Semarang memiliki karakteristik warna hitam yang pekat, keruh, dan aroma khas bahan organik yang tidak sedap. Secara fisik, lindi TPA Jatibarang Semarang terlihat terlarut secara sempurna karena tidak adanya endapan didasar wadah dan tidak adanya gumpalan yang mengapung dipermukaan lindi jika dilihat secara kasat mata. Pada sebelum diberikan perlakuan, dilakukan uji pendahuluan pada sampel lindi yang bertujuan untuk mengetahui kadar BOD dan COD lindi TPA Jatibarang Semarang. Kadar BOD dan COD awal lindi TPA Jatibarang Semarang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Karakteristik awal lindi TPA Jatibarang Semarang

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
BOD	mg/L	516	150
COD	mg/L	1280	300

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut, dapat diketahui bawa kadar awal sebelum perlakuan BOD yaitu 516 mg/L dan COD yaitu 1280 mg/L. Kadar tersebut masih melebihi standar baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk kadar paling tinggi BOD 150 mg/L dan COD sebesar 300 mg/L.

2. Fitoremediasi Bambu Air terhadap Kadar BOD Lindi

Pada penelitian ini menggunakan menggunakan teknik fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi lindi untuk menurunkan kadar BOD. Adapun biomassa

tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0 gr atau tanpa bambu air (P₀), 750 gr bambu air (P₁), dan 1000 gr bambu air (P₂). Adanya perbedaan biomassa tersebut bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengaruh perbedaan biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dalam menurunkan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) lindi TPA Jatibarang Semarang, serta mengetahui biomassa yang paling efektif dalam menurunkan kadar BOD lindi. Adapun data penurunan kadar BOD lindi setelah diberikan perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dapat dilihat pada **Tabel 4.2**, dan **Tabel 4.3**

Data pengukuran kadar BOD lindi hari ke-3 setelah perlakuan disajikan pada **Tabel 4.2**

Tabel 4. 2 Kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan

Perlakuan	Rataan Kadar Awal	Kadar Ulangan (mg/L)			Rataan Kadar Akhir	Persentase Penurunan (%)
		1	2	3		
P ₀	516	518	518	518	518	-0,38
P ₁	516	482	509	474	488,33	5,36
P ₂	516	451	485	470	468,66	9,17

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki efektivitas dalam menurunkan kadar BOD pada hari ke-3 setelah perlakuan. Persentase penurunan kadar BOD lindi dari yang paling tinggi hingga paling rendah secara berturut-turut yaitu P₂ sebesar 9,17% ; P₁ sebesar 5,36% ; dan P₀ sebesar -0,38%.

Data pengukuran kadar BOD lindi hari ke-7 setelah perlakuan disajikan pada **Tabel 4.3**

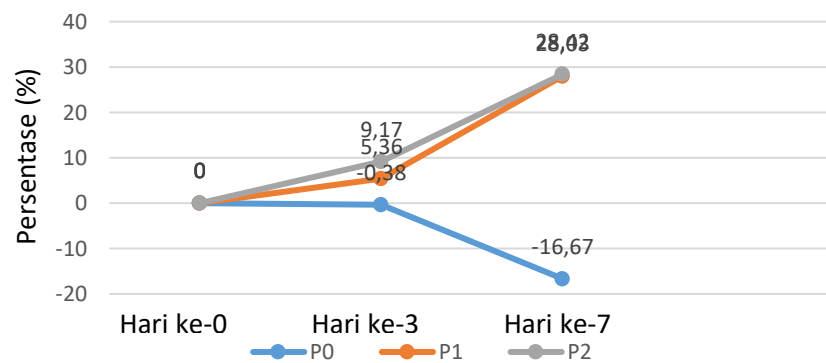
Tabel 4. 3 Kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan

Perlakuan	Rataan Kadar Awal	Kadar Ulangan (mg/L)			Rataan Kadar Akhir	Persentase Penurunan (%)
		1	2	3		
P ₀	516	602	602	602	602	-16,67
P ₁	516	401	353	360	371,33	28,03
P ₂	516	295	365	448	369,33	28,42

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki efektivitas dalam menurunkan kadar

BOD pada hari ke-7 setelah perlakuan. Persentase penurunan kadar BOD lindi dari yang paling tinggi hingga paling rendah secara berturut-turut yaitu P₂ sebesar 28,42% ; P₁ sebesar 28,03% ; dan P₀ sebesar -16,67%.

Data perkembangan persentase penurunan kadar BOD lindi TPA Jatibarang Semarang selama penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



Gambar 4.1 Efektivitas Penurunan Kadar BOD Lindi

Berdasarkan data hasil penelitian terdapat perbedaan penurunan kadar BOD Lindi pada hari ke-3 dan ke-7. Pada hari ke-3 setelah perlakuan, persentase penurunan kadar BOD lindi paling tinggi terjadi pada P₂ sebesar 9,2%. Hal yang sama terjadi pada hari ke-7 setelah perlakuan, dimana P₂ memiliki persentase penurunan kadar BOD yang paling tinggi yaitu sebesar 28,5%.

Data hasil penelitian kemudian dilakukan Uji Homogenitas untuk mengetahui apakah kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen) atau berbeda (heterogen). Selanjutnya hasil penelitian dilakukan Uji Sidik Ragam atau ANOVA untuk mengetahui apakah perlakuan berpengaruh secara signifikan atau tidak. Apabila hasil Uji Sidik Ragam menunjukkan bahwa pemberian perlakuan berpengaruh secara signifikan, maka akan dilakukan uji lanjutan. Adapun terdapat dua uji lanjutan yang dilakukan terhadap data hasil penelitian kadar BOD lindi hari ke-3 dan hari ke-7 perlakuan, sebagai berikut:

a. Uji Homogenitas

Hasil Uji Homogenitas kadar BOD lindi selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.4**, dan **Tabel 4.5**

Hasil uji homogenitas kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 4**

Tabel 4. 4 Uji Homogenitas kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.727	2	6	.089

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat diketahui bahwa nilai signifikansi homogenitas $0,089 > 0,05$ dengan *Levene Statistic* sebesar 3,727 menunjukkan bahwa kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen).

Hasil uji homogenitas kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 4**

Tabel 4. 5 Uji Homogenitas kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.457	2	6	.1

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat diketahui bahwa nilai signifikansi homogenitas $0,1 > 0,05$ dengan *Levene Statistic* sebesar 3,457 menunjukkan bahwa kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen).

b. Uji Sidik Ragam

Uji Sidik Ragam bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perlakuan yang diberikan. Hasil Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Tabel 4.7**. Hasil Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan disajikan **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 6 Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan

Sumber Keragaman (SK)	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}	
					5%	1%
Perlakuan	2	3700,66	1850,33	8,858	5,14	10,92
Galat	6	1253,33	208.889			
Total	8	4954				

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (8,858) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya hasil penelitian H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga perlu dilakukan uji lanjutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) berpengaruh sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap penurunan kadar BOD lindi. Hasil Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan disajikan **Tabel 4.6**.

Hasil Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan disajikan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Uji Sidik Ragam kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan

Sumber Keragaman (SK)	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}	
					5%	1%
Perlakuan	2	107344,88	53672,44	24,625	5,14	10,92
Galat	6	13077,33	2179,55			
Total	8	120422,22				

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (24,625) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya pada hasil penelitian H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga perlu dilakukan uji lanjutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) berpengaruh sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap penurunan kadar BOD

c. Uji Lanjutan

1. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil)

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Koefisien Keragaman (KK) kada BOD lindi selama perlakuan fitoremediasi hari ke-3 diperoleh nilai Koefisien Keragaman (KK) sebesar 2,93%. Nilai Koefisien Keragaman (KK) tersebut tergolong kategori sedang (kurang dari 10%) sehingga uji lanjutan yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui secara spesifik perbedaan antara perlakuan. Adapun hasil uji Beda Nyata Terkecil (BNT) kadar BOD lindi setelah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dapat dilihat pada **Tabel 4.8**

Tabel 4. 8 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3

Perlakuan	Rataan Hasil	Notasi
P0	518	b
P1	488,33	a
P2	468,67	a

Keterangan : Perbedaan notasi huruf menyatakan bahwa adanya perbedaan yang signifikan atau nyata antara perlakuan

Berdasarkan hasil uji BNT dengan taraf 5%, dapat diketahui bahwa fitoremediasi kadar BOD lindi dengan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) pada hari ke-3 perlakuan memiliki hasil yaitu, perlakuan P₀ berbeda nyata dengan perlakuan P₁ dan P₂, perlakuan P₁ berbeda nyata dengan perlakuan P₀, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₂, sedangkan perlakuan P₂ berbeda nyata dengan perlakuan P₀ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₁.

2. Uji Lanjutan Duncan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Koefisien Keragaman (KK) kada BOD lindi selama perlakuan fitoremediasi hari ke-7 diperoleh nilai Koefisien Keragaman (KK) sebesar 10,43%. Nilai Koefisien Keragaman (KK) tersebut tergolong kategori besar (minimal 10%) sehingga uji lanjutan yang digunakan adalah uji Duncan untuk mengetahui secara spesifik perbedaan antara perlakuan. Adapun hasil uji Duncan kadar BOD lindi setelah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dapat dilihat pada **Tabel 4.9**

Hasil Uji Duncan kadar BOD lindi hari ke-7 setelah perlakuan disajikan pada **Tabel 4.9**

Tabel 4. 9 Uji Duncan kadar BOD lindi perlakuan hari ke 7

Perlakuan	Rataan Hasil	Notasi
P0	602	b
P1	371,33	a
P2	369,33	a

Keterangan: Perbedaan notasi huruf menyatakan bahwa adanya perbedaan yang signifikan atau nyata antara perlakuan

Berdasarkan hasil uji Duncan, dapat diketahui bahwa fitoremediasi kadar BOD lindi dengan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) pada hari ke-7 perlakuan memiliki hasil yaitu, perlakuan P₀ berbeda nyata dengan perlakuan P₁ dan P₂, perlakuan P₁ berbeda nyata dengan perlakuan P₀, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₂, sedangkan perlakuan P₂ berbeda nyata dengan perlakuan P₀ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₁.

3. Fitoremediasi Bambu Air terhadap Kadar COD Lindi

Pada penelitian ini menggunakan menggunakan teknik fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman Bambu Air sebagai agen fitoremediasi lindi untuk menurunkan kadar COD. Adapun biomassa tanaman Bambu Air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0 gr atau tanpa bambu air (P₀), 750 gr Bambu Air (P₁), dan 1000 gr Bambu Air (P₂). Adanya perbedaan biomassa tersebut bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengaruh perbedaan biomassa tanaman Bambu Air dalam menurunkan kadar COD lindi TPA Jatibarang Semarang, serta mengetahui biomassa yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD lindi. Adapun data penurunan kadar COD lindi setelah diberikan perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air dapat dilihat pada **Tabel 4.10**, dan **Tabel 4.11**

Data pengukuran kadar COD lindi hari ke-3 setelah perlakuan disajikan pada **Tabel 4. 10**

Tabel 4. 10 Kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan

Perlakuan	Rataan Kadar Awal	Kadar Ulangan (mg/L)			Rataan Kadar Akhir	Persentase Penurunan (%)
		1	2	3		
P ₀	1280	1125	1125	1125	1125	12,1
P ₁	1280	1044	1064	1016	1074,66	18,64
P ₂	1280	990	1084	1032	1035,33	19,11

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki efektivitas dalam menurunkan kadar

COD pada hari ke-3 setelah perlakuan. Persentase penurunan kadar COD lindi dari yang paling tinggi hingga paling rendah secara berturut-turut yaitu P₂ sebesar 19,11% ; P₁ sebesar 18,64% ; dan P₀ sebesar 12,1 %.

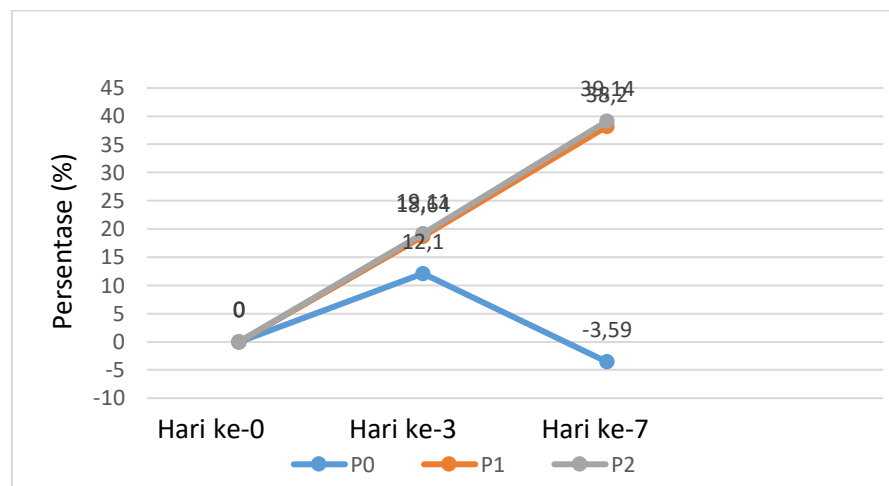
Data pengukuran kadar COD lindi hari ke-3 setelah perlakuan disajikan pada **Tabel 4. 11**

Tabel 4. 11 Kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan

Perlakuan	Rataan Kadar Awal	Kadar Ulangan (mg/L)			Rataan Kadar Akhir	Persentase Penurunan (%)
		1	2	3		
P ₀	1280	1326	1326	1326	1326	-3,59
P ₁	1280	851	760	762	791	38,2
P ₂	1280	634	780	923	779	39,14

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki efektivitas dalam menurunkan kadar COD pada hari ke-7 setelah perlakuan. Persentase penurunan kadar COD lindi dari yang paling tinggi hingga paling rendah secara berturut-turut yaitu P₂ sebesar 39,14% ; P₁ sebesar 38,2% ; dan P₀ sebesar -3,59 %.

Data perkembangan persentase penurunan kadar COD lindi TPA Jatibarang Semarang selama penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



Gambar 4. 2 Penurunan Kadar COD Lindi

Berdasarkan data hasil penelitian terdapat perbedaan penurunan kadar COD Lindi pada hari ke-3 dan ke-7. Pada hari ke-3 setelah perlakuan, persentase penurunan kadar COD lindi paling tinggi terjadi pada P₂ sebesar 19,11%. Hal yang sama terjadi pada hari ke-7 setelah perlakuan,

dimana P2 memiliki persentase penurunan kadar COD yang paling tinggi yaitu sebesar 39,14%.

Data hasil penelitian kemudian dilakukan Uji Homogenitas untuk mengetahui apakah kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen) atau berbeda (heterogen). Selanjutnya hasil penelitian dilakukan Uji Sidik Ragam atau ANOVA untuk mengetahui apakah perlakuan berpengaruh secara signifikan atau tidak. Apabila hasil Uji Sidik Ragam menunjukkan bahwa pemberian perlakuan berpengaruh secara signifikan, maka akan dilakukan uji lanjutan

a. Uji Homogenitas

Hasil Uji Homogenitas kadar BOD lindi selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dan **Tabel 4.13**

Hasil uji homogenitas kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 12**

Tabel 4. 12 Uji Homogenitas kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.337	2	6	.125

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat diketahui bahwa nilai signifikansi homogenitas $0,125 > 0,05$ dengan *Levene Statistic* sebesar 5,337 menunjukkan bahwa kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen).

Hasil uji homogenitas kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 13**

Tabel 4. 13 Uji Homogenitas kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.963	2	6	.127

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat diketahui bahwa nilai signifikansi homogenitas $0,127 > 0,05$ dengan *Levene Statistic* sebesar 2,963 menunjukkan bahwa kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki varians sama (homogen).

b. Uji Sidik Ragam

Uji Sidik Ragam bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perlakuan yang diberikan. Hasil Uji Sidik Ragam kadar COD lindi selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.14** dan **4.15**

Hasil uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 14**

Tabel 4. 14 Uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan

Sumber Keragaman (SK)	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F _{hitung}	F _{tabel}	
					5%	1%
Perlakuan	2	15076,22	7538,11	8,08	5,14	10,92
Galat	6	5597,33	932,88			
Total	8	20673,55				

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (8,08) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya pada hasil penelitian H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga perlu dilakukan uji lanjutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) berpengaruh sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap penurunan kadar COD hari ke-3 perlakuan.

Hasil uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4. 15**

Tabel 4. 15 Uji Sidik Ragam kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan

Sumber Keragaman (SK)	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F _{hitung}	F _{tabel}	
					5%	1%
Perlakuan	2	585578	292789	37,247	5,14	10,92
Galat	6	47164	7860,66			
Total	8	632742				

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (37,247) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya pada hasil penelitian H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga perlu dilakukan uji lanjutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) berpengaruh sebagai agen fitoremediasi lindi terhadap penurunan kadar COD hari ke-7 perlakuan.

c. Uji Lanjutan

1. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil) kadar COD lindi hari ke-3

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Koefisien Keragaman (KK) kada BOD lindi selama perlakuan fitoremediasi hari ke-3 diperoleh nilai Koefisien Keragaman (KK) sebesar 3,5%. Nilai Koefisien Keragaman (KK) tersebut tergolong kategori sedang (kurang dari 10%) sehingga uji lanjutan yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui secara spesifik perbedaan antara perlakuan. Adapun hasil uji Beda Nyata Terkecil (BNT) kadar BOD lindi setelah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

Tabel 4. 16 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3

Perlakuan	Rataan Hasil	Notasi
P0	1125	b
P1	1074,66	a
P2	1035,33	a

Keterangan: Perbedaan notasi huruf menyatakan bahwa adanya perbedaan yang signifikan atau nyata antara perlakuan

Berdasarkan hasil uji BNT dengan taraf 5%, dapat diketahui bahwa fitoremediasi kadar COD lindi dengan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) pada hari ke-3 perlakuan memiliki hasil yaitu, perlakuan P₀ berbeda nyata dengan perlakuan P₁ dan P₂, perlakuan P₁ berbeda nyata dengan perlakuan P₀, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₂, sedangkan perlakuan P₂ berbeda nyata dengan perlakuan P₀ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₁.

2. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil) kadar COD lindi hari ke-7

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Koefisien Keragaman (KK) kada BOD lindi selama perlakuan fitoremediasi hari ke-7 diperoleh nilai Koefisien Keragaman (KK) sebesar 3,9%. Nilai Koefisien Keragaman (KK) tersebut tergolong kategori sedang (kurang dari

10%) sehingga uji lanjutan yang digunakan adalah uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui secara spesifik perbedaan antara perlakuan. Adapun hasil uji Beda Nyata Terkecil (BNT) kadar BOD lindi setelah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dapat dilihat pada **Tabel 4.17**

Tabel 4. 17 Uji BNT kadar BOD lindi perlakuan hari ke-3

Perlakuan	Rataan Hasil	Notasi
P0	1326	b
P1	791	a
P2	779	a

Keterangan: Perbedaan notasi huruf menyatakan bahwa adanya perbedaan yang signifikan atau nyata antara perlakuan

Berdasarkan hasil uji BNT dengan taraf 5%, dapat diketahui bahwa fitoremediasi kadar COD lindi dengan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) pada hari ke-7 perlakuan memiliki hasil yaitu, perlakuan P₀ berbeda nyata dengan perlakuan P₁ dan P₂, perlakuan P₁ berbeda nyata dengan perlakuan P₀, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₂, sedangkan perlakuan P₂ berbeda nyata dengan perlakuan P₀ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P₁.

4. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai Implementasi Hasil Penelitian dalam Pembelajaran Biologi

Hasil penelitian ini akan diimplementasikan dalam pembelajaran Biologi SMA Kelas X Semester Genap materi Pencemaran Lingkungan melalui penyusunan LKPD berbasis praktikum yang terintegrasi model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Rancangan LKPD yang telah disusun sebelum diujicobakan perlu diukur kualitasnya melalui validasi oleh validator ahli media dan ahli materi. Hasil validasi LKPD dapat dilihat pada **Tabel 4. 18** dan **Tabel 4. 19**.

Adapun hasil validasi LKPD berbasis praktikum oleh ahli media dapat dilihat pada **Tabel 4. 18**

Tabel 4. 18 Hasil validasi LKPD oleh ahli media

Validator	Validasi 1 (%)	Validasi 2 (%)	Rata-rata (%)
1	91,67		91,67
2	97,91	-	97,91
Total			94,81

Berdasarkan data tersebut, diperoleh rata-rata akhir validasi oleh ahli media sebesar 94,81%. Nilai tersebut termasuk ke dalam kategori sangat valid, sehingga LKPD yang telah disusun layak untuk digunakan dalam pembelajaran biologi.

Adapun hasil validasi LKPD berbasis praktikum oleh ahli materi dapat dilihat pada **Tabel 4.19**

Tabel 4. 19 Hasil validasi LKPD oleh ahli materi

Validator	Validasi 1 (%)	Validasi 2 (%)	Rata-rata (%)
1	91,67	100	95,83
2	77,78	94,4	86,11
Total			90,97

Berdasarkan data tersebut, diperoleh rata-rata akhir validasi oleh ahli media sebesar 90,97%. Nilai tersebut termasuk ke dalam kategori sangat valid, sehingga LKPD yang telah disusun layak untuk digunakan dalam pembelajaran biologi.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh pembahasan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) lindi TPA Jatibarang Semarang yang telah melalui proses fitoremediasi menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*), sebagai berikut :

1. Fitoremediasi Bambu Air terhadap kadar BOD Lindi

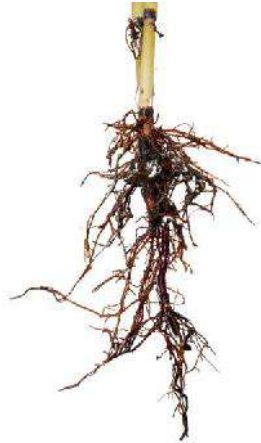
Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen terlarut didalam perairan yang digunakan oleh mikroba untuk mendegradasi atau menguraikan bahan organik dalam air (Rachman, 2022). Tingginya kadar BOD pada perairan dapat menjadi indikator banyaknya beban pencemar yang bersumber dari zat organik terlarut yang ada didalam perairan tersebut. Semakin tinggi kadar BOD yang terkandung dalam perairan, maka akan semakin buruk kualitas perairan

tersebut atau kondisi perairan tersebut tercemar. Sebaliknya, semakin rendah kadar BOD dalam suatu perairan maka semakin baik kualitas perairan tersebut. Kadar BOD lindi ditetapkan oleh data Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, dengan kadar maksimum BOD sebesar 150 mg/L. Tujuan pemeriksaan BOD ini untuk mengetahui kandungan oksigen terlarut dari limbah yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik secara aerobik. Terjadinya proses dekomposisi oleh mikroorganisme tersebutlah yang mengakibatkan warna air lindi menjadi cokelat kehitaman dan berbau tidak sedap.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan digunakan teknik fitoremediasi dengan beberapa biomassa tanaman bambu air. Adapun biomassa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0 gr atau tanpa bambu air (P₀), 750 gr Bambu Air (P₁), dan 1000 gr Bambu Air (P₂). Dari ketiga perlakuan tersebut dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) efektif dalam menurunkan kadar BOD lindi. Hal tersebut ditunjukkan dengan persentase penurunan kadar BOD lindi hari ke-3 sampai hari ke-7 mengalami tingkat efektivitas penurunan yang terus bertambah. Pada hari ke-3 perlakuan tingkat efektivitas penurunan kadar BOD lindi paling optimal pada perlakuan P₂ (1000 gr Bambu Air) sebesar 9,17% dengan rata-rata kadar awal 516 mg/L menjadi 468,66 mg/L pada rata-rata kadar akhir. Sedangkan pada hari ke-7 P₂ (1000 gr Bambu Air) memiliki tingkat efektivitas penurunan paling tinggi dan optimal selama 7 hari perlakuan penelitian yaitu sebesar 28,42% dengan rata-rata awal 516 mg/L menjadi 369,33 mg/L. Sedangkan perlakuan yang mempunyai tingkat efektivitas penurunan kadar BOD lindi paling buruk terjadi pada perlakuan P₀ (0 gr bambu air) hari ke-7 yaitu -16,67% dengan rata-rata kadar awal 516 mg/L menjadi 602 mg/L pada rata-rata akhir kadar BOD lindi. Berdasarkan hasil analisis uji sidik ragam kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan pada Tabel 4.6, dapat

diketahui bahwa $F_{hitung}(8,858) > F_{tabel}(5,14)$ pada perlakuan, artinya antara perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Kemudian secara spesifik dilakukan uji lanjutan berupa uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada tabel 4.8 yang menunjukkan bahwa rerata hasil kadar BOD perlakuan P_0 berbeda nyata dengan perlakuan P_1 dan P_2 , sedangkan perlakuan P_1 dan menunjukkan hasil rerata kadar BOD yang tidak berbeda nyata. Sedangkan hasil analisis uji analisis uji sidik ragam kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan pada Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa $F_{hitung}(8,858) > F_{tabel}(5,14)$ pada perlakuan, artinya antara perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Kemudian secara spesifik dilakukan uji lanjutan berupa uji Duncan karena nilai Koefisien Keragaman (KK) tergolong besar yaitu 10,43% pada tabel 4.9 yang menunjukkan bahwa rerata hasil kadar BOD perlakuan P_0 berbeda nyata dengan perlakuan P_1 dan P_2 , sedangkan perlakuan P_1 dan menunjukkan hasil rerata kadar BOD yang tidak berbeda nyata.

Berdasarkan data tersebut, terjadi tingkat efektivitas penurunan kadar BOD lindi selama penelitian. Hal tersebut disebabkan karena adanya proses penguraian bahan organik oleh bakteri aerob pada rhizosfer yang ada pada tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*). Adapun mekanisme dalam fitoremediasi BOD oleh tanaman bambu air antara lain Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*), Rhizodegradasi (*Rhizodegradation*), dan Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*). Pada mekanisme proses fitoremediasi oleh tanaman bambu air tersebut, sebagian besar penurunan zat polutan terjadi pada bagian akar tanaman. Hal tersebut dikarenakan akar tanaman mempunyai kontak langsung dengan sumber kontaminan dalam lindi. Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) mempunyai akar serabut dan panjang, sehingga luas permukaan kontak antara akar dan lindi akan semakin besar. Ketika suatu tanaman mempunyai akar serabut dan panjang, maka akan semakin besar dan luas pula area mikroorganisme pada zona rhizosfer untuk melekat (Triastianti, 2023)



Gambar 4. 3 Akar Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2024)

Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada penelitian dapat berkurang dikarenakan adanya mikroba rhizosfera pada akar yang dapat mengurai zat-zat kontaminan dengan cara menyerapnya dari perairan dan kemudian mengakumulasi bahan terlarut ke dalam struktur tubuhnya, sehingga semakin banyak tanaman Bambu Air maka semakin besar penurunan kadar BOD nya (Margowati & Abdullah, 2017). Selain itu, pada akar tanaman Bambu Air terdapat mikroorganisme sehingga dapat bersimbiosis untuk penguraian polutan bahan organik. Mikroba tersebut adalah mikroba rhizosfer, yang terletak di zona rhizosfer dan berfungsi untuk menguraikan zat organik yang ada pada air limbah. Mikroba rhizosfer ini memanfaatkan eksudat (cairan yang dikeluarkan akar mengandung asam amino dan protein) untuk berkembangbiak di area rhizosfer (Anggraini, 2022). Hasil penguraian tersebut nantinya akan mengalami reaksi biologi dan kemudian terakumulasi di batang tanaman hingga kedaun, dan kemudian menguap ke atmosfer dalam bentuk polutan yang kurang berbahaya (Febriningrum & Nur, 2021).

Selain akar, tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki batang yang mampu untuk menyerap partikel karena kandungan silikat nya yang tinggi. Batang tanaman Bambu Air berwarna hijau karena mengandung klorofil dan juga berperan sebagai organ fotosintesis untuk menggantikan peran daun pada tumbuhan. Sehingga pada batang tanaman Bambu Air

mampu untuk mengeluarkan oksigen yang berfungsi sebagai bahan untuk mendegradasi bahan organik yang terdapat pada lindi (Widyastuti et al., 2023).



Gambar 4. 4 Batang Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2024)

Menurut Mubarak et al., (2020); Riyanto, (2023) menyatakan bahwa tanaman Bambu Air memiliki kandungan silikat yang tinggi, berfungsi sebagai pengikat partikel polutan yang telah terserap oleh akar tanaman, silikat tersebut diperoleh dari serat-serat sklerenkim untuk mengikat kandungan bahan organik yang ada dalam polutan.

Berdasarkan data hasil penelitian, diperoleh perlakuan P1 dan P2 terdapat penurunan kadar BOD yang dipengaruhi oleh mekanisme fitoremediasi. Zat-zat polutan yang pada lindi akan diakumulasi oleh akar tanaman melalui proses Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*). Kemudian terjadi reaksi biologis dimana mikroba rhizosfera yang ada disekitar akar akan mengubah bahan organik yang ada dipolutan lindi tersebut menjadi senyawa sederhana lain seperti air dan karbondioksida proses ini disebut Rhizodegradasi (*Rhizodegradation*). Zat-zat polutan yang sudah tidak berbahaya kemudian dikeluarkan melalui proses transpirasi tanaman dalam bentuk CO₂ dan H₂O dalam proses Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*). Karbondioksida (CO₂) hasil degradasi bahan organik kemudian akan dimanfaatkan tumbuhan sebagai bahan awal untuk proses fotosintesis, CO₂ akan diproses selama fotosintesis dan menghasilkan

oksigen, oksigen inilah yang digunakan dan dimanfaatkan oleh bakteri aerob yang ada di limbah cair untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung didalamnya. Sehingga pada siklus fitoremediasi BOD oleh tanaman Bambu Air, oksigen hasil fotosintesis tanaman akan didistribusikan keseluruh bagian tanaman, termasuk ke akar. Dengan prinsip difusi, oksigen akan mengalir ke daun menuju batang tanaman dan akan menuju ke sistem perakaran tanaman. Oksigen dari hasil fotosintesis akan masuk ke air melalui akar tanaman untuk kemudian dimanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik menjadi senyawa sederhana lain (Marlany et al., 2023; Riyanto, 2023). Hal tersebut selajian dengan Marlany et al., (2023) yang menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis yang tinggi pada tanaman dapat menghasilkan produk berupa oksigen yang tinggi pula sehingga oksigen terlarut dalam limbah akan meningkat dan dapat memacu baik reaksi kimia maupun reaksi biologis yang terjadi pada limbah dalam menguraikan senyawa-senyawa pencemar.

Adapun mikroba rhizosfer pada tanaman bambu air yang berperan untuk mendegradasi bahan organik berupa senyawa hidrokarbon pada lindi antara lain *Pseudomonas*, *Staphylococcus aureus*, *Cellulomonas sp*, *Rhodococcus*, dan *Bacillus* (Mustamin et al., 2020). Mikroorganisme tersebut akan memanfaatkan ketersediaan oksigen yang ada di limbah dari hasil fotosintesis tanaman untuk dapat bekerja menguraikan atau mendegradasi bahan organik yang berupa senyawa hidrokarbon sebagai makanannya dan energi untuk pertumbuhan mikroorganisme tersebut. Senyawa hidrokarbon tersebut akan didegradasi oleh mikroba rhizosfer menjadi senyawa sederhana seperti karbondioksida dan air, karbondioksida tersebut nantinya digunakan sebagai bahan fotosintesis oleh tanaman. Sehingga terjadi hubungan yang saling menguntungkan antara hasil sisa degradasi bahan organik dengan tanaman. Ketika bahan organik sudah banyak yang terdegradasi maka akan berdampak semakin sedikitnya jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk

mendegradasi bahan organik. Hal tersebut dibuktikan dengan semakin menurunnya kadar BOD (Roni, 2020).

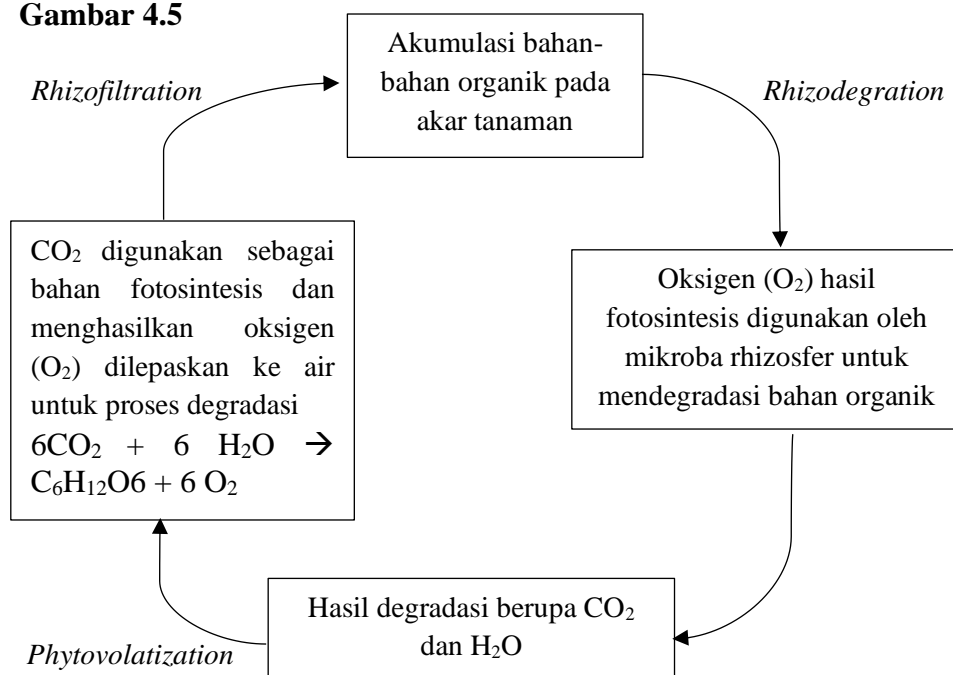
Pada lindi mengandung bahan organik berupa senyawa hidrokarbon. Adapun senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam lindi meliputi lemak ($C_3H_5(RCOO)_3$), protein ($RCHNH_2COOH$), dan karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) (Said & Hartaja, 2018). Lemak, protein, karbohidrat pada senyawa hidrokarbon yang terdapat pada bahan organik lindi berasal dari proses dekomposisi atau poses pembusukan sampah organik seperti sisa-sisa makanan, sisa buah dan sayur, dedaunan, kotoran hewan, dsb. Senyawa hidrokarbon kompleks tersebut yaitu lemak, protein, dan karbohidrat akan didegradasi oleh enzim seperti lipolitik, protease, dan cellulase yang dihasilkan oleh bakteri rhizosfer.

Untuk bahan organik yang mengandung senyawa hidrokarbon berupa lemak ($C_3H_5(RCOO)_3$), akan dipecah oleh bakteri lipolitik yaitu *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas sp.* dengan menghasilkan enzim lipase sehingga dapat mendegradasi lemak menjadi substrat yang lebih sederhana. Substrat inilah yang akan terhidrolisis menjadi asam piruvat. Asam piruvat ini akan masuk kedalam siklus krebs bakteri yang pada akhirnya akan dihasilkan produk berupa karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Fidiastuti & Suarsini, 2017). Sedangkan untuk degradasi senyawa hidrokarbon protein ($RCHNH_2COOH$) dipecah oleh bakteri proteolitik yaitu bakteri *Bacillus* dengan menghasilkan enzim protease untuk mendegradasi senyawa protein menjadi bahan anorganik berupa asam amino dan ammonia (NH_3), asam amino menjadi salah satu sumber pada proses sintesis protein pada tumbuhan, sebagai penyusun komponen yang ada pada tubuh tumbuhan. Sedangkan ammonia (NH_3) yang merupakan bahan anorganik nantinya akan melalui proses oksidasi hingga menghasilkan senyawa berupa nitrit dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas*, kemudian nitrit akan diubah kembali oleh bakteri *Nitrobacter* menjadi nitrat, nitrat inilah yang berfungsi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fitriana & Asri, 2021). Pada degradasi

senyawa hidrokarbon karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) mikroba rhizosfer yang berperan adalah bakteri *Cellulomonas sp.* yang merupakan golongan bakteri selulolitik yang menghasilkan enzim cellulase untuk memecah glukosa menjadi metana, air, dan karbondioksida (Khastini et al., 2022)

Penurunan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada perlakuan P_1 dan P_2 diakibatkan polutan yang ada di lindi sudah terdegradasi oleh tanaman bambu air selama proses fitoremediasi. Ketika bahan organik yang ada di limbah sudah terdegradasi atau terurai, maka mikroorganisme sudah tidak lagi membutuhkan oksigen dalam jumlah yang banyak untuk menguraikan atau mendekomposisi bahan organik yang terlarut dan tersuspensi dalam limbah cair tersebut. Sehingga jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik atau BOD kadarnya dapat berkurang (Hafidhin et al., 2023). Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Riyanto, (2023) bahwa jumlah dan aktivitas mikroorganisme mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai BOD. Siklus fitoremediasi BOD oleh tanaman Bambu Air disajikan pada

Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Siklus Fitoremediasi BOD oleh Tanaman Bambu Air

Sumber : Imaniar et al., (2022)

Tingginya kadar BOD yang terkandung dalam suatu perairan menyebabkan terjadinya hipoksia atau penurunan kadar oksigen, sehingga bakteri akan lebih mudah untuk berkembangbiak dan menimbulkan penyakit. Selain itu, tingginya kadar BOD dapat menunjukkan indikasi adanya kegiatan dekomposisi bahan organik yang tinggi dan semakin rendah kualitas air tersebut. Sehingga semakin mudah terjadinya pembusukan/ dekomposisi, maka nilai BOD akan semakin besar. Terjadinya proses dekomposisi oleh mikroorganisme tersebutlah yang mengakibatkan warna air limbah menjadi cokelat kehitaman. Air limbah domestik mengandung sampah padat beserta cair dengan memiliki sifat mengandung mikroorganisme, nilai oksigen terlarut kecil, ada kandungan organik menjadikan nilai BOD tinggi, dan memiliki zat padat mengapung di permukaan (Al Kholif et al., 2020)

Penurunan kadar BOD dalam teknik fitoremediasi dipengaruhi juga oleh kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi zat polutan. Tanaman Bambu Air bersifat hipertoleran dan hiperakumulator. Tanaman hiperakumulasi ini memiliki kapasitas untuk menyerap kontaminan, dalam hiperakumulasi polutan akan diserap oleh akar tanaman dan terkonsentrasi di jaringan tanaman atau terdekomposisi menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Silviana & Rachmadiarti, 2023). Menurut Silviana & Rachmadiarti, (2023); Widyasari, (2021) menyatakan bahwa tanaman hiperakumulator menyerap zat polutan tercemar melalui akar, kemudian ditranslokasikan kebagian sel tanaman tertentu untuk menjaga metabolisme tanaman. Sifat hiperakumulator yang dimiliki tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) didukung oleh adanya enzim yang berfungsi untuk mendegradasi zat polutan, enzim tersebut dikeluarkan oleh bakteri rhizosfer di daerah sekitar akar. Adapun enzim tersebut antara lain enzim lipase (menguraikan senyawa lemak menjadi asam piruvat), enzim protease (menguraikan senyawa protein menjadi asam lemak) dan selulase (menguraikan senyawa glukosamenjadi metana, air, dan karbondioksida). Pada tanaman Bambu Air ini juga mempunyai

sifat hipertoleran terhadap unsur logam, karena dapat mentoleransi logam berat dengan konsentrasi yang tinggi pada tajuk dan jaringan akarnya (Candra et al., 2019). Hal tersebut sejalan dengan penelitian Al Kholif (2020), bambu air mampu menyisihkan kadar kontaminasi dalam limbah domestik dengan waktu tinggal selama 5 hari dengan menyisihkan kadar BOD sebesar 95,43% pada limbah domestik. Hal tersebut didukung oleh penelitian Margowati & Abdullah, (2017) yang menyatakan bahwa bambu air mampu menurunkan kadar BOD pada limbah rumah tangga hingga mencapai 86.19%. Sifat hipertoleran pada tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) disebabkan karena adanya pola adaptasi yang dilakukan tanaman tersebut sebelum proses fitoremediasi. Tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) tidak secara langsung menyerap bahan organik yang terkandung dalam lindi, namun akan melakukan adaptasi terlebih dahulu dan memberikan kondisi yang mendukung terjadinya proses dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme. Adaptasi tersebut berupa proses aklimatisasi yang dilakukan selama kurang lebih satu minggu. Aklimatisasi ini merupakan tahapan adaptasi yang dilakukan pada tanaman dengan lingkungan baru yang dimasukinya. Indikator bambu air sudah melakukan adaptasi yaitu tanaman tersebut dapat bertahan hidup, tumbuh subur, tidak layu, dan tidak mati (Kholisah et al., 2022)

Pada penelitian yang telah dilakukan perlakuan P₂ yaitu 10 liter lindi dan 1000 gram bambu air, memiliki persentase efektivitas penurunan kadar BOD pada hari ke-7 yang paling tinggi sebesar 28,5%. Perlakuan P₁ dengan biomassa tanaman yang lebih sedikit cenderung memiliki persentase efektivitas penurunan kadar BOD yang lebih rendah daripada perlakuan P₂ yang memiliki biomassa tanaman lebih banyak. Hal tersebut disebabkan karena biomassa tanaman berpengaruh terhadap penurunan kadar BOD selama proses fitoremediasi, dimana semakin banyak tanaman maka semakin banyak pula produksi oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis sehingga meningkatkan kadar oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) yang ada di lindi. Aktivitas fotosintesis yang tinggi akan

menghasilkan oksigen yang tinggi. Produksi oksigen terlarut berlangsung melalui proses fotosintesis oleh komunitas autotrof, sedangkan konsumsi oksigen terlarut dilakukan oleh semua organisme melalui proses respirasi dan degradasi bahan-bahan organik dalam perairan. Ketersediaan oksigen terlarut akan semakin menurun seiring dengan konsumsi kebutuhan mikroorganisme untuk mendegradasikan bahan-bahan organik. Tanaman bambu air mensuplai oksigen kedalam air limbah melalui organ akar dan menambah jumlah oksigen dalam air limbah sehingga memacu kerja mikroorganisme dalam proses menguraikan kontaminan atau polutan organik (Kholisah et al., 2022; Riyanto, 2023). Selain itu waktu tinggal selama penelitian juga berpengaruh terhadap persentase efektivitas penurunan kadar BOD, dikarenakan waktu tinggal yang cukup akan memberikan kesempatan lebih baik antara limbah cair untuk berkontak langsung dengan mikroorganisme dan mengalami pengendapan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Kholisah et al., (2022) yang menyatakan efisiensi penyisihan kadar BOD terbesar terjadi pada hari ke-10 sampai hari ke-15 sebesar 79,10%.

Pada penelitian juga dilakukan pengukuran kadar oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) untuk mengetahui hubungannya dengan parameter yang diukur, dimana kadar oksigen terlarut ini yang nantinya mempengaruhi jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik. Kadar DO yang tinggi menyebabkan semakin cepat pula mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik pada lindi, sehingga kadar BOD dalam lindi dapat berkurang (Sugianti & Astuti, 2018). Hal tersebut sesuai dengan Mumtahanah et al., (2017) yang menyatakan bahwa mikroorganisme yang terdapat pada air membutuhkan sumber energi berupa unsur karbon yang diperoleh dari bahan organik untuk proses pertumbuhannya. Bahan organik tersebut akan diuraikan menjadi karbondioksida dan air. Karbondioksida akan dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis dengan hasil akhir oksigen, oksigen

inilah yang masuk ke air menjadi oksigen terlarut dan akan membantu mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik pada perairan yang tercemar.

Terdapat pula hubungan antara pH yang telah diukur terhadap kadar COD. Untuk nilai pH, semakin menurunnya nilai pH maka kadar COD akan menurun dan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena nilai pada pH dipengaruhi oleh adanya aktivitas penyerapan nutrient pada tanaman. Akar tanaman cenderung menyerap ion positif (H^+) dan akan mengeluarkan ion negatif berupa (OH^-). Ketika tanaman tersebut aktif dalam menyerap nutrisi atau bahan organik yang terkandung dalam lindi maka ion positif akan semakin banyak pula, dan hasil yang dikeluarkan dalam bentuk ion negatif (OH^-) juga akan semakin banyak. Sehingga nilai pH akan terus meningkat dan begitu pula sebaliknya (Marlany et al., 2023).

Selain DO dan pH, dilakukannya juga pengukuran suhu, dimana suhu sangat penting dan mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap aktivitas mikroorganisme dalam perairan, dimana semakin tinggi suhu maka akan menyebabkan kematian pada mikroorganisme aerob sehingga agen untuk medegradasi bahan organik yang ada pada limbah menjadi tidak ada (Marlany et al., 2023).

Berdasarkan hasil penelitian, diakhir masa penelitian kondisi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) kering, layu, dan kuning. Hal tersebut disebabkan tanaman bambu air telah mencapai ambang batasnya atau titik jenuh dalam mentoleransi penyerapan kadar zat polutan dalam lindi sehingga tanaman banyak yang mengalami kematian. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Roni, 2020) yang menyatakan tanaman mengalami perubahan yang sangat signifikan ketika berada di fase akhir fitoremediasi, dimana perubahan dari segi morfologi dan fisiologi sudah berbeda dari kondisi awalnya yang dikarenakan tanaman agen fitoremediator tersebut telah secara aktif menyerap zat pencemar yang ada di lingkungan dan berusaha untuk beradaptasi supaya tanaman tersebut

tetap hidup. Kondisi tanaman bambu air yang awalnya memiliki kondisi yang segar dan berwarna hijau, kemudian diakhir penelitian kondisinya sudah tidak segar lagi bahkan terdapat beberapa kematian tanaman. Hal ini membuktikan bahwa kandungan yang terdapat pada lindi dapat menyebabkan proses secara fisiologis dari tanaman bambu air dapat terganggu, sehingga menyebabkan kematian secara perlahan pada tanaman Bambu Air. Indikator perubahan kondisi fisiologis tersebut ditandai dengan mulai menguningnya dan mengering tanaman bambu air (Muryani & Widiarti, 2019).



Gambar 4. 6 Kondisi Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) pada Akhir Penelitian

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2024)

Pada penelitian yang telah dilakukan terjadi penurunan kadar BOD lindi terbesar yaitu 369,33 mg/L, kadar BOD tersebut masih melebihi baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk kadar paling tinggi BOD 150 mg/L. Pada penelitian yang dilakukan didapatkan persentase efektivitas penurunan kadar BOD sebesar 28,42%. Pada penelitian terdahulu bambu air mampu menyisihkan kadar kontaminasi dalam limbah domestik dengan waktu tinggal selama 5 hari sebesar 95,43%, kemudian penelitian Kholisah et al., (2022) yang menyatakan efisiensi penyisihan kadar BOD dalam limbah cair tahu

terbesar terjadi pada hari ke-10 sampai hari ke-15 sebesar 79,10%. Perbedaan tersebut disebabkan karena karakteristik limbah yang digunakan, dimana limbah air lindi mempunyai sifat yang lebih kuat dan berbahaya dari limbah domestik dan limbah cair tahu. Limbah air lindi ini sangat berbahaya karena konsentrasi kandungan bahan organik yang sangat tinggi terbentuk akibat proses dekomposisi sampah oleh mikroorganisme sehingga mengeluarkan cairan yang hitam dan pekat (Muna, 2023). Selain itu didalam lindi mengandung zat tersuspensi yang sangat halus dan didalamnya mengandung pathogen (Muna, 2023; Peng, 2017). Hal tersebut sejalan dengan Selvam et al., (2017) yang mengatakan bahwa lindi pada TPA mengandung banyak bahan kimia seperti fosfat yang berlebih, nitrat dan bahan organik lainnya. Selain itu juga terdapat logam berat seperti Pb, Zn, Fe, Cu, dan Cd yang dapat menyebabkan toksisitas terhadap lingkungan, flora, dan fauna. Kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi dapat mengganggu kesehatan dan keseimbangan lingkungan (Pangestu et al., 2021). Adapun kandungan BOD pada perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, pH, kadar DO, densitas plankton, keberadaan mikroorganisme, kandungan bahan organik yang terlarut, konsentrasi perairan/limbah (Ilmannafian et al., 2020)

2. Fitoremediasi Bambu Air terhadap kadar COD Lindi

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik dan mengoksidasi secara kimia bahan anorganik, COD ini diukur berdasarkan hasil jumlah konsumsi oksigen saat terjadinya reaksi biologi dan kimia (Bermuli et al., 2023; Pramesti & Yuniningsih, 2023). Hal tersebut didukung oleh pernyataan (Suhari & Pujiastuti, 2020) bahwa angka COD mengukur zat-zat yang bersifat *biodegradable* yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme, dan zat *non biodegradable* yang dapat dioksidasi secara kimia. Menurut Ristiyanto (2020) COD dapat dijadikan indikator dalam mengidentifikasi pencemaran yang terjadi di perairan oleh senyawa-

senyawa kimia berupa polutan industri, bahan kimia beracun, bahan organik dan bahan anorganik (bahan organik yang sulit untuk diuraikan secara biologis), semakin tinggi COD yang terkandung dalam air berarti semakin buruk kualitas perairan tersebut. Sehingga nilai COD akan meningkat seiring dengan semakin banyaknya kandungan bahan organik yang terdapat dalam perairan. Nilai COD akan selalu lebih tinggi daripada nilai BOD, hal tersebut dikarenakan COD mengukur seluruh jumlah oksigen yang akan digunakan untuk menguraikan bahan organik dan mengoksidasi bahan anorganik yang terkandung didalam limbah, sedangkan BOD hanya mengukur jumlah oksigen untuk menguraikan bahan organik saja (A. Y. Putra & Yulia, 2019). Hal tersebut didukung oleh pernyataan Hasanah et al., (2023) bahwa nilai COD akan lebih tinggi daripada nilai BOD, tetapi bisa jadi nilai COD dan BOD sama besar, namun nilai BOD tidak bisa lebih besar daripada COD.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan digunakan teknik fitoremediasi dengan beberapa biomassa tanaman bambu air. Adapun biomassa tanaman Bambu Air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0 gr atau tanpa Bambu Air (P₀), 750 gr Bambu Air (P₁), dan 1000 gr Bambu Air (P₂). Dari ketiga perlakuan tersebut dapat diketahui bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) efektif dalam menurunkan kadar COD lindi. Hal tersebut ditunjukkan dengan persentase penurunan kadar COD lindi hari ke-3 sampai hari ke-7 mengalami tingkat efektivitas penurunan yang terus bertambah. Pada hari ke-3 perlakuan tingkat efektivitas penurunan kadar COD lindi paling optimal pada perlakuan P₂ (1000 gr Bambu Air) sebesar 19,11% dengan rata-rata kadar awal 1280 mg/L menjadi 1035,33 mg/L pada rata-rata kadar akhir. Sedangkan pada hari ke-7 P₂ (1000 gr Bambu Air) memiliki tingkat efektivitas penurunan paling tinggi dan optimal selama 7 hari perlakuan penelitian yaitu sebesar 39,14% dengan rata-rata awal 1280 mg/L menjadi 779 mg/L. Sedangkan perlakuan yang mempunyai tingkat efektivitas penurunan kadar COD lindi paling rendah terjadi pada perlakuan P₀ (0 gr Bambu Air) hari ke-7 yaitu -3,59%

dengan rata-rata kadar awal 1280 mg/L naik menjadi 1326 mg/L pada rata-rata akhir kadar COD lindi.

Berdasarkan hasil analisis uji sidik ragam kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan pada Tabel 4.14, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (8,08) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya antara perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Kemudian secara spesifik dilakukan uji lanjutan berupa uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada tabel 4.16 yang menunjukkan bahwa rerata hasil kadar COD perlakuan P_0 berbeda nyata dengan perlakuan P_1 dan P_2 , sedangkan perlakuan P_1 dan P_2 menunjukkan hasil rerata kadar BOD yang tidak berbeda nyata. Sedangkan hasil analisis uji analisis uji sidik ragam kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan pada Tabel 4.15, dapat diketahui bahwa $F_{hitung} (37,247) > F_{tabel} (5,14)$ pada perlakuan, artinya antara perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Kemudian secara spesifik dilakukan uji lanjutan berupa uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada tabel 4.17 yang menunjukkan bahwa rerata hasil kadar COD perlakuan P_0 berbeda nyata dengan perlakuan P_1 dan P_2 , sedangkan perlakuan P_1 dan P_2 menunjukkan hasil rerata kadar BOD yang tidak berbeda nyata.

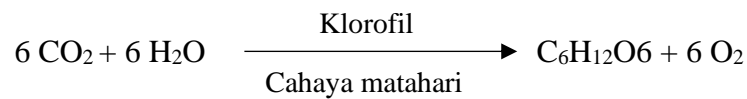
Berdasarkan data tersebut, terjadi tingkat efektivitas penurunan kadar COD lindi selama penelitian. Hal tersebut disebabkan karena adanya proses fitoremediasi yang dilakukan oleh tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) melalui mekanisme dalam fitoremediasi antara lain Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*), Rhizodegradasi (*Rhizodegradation*), Fitostabilisasi (*Phytostabilization*), dan Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*). Selain itu, terdapat juga proses oksidasi secara kimia antara oksigen yang dihasilkan tumbuhan dengan bahan anorganik yang terdapat pada limbah cair lindi. Sedangkan limbah organik akan didegradasi oleh mikroba rhizosfer yang ada di sekitar akar. Pada mekanisme proses fitoremediasi oleh tanaman bambu air tersebut, sebagian besar penurunan zat polutan terjadi pada bagian akar tanaman. Hal tersebut dikarenakan akar tanaman mempunyai kontak langsung dengan sumber kontaminan dalam lindi. Tanaman Bambu

Air (*Equisetum hyemale*) mempunyai akar serabut dan panjang, sehingga luas permukaan kontak antara akar dan lindi akan semakin besar.

Kemampuan bambu air sebagai fitoremediator dikarenakan adanya mikroba rhizosfera pada akar yang dapat mengurai zat-zat kontaminan dengan cara menyerapnya dari perairan dan kemudian mengakumulasi bahan terlarut ke dalam struktur tubuhnya, sehingga semakin banyak tanaman bambu air maka semakin besar penurunan kadar COD nya (Margowati & Abdullah, 2017). Selain itu, pada akar tanaman bambu air terdapat mikroorganisme sehingga dapat bersimbiosis untuk penguraian polutan bahan organik. Mikroba tersebut adalah mikroba rhizosfer, yang berfungsi untuk menguraikan zat organik yang ada pada air limbah. Hasil penguraian tersebut nantinya akan mengalami reaksi biologi dan kemudian terakumulasi di batang tanaman hingga kedaun, dan kemudian menguap ke atmosfer dalam bentuk polutan yang kurang berbahaya (Febriningrum & Nur, 2021). Selain akar tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki batang yang mampu untuk menyerap partikel karena kandungan silikat nya yang tinggi. Menurut Mubarak et al., (2020); Riyanto, (2023) menyatakan bahwa tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) memiliki kandungan silikat yang tinggi, berfungsi sebagai pengikat partikel polutan yang telah terserap oleh akar tanaman, silikat tersebut diperoleh dari serat-serat sklerenkim untuk mengikat kandungan bahan organik yang ada dalam polutan.

Berdasarkan data hasil penelitian, diperoleh perlakuan P1 dan P2 terdapat penurunan kadar COD yang dipengaruhi oleh mekanisme fitoremediasi dengan penguraian bahan organik yang terdapat pada limbah oleh mikroorganisme yang terdapat pada akar atau mikroba rhizosfer dan proses oksidasi secara kimia pada bahan anorganik. Menurut Sasmitamihardja & Siregar, (1996) menyatakan bahwa salah satu produk yang dihasilkan tumbuhan pada proses fotosintesis yaitu oksigen (O_2), oksigen ini dihasilkan dengan mengubah karbondioksida dan air dengan

bantuan cahaya matahari pada tumbuhan yang mempunyai pigmen klorofil. Adapun persamaan reaksi kimia pada fotosintesis sebagai berikut:



Sumber : Sasmitamihardja & Siregar, (1996)

Oksigen yang dihasilkan sebagai produk fotosintesis tumbuhan agen fitoremediasi akan digunakan untuk bahan pada reaksi kimia oksidasi untuk mendegradasi bahan anorganik menjadi senyawa yang sederhana dan kurang berbahaya sehingga dapat dimanfaatkan kembali oleh tumbuhan. Adapun proses reaksi kimia oksidasi untuk mendegradasi bahan anorganik, sebagai berikut:



Sumber: (Novela & Dewata, 2019)

Penurunan kadar COD pada penelitian juga karena adanya proses degradasi dan reaksi oksidasi secara kimia dan fitoremediasi, dimana zat-zat polutan atau bahan organik dan bahan anorganik pada lindi akan diakumulasikan oleh akar tanaman melalui proses *Rhizofiltrasi* (*Rhizofiltration*). Kemudian terjadi reaksi biologis dimana mikroba rhizosfera yang ada disekitar akar akan mengubah bahan organik yang ada dipolutan lindi tersebut menjadi senyawa sederhana lain seperti air dan karbondioksida. Sedangkan untuk bahan anorganik akan melalui reaksi oksidasi secara kimiawi dengan bantuan oksigen dari hasil fotosintesis menjadi senyawa sederhana yang kurang berbahaya dan dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangan, proses tersebut disebut *Rhizodegradasi* (*Rhizodegradation*). Proses selanjutnya yaitu *Fitostabilisasi* (*Phytostabilization*), dimana senyawa polutan yang kurang berbahaya tersebut di transformasikan ke jaringan tumbuhan baik batang maupun daun. Zat-zat polutan yang sudah tidak berbahaya kemudian dikeluarkan melalui proses transpirasi tanaman dalam bentuk CO_2 dan H_2O dalam proses *Fitovolatilisasi* (*Phytovolatilization*). Karbondioksida

(CO₂) hasil degradasi bahan organik dan bahan anorganik kemudian akan dimanfaatkan tumbuhan sebagai bahan awal untuk proses fotosintesis, karbondioksida (CO₂) akan diproses selama fotosintesis dan menghasilkan oksigen, oksigen inilah yang digunakan dan dimanfaatkan untuk mikroorganisme pada proses biologis dan dimanfaatkan juga sebagai oksidator dalam proses oksidasi secara kimiawi untuk mendegradasi bahan anorganik. Sehingga pada siklus fitoremediasi COD oleh tanaman bambu air, oksigen hasil fotosintesis tanaman akan didistribusikan keseluruhan bagian tanaman, termasuk ke akar. Dengan prinsip difusi, oksigen akan mengalir ke daun menuju batang tanaman dan akan menuju ke sistem perakaran tanaman. Oksigen dari hasil fotosintesis akan masuk ke air melalui akar tanaman untuk kemudian dimanfaatkan mikroorganisme sebagai energi untuk mendegradasi bahan organik menjadi senyawa sederhana lain dan digunakan untuk proses oksidasi secara kimia pada bahan anorganik (Marlany et al., 2023; Riyanto, 2023). Hal tersebut sejalan dengan Marlany et al., (2023) yang menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis yang tinggi pada tanaman dapat menghasilkan produk berupa oksigen yang tinggi pula sehingga oksigen terlarut dalam limbah akan meningkat dan dapat memacu baik reaksi kimia maupun reaksi biologis yang terjadi pada limbah dalam menguraikan senyawa-senyawa pencemar.

Penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada perlakuan P₁ dan P₂ diakibatkan polutan yang ada di lindi yang berupa bahan organik sudah terdegradasi oleh mikroba rhizosfer dan bahan anorganik sudah teroksidasi secara kimiawi oleh tanaman bambu air selama proses fitoremediasi. Ketika bahan organik yang ada di limbah sudah terdegradasi atau terurai dan bahan anorganik sudah teroksidasi, maka sudah tidak ada lagi reaksi biologis dengan mikroorganisme dan reaksi kimia pada proses oksidasi yang membutuhkan oksigen untuk menguraikan atau mendekomposisi bahan organik dan bahan anorganik yang terlarut dan tersuspensi dalam limbah cair tersebut. Sehingga jumlah oksigen yang

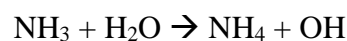
dibutuhkan untuk mendegradasi bahan organik dan mengoksidasi secara kimia pada bahan anorganik atau COD kadar nya dapat berkurang.

Pada lindi mengandung bahan organik berupa senyawa hidrokarbon. Adapun senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam lindi meliputi lemak ($C_3H_5(RCOO)_3$), protein ($RCHNH_2COOH$), dan karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) (Said & Hartaja, 2018). Lemak, protein, karbohidrat pada senyawa hidrokarbon yang terdapat pada bahan organik lindi berasal dari proses dekomposisi atau poses pembusukan sampah organik seperti sisa-sisa makanan, sisa buah dan sayur, dedaunan, kotoran hewan, dsb. Senyawa hidrokarbon kompleks tersebut yaitu lemak, protein, dan karbohidrat akan didegradasi oleh enzim seperti lipolitik, protease, dan cellulase yang dihasilkan oleh bakteri rhizosfer Untuk bahan organik yang mengandung senyawa hidrokarbon berupa lemak ($C_3H_5(RCOO)_3$), akan dipecah oleh bakteri lipolitik yaitu *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas sp.* dengan menghasilkan enzim lipase sehingga dapat mendegradasi lemak menjadi substrat yang lebih sederhana. Substrat inilah yang akan terhidrolisis menjadi asam piruvat. Asam piruvat ini akan masuk kedalam siklus krebs bakteri yang pada akhirnya akan dihasilkan produk berupa karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Fidiastuti & Suarsini, 2017). Sedangkan untuk degradasi senyawa hidrokarbon protein ($RCHNH_2COOH$) dipecah oleh bakteri proteolitik yaitu bakteri *Bacillus* dengan menghasilkan enzim protease untuk mendegradasi senyawa protein menjadi bahan anorganik berupa asam lemak dan ammonia (NH_3), asam lemak menjadi salah satu sumber energi pada proses respirasi dengan produk berupa karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Sedangkan ammonia (NH_3) yang merupakan bahan anorganik nantinya akan melalui proses oksidasi hingga menghasilkan senyawa berupa nitrit dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas*, kemudian nitrit akan diubah kembali oleh bakteri *Nitrobacter* menjadi nitrat, nitrat inilah yang berfungsi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fitriana & Asri, 2021). Pada degradasi senyawa hidrokarbon karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) mikroba rhizosfer yang

berperan adalah bakteri *Cellulomonas sp.* yang merupakan golongan bakteri selulolitik yang menghasilkan enzim cellulase untuk memecah glukosa menjadi metana, air, dan karbondioksida (Khastini et al., 2022)

Pada lindi, terdapat juga bahan anorganik, dimana bahan anorganik ini sulit untuk terdegradasi dengan reaksi biologis maka diperlukannya oksidator berupa oksigen maupun senyawa lain untuk mendegradasi bahan anorganik tersebut dalam proses oksidasi secara kimia. Adapun bahan anorganik yang terkandung dalam lindi meliputi ammonia, kalium, fosfat, kalsium, magnesium, dan senyawa logam berat lainnya seperti besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu), dan cadmium (Cd). Pada bahan anorganik yang terkandung pada lindi berupa senyawa ammonia berasal dari proses penguraian, pelapukan, dan dekomposisi tumbuhan dan sisa organisme mati yang ada di sampah (Pay et al., 2021; Ramadhan & Yusanti, 2020). Menurut Satria et al., (2019) menyatakan bahwa ammonia merupakan bentuk dari nitrogen yang ada pada limbah, pada kondisi aerobik ammonia akan diubah menjadi nitrat dengan melalui beberapa proses, kemudian nitrat tersebut akan dimanfaatkan oleh tumbuhan. Dalam proses penguraian, ammonia (NH₃) akan bereaksi dengan air menjadi ammonium (NH₄), ammonium inilah yang nantinya akan dioksidasi menjadi bentuk nitrit (NO₂) dan nitrat (NO₃). Adapun reaksi oksidasi secara kimia penguraian ammonia pada limbah cair lindi menurut (Ivontianti et al., 2022) sebagai berikut :

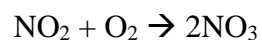
1. Ammonia menjadi ammonium



2. Ammonium menjadi nitrit



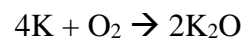
3. Nitrit menjadi nitrat



Nitrat (NO₃) inilah yang akan ditranslokasikan ke tumbuhan untuk proses pertumbuhan dan perkembangan. Menurut (Wibowo et al., 2020) nitrat merupakan salah satu nutrisi yang esensial untuk pertumbuhan dan

perkembangan tanaman. Nitrat ini dibutuhkan oleh tanaman untuk memperbaiki jaringan tubuh yang rusak, pembentukan klorofil, protoplasma, protein, dan asam nukleat pada jaringan tanaman.

Kalium merupakan salah satu bahan anorganik pada limbah cair lindi yang terbentuk akibat hasil dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dalam tumpukan bahan kompos, tingginya kalium pada limbah disebabkan dari terbentuknya asam organik seperti asam asetat, asam format, dan asam propionate selama penguraian (Akbari et al., 2022). Adapun proses penguraian kalium dalam proses oksidasi secara kimia sebagai berikut :



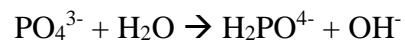
Sumber: Tri Andini & Dewati, (2020)

Hasil proses oksidasi kalium secara kimia dengan bantuan oksigen menghasilkan kalium oksida. Menurut (Oktrisna et al., 2017) kalium oksida (K_2O) mempunyai peranan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti media transportasi (translokasi) pembawa hara dan aktivator dari enzim selama metabolisme karena mengandung ion K. Kalium oksida sangat esensial dalam proses sintesis protein tanaman, pemecahan karbohidrat, meningkatkan daya tahan tanaman terhadap iklim yang tidak menguntungkan, dan membantu tanaman dalam menjaga keseimbangan ion ditubuh tanaman (Alhanif et al., 2023)

Kandungan fosfat dalam lindi sebagai bahan anorganik berasal dari kemasan deterjen, kemasan produk pertanian seperti botol pestisida dan kantong pupuk, limbah tanaman seperti batang pohon maupun dedaunan, dan sisa sayuran atau buah. Menurut (Apriyani, 2017) fosfat dalam perairan tidak memiliki daya racun, tetapi tingginya kadar fosfat dalam perairan menyebabkan tingginya unsur hara sehingga terjadi eutrofikasi, dimana terjadinya ledakan pertumbuhan air yang menyebabkan sedikitnya kandungan oksigen dalam perairan. Ketika oksigen dalam perairan tersebut kadarnya sedikit maka akan menghambat penguraian secara biologis dan berpotensi mencemari lingkungan. Fosfat pada limbah

umumnya berbentuk PO_4^{3-} , dimana bentuk tersebut sulit untuk diserap oleh tanaman. Sehingga perlu diubah dalam bentuk ion ortofosfat primer (H_2PO_4^-) atau ortofosfat sekunder (HPO_4^{2-}) (Rahmawati et al., 2016). Menurut (Hidayat et al., 2018) proses reaksi oksidasi fosfat (PO_4^{3-}) menjadi ion ortofosfat primer (H_2PO_4^-) atau ortofosfat sekunder (HPO_4^{2-}), sebagai berikut :

1. Fosfat menjadi ortofosfat primer



2. Ortofosfat primer menjadi ortofosfat sekunder



Kandungan fosfat pada tanaman dalam bentuk ion ortofosfat primer (H_2PO_4^-) atau ortofosfat sekunder (HPO_4^{2-}) sangat penting bagi pertumbuhan tanaman sebagai transfer dan penyimpanan energi, berperan pada pembelahan sel, membantu proses perkembangan perkecambahan dan merangsang pertumbuhan akar tanaman (Lesmana et al., 2023)

Selain ammonia, kalium, dan fosfat bahan anorganik yang terdapat pada lindi yang selanjutnya adalah kalsium. Pada lindi terdapat kandungan bahan anorganik kalsium dalam bentuk kalsium karbonat (CaCO_3) yang berasal dari sampah tulang ikan, cangkang kerang, dan cangkang telur (Handayani & Syahputra, 2017; Prakoso & Udjiana, 2023). Adapun reaksi oksidasi kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai berikut :

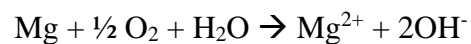


Sumber : Hariyanto et al., (2020)

Hasil oksidasi kalsium karbonat (CaCO_3) berupa ion Ca^{2+} akan dimanfaatkan tanaman untuk merangsang pertumbuhan akar, sehingga memaksimalkan penyerapan nutrisi melalui akar (Haseda et al., 2021). Selain itu, kalsium pada tanaman termasuk kedalam unsur hara makro, dimana unsur hara makro ini berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti mensintesis asam amino dan protein, merangsang pembelahan sel tanaman, memperkuat batang pada tanaman,

serta sebagai pertahanan tanaman dalam serangan penyakit (Fitria et al., 2018; Rahmayanti, 2020).

Magnesium pada air lindi berasal dari sampah kulit buah-buahan, kulit kedelai-kacang, daun, ampas kopi, dan kertas atau karton (Bachtiar et al., 2018; R. A. Putra et al., 2021; Putri et al., 2022). Menurut (Neneng & Saraswati, 2019). Menurut Jeksen & Mutiara, (2017) menyatakan bahwa magnesium dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk Mg^{2+} , sedangkan yang terdapat pada limbah lindi magnesium berbentuk Mg. Maka magnesium pada limbah dalam bentuk harus diubah bentuknya menjadi Mg^{2+} dalam proses kimia oksidasi agar tidak berpotensi mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Adapun reaksi oksidasi magnesium sebagai berikut :



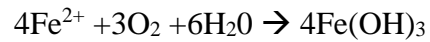
Sumber: (Amrulloh et al., 2016)

Menurut Neneng & Saraswati, (2019) menyatakan bahwa magnesium dalam bentuk Mg^{2+} merupakan bagian dari klorofil tumbuhan yang tidak dapat digantikan oleh unsur lain. Sehingga apabila tanaman kekurangan zat ini akan mengakibatkan klorosis dan tampak bercak-bercak berwarna coklat, dimana gejala-gejalanya akan tampak pada bagian permukaan daun bawah. Selain berperan penting dalam pembentukan zat hijau daun atau klorofil, magnesium berperan dalam aktivasi enzim yang terlibat selama proses respirasi, fotosintesis, dan sintesis DNA dan RNA pada tanaman (Rasyidah & Manalu, 2022)

Menurut Karamina et al., (2021; Nofiyanto et al., (2019) pada lindi mengandung bahan anorganik logam berat seperti besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan cadmium (Cd). Kandungan logam berat pada lindi tersebut berasal dari berbagai jenis sampah seperti sampah alat-alat elektronik, baterai, cat, kaleng, pipa, alat listrik, penggunaan pupuk, emisi industri, dan komponen-komponen lainnya dari bangunan (Febrianto & Buchari, 2024; Puspitarini et al., 2023; Sari & Afdal, 2017). Adapun

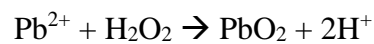
persamaan reaksi oksidasi kimia dari logam berat pada limbah sebagai berikut :

1. Besi (Fe^{2+}) menjadi Ferihidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)



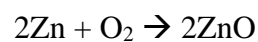
Sumber : Situmorang, (2016)

2. Timbal (Pb^{2+}) menjadi Timbal dioksida (PbO_2)



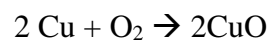
Sumber : Patmawati et al., (2023)

3. Seng (Zn) menjadi Seng oksida (ZnO)



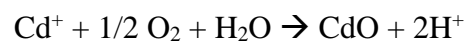
Sumber : Larasati et al., (2017)

4. Tembaga (Cu) menjadi Cupri oksida (CuO)



Sumber : Anami et al., (2020)

5. Cadmium (Cd) menjadi Kadmium oksida (CdO)

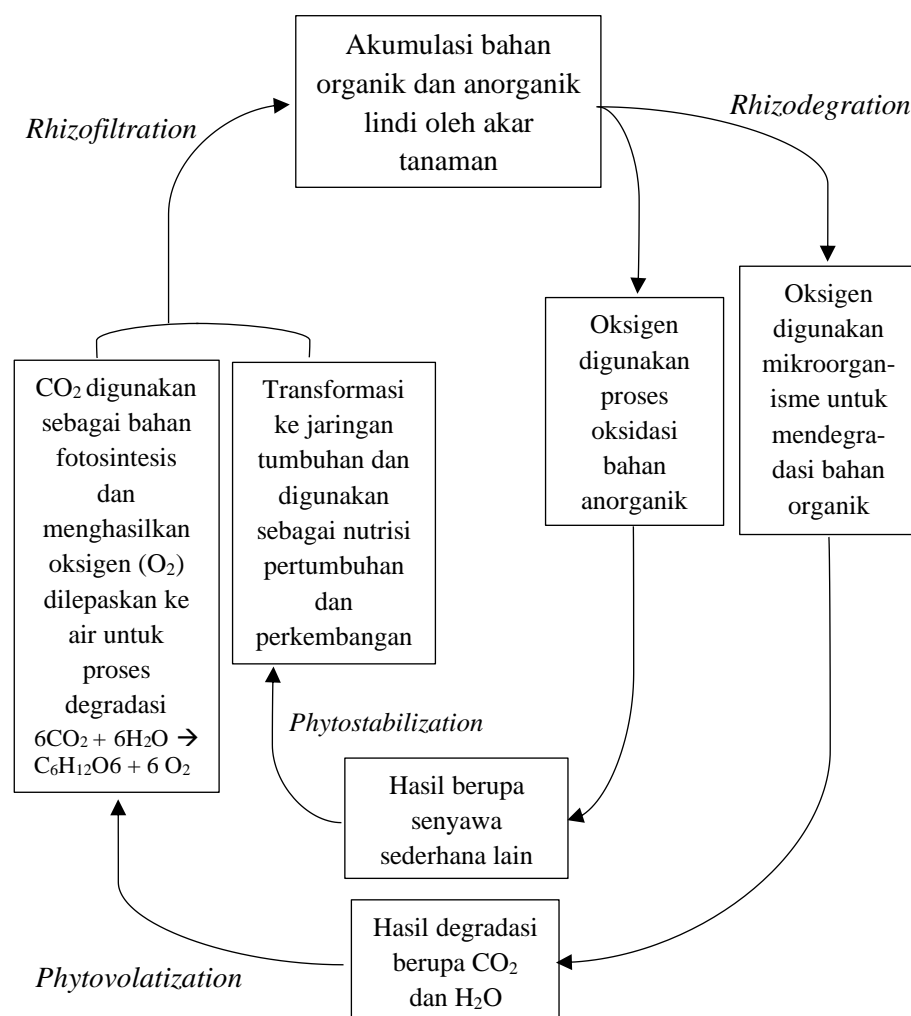


Sumber : Ulfa, (2018)

Pada logam berat yang telah mengalami reaksi oksidasi secara kimia dengan bantuan oksigen yang dilepaskan tumbuhan pada mekanisme fitoremediasi, kandungan toksisitas logam berat pada lindi dapat menurun. Hal tersebut disebabkan karena terjadi perubahan struktur kimia pada logam berat saat proses oksidasi sehingga membentuk oksida yang lebih stabil dan kurang reaktif (Aryanti, 2020). Menurut Haviz et al., (2021); Neneng & Saraswati, (2019) menyatakan bahwa perubahan struktur kimia yang terjadi pada logam berat dapat mengurangi kemampuan logam berat dalam imobilisasi, sehingga kemampuan bergerak untuk mencemari lingkungan melalui tanah dan air tanah dapat berkurang. Kandungan logam berat yang sudah stabil dan toksisitasnya sudah berkurang, akan ditransformasikan kedalam tubuh tanaman menjadi mikronutrien bagi tanaman yang diperlukan pada proses fisiologis dan biokimia didalam tanaman seperti tembaga berperan penting dalam pembentukan lignin

untuk memperkuat dinding sel, seng berperan dalam stabilitas membran sel, besi terlibat dalam transportasi elektron selama proses fotosintesis dan respirasi, serta logam berat dalam bentuk stabil lainnya dapat berinteraksi dengan mikroba rhizosfer untuk meningkatkan aktivitas mikroba disekitar akar tersebut (Khasanah et al., 2021)

Siklus fitoremediasi COD oleh tanaman bambu air disajikan pada **Gambar 4.7** sebagai berikut:



Gambar 4.7 Siklus Fitoremediasi COD oleh Tanaman Bambu Air

Sumber : Sholehah et al., (2022)

Sedikitnya kandungan COD yang ada pada perairan, maka menandakan jumlah konsumsi oksigen saat terjadi reaksi kimia juga semakin sedikit (Bermuli et al., 2023). Hal tersebut sejalan dengan

pernyataan Muryani & Widiarti, (2019) bahwa jumlah oksigen untuk reaksi oksidasi dalam mendegradasi bahan organik mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai COD. Tingginya kadar COD yang terkandung dalam lindi mengindikasikan bahwa limbah tersebut mengandung bahan organik yang tinggi berasal dari hasil dekomposisi timbunan sampah. Hal tersebut sejalan dengan Ristiyanto (2020) yang menyatakan bahwa COD dapat dijadikan indikator dalam mengidentifikasi pencemaran yang terjadi di perairan oleh senyawa-senyawa kimia berupa polutan industri, bahan kimia beracun, dan bahan organik yang sulit untuk diuraikan secara biologis, semakin tinggi COD yang terkandung dalam air berarti semakin buruk kualitas perairan tersebut.

Penurunan kadar COD dalam teknik fitoremediasi dipengaruhi juga oleh kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi zat polutan. Tanaman Bambu Air bersifat hipertoleran dan hiperakumulator. Tanaman hiperakumulator ini memiliki kapasitas untuk menyerap kontaminan, dalam hiperakumulasi polutan akan diserap oleh akar tanaman dan terkonsentrasi di jaringan tanaman atau terdekomposisi menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Silviana & Rachmadiarti, 2023). Menurut Silviana & Rachmadiarti, (2023); Widyasari, (2021) menyatakan bahwa tanaman hiperakumulator menyerap zat polutan tercemar melalui akar, kemudian ditranslokasikan kebagian sel tertentu untuk menjaga metabolisme tanaman. Sifat hiperakumulator yang dimiliki tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) didukung oleh adanya enzim-enzim yang berfungsi untuk mendegradasi zat polutan, enzim tersebut terdapat pada bagian akar, batang, dan daun Adapun enzim tersebut antara lain enzim lipase (menguraikan senyawa lemak menjadi asam piruvat), enzim protease (menguraikan senyawa protein menjadi asam lemak) dan selulase (menguraikan senyawa glukosa menjadi metana, air, dan karbondioksida).

Tanaman Bambu Air juga mempunyai sifat hipertoleran terhadap unsur logam, karena dapat mentoleransi logam berat dengan konsentrasi yang tinggi pada tajuk dan jaringan akarnya (Candra et al., 2019). Hal

tersebut sejalan dengan penelitian Al Kholif (2020), bambu air mampu menyisihkan kadar kontaminasi dalam limbah domestik dengan waktu tinggal selama 5 hari. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian Al Kholif (2020) yang menunjukkan bambu air (*Equisetum hyemale*) mampu untuk menyisihkan kadar COD sebesar 89,67%. Hal tersebut didukung oleh penelitian Margowati & Abdullah, (2017) yang menyatakan bahwa Bambu Air mampu menurunkan kadar COD pada limbah rumah tangga hingga mencapai 76,35%. Sifat hipertoleran pada tanaman Bambu Air disebabkan karena adanya pola adaptasi yang dilakukan tanaman tersebut sebelum proses fitoremediasi. Tanaman Bambu Air tidak secara langsung menyerap bahan organik yang terkandung dalam lindi, namun akan melakukan adaptasi terlebih dahulu dan memberikan kondisi yang mendukung terjadinya proses dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme. Adaptasi tersebut berupa proses aklimatisasi yang dilakukan selama kurang lebih satu minggu. Aklimatisasi ini merupakan tahapan adaptasi yang dilakukan pada tanaman dengan lingkungan baru yang dimasukinya. Indikator bambu air sudah melakukan adaptasi yaitu tanaman tersebut dapat bertahan hidup, tumbuh subur, tidak layu, dan tidak mati (Kholisah et al., 2022)

Pada penelitian yang telah dilakukan perlakuan P₂ yaitu 10 liter lindi dan 1000 gram Bambu Air, memiliki persentase efektivitas penurunan kadar COD pada hari ke-7 yang paling tinggi sebesar 39,14%. Perlakuan P₁ dengan biomassa tanaman yang lebih sedikit cenderung memiliki persentase efektivitas penurunan kadar COD yang lebih rendah daripada perlakuan P₂ yang memiliki biomassa tanaman lebih banyak. Hal tersebut dikarenakan biomassa tanaman berpengaruh terhadap penurunan kadar BOD selama proses fitoremediasi, dimana semakin banyak tanaman maka semakin banyak pula produksi oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis sehingga meningkatkan kadar oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) yang ada di lindi. Aktivitas fotosintesis yang tinggi akan menghasilkan oksigen yang tinggi. Produksi oksigen terlarut berlangsung

melalui proses fotosintesis oleh komunitas autotrof, sedangkan konsumsi oksigen terlarut dilakukan oleh semua organisme melalui proses respirasi dan degradasi bahan-bahan organik dalam perairan. Ketersediaan oksigen terlarut akan semakin menurun seiring dengan konsumsi kebutuhan mikroorganisme untuk mendegradasikan bahan-bahan organik tanaman bambu air mensuplai oksigen kedalam air limbah melalui organ akar dan menambah jumlah oksigen dalam air limbah sehingga memacu kerja mikroorganisme dalam proses menguraikan kontaminan atau polutan organik (Kholisah et al., 2022; Riyanto, 2023). Selain itu waktu tinggal selama penelitian juga berpengaruh terhadap persentase efektivitas penurunan kadar COD, dikarenakan waktu tinggal yang cukup akan memberikan kesempatan lebih baik antara limbah cair untuk berkontak langsung dengan mikroorganisme dan mengalami pengendapan.

Pada penelitian juga dilakukan pengukuran kadar oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) untuk mengetahui hubungannya dengan parameter yang diukur, dimana kadar oksigen terlarut ini yang nantinya mempengaruhi jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik. Kadar DO yang tinggi menyebabkan semakin cepat pula proses oksidasi dalam mendekomposisi bahan organik pada lindi, sehingga kadar COD dalam lindi dapat berkurang (Sugianti & Astuti, 2018)

Terdapat pula hubungan antara pH yang telah diukur terhadap kadar COD. Untuk nilai pH, semakin menurunnya nilai pH maka kadar COD akan menurun dan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena nilai pada pH dipengaruhi oleh adanya aktivitas penyerapan nutrient pada tanaman, Akar tanaman cenderung menyerap ion positif (H^+) dan akan mengeluarkan ion negatif berupa (OH^-). Ketika tanaman tersebut aktif dalam menyerap nutrisi atau bahan organik yang terkandung dalam lindi maka ion positif akan semakin banyak pula, dan hasil yang dikeluarkan dalam bentuk ion negatif (OH^-) juga akan semakin banyak. Sehingga nilai

pH akan terus meningkat dan begitu pula sebaliknya (Marlany et al., 2023).

Selain DO dan pH, dilakukannya juga pengukuran suhu, dimana suhu sangat penting dan mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap aktivitas mikroorganisme dalam perairan, dimana semakin tinggi suhu maka akan menyebabkan kematian pada mikroorganisme aerob sehingga agen untuk medegradasi bahan organik yang ada pada limbah menjadi tidak ada (Marlany et al., 2023).

Berdasarkan hasil penelitian, diakhir masa penelitian kondisi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) kering, layu, dan kuning. Hal tersebut disebabkan tanaman bambu air telah mencapai ambang batasnya atau titik jenuh dalam mentoleransi penyerapan kadar zat polutan dalam lindi sehingga tanaman banyak yang mengalami kematian. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Roni, 2020) yang menyatakan tanaman mengalami perubahan yang sangat signifikan ketika berada di fase akhir fitoremediasi, dimana perubahan dari segi morfologi dan fisiologi sudah berbeda dari kondisi awalnya yang dikarenakan tanaman agen fitoremediator tersebut telah secara aktif menyerap zat pencemar yang ada di lingkungan dan berusaha untuk beradaptasi supaya tanaman tersebut tetap hidup. Kondisi tanaman bambu air yang awalnya memiliki kondisi yang segar dan berwarna hijau, kemudian diakhir penelitian kondisinya sudah tidak segar lagi bahkan terdapat beberapa kematian tanaman. Hal ini membuktikan bahwa kandungan yang terdapat pada lindi dapat menyebabkan proses secara fisiologis dari tanaman bambu air dapat terganggu, sehingga menyebabkan kematian secara perlahan pada tanaman bambu air. Indikator perubahan kondisi fisiologis tersebut ditandai dengan mulai menguningnya dan mengering tanaman bambu air (Muryani & Widiarti, 2019).

Pada penelitian yang telah dilakukan terjadi penurunan kadar COD lindi terbesar dari rerata kadar awal 1280 mg/L menjadi 779 mg/L, kadar COD tersebut masih melebihi baku mutu lindi yang ditetapkan oleh

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk kadar paling tinggi COD 300 mg/L. Pada penelitian yang dilakukan didapatkan persentase efektivitas penurunan kadar COD sebesar 39,14%, sedangkan pada penelitian terdahulu bambu air mampu menyisihkan kadar kontaminasi dalam limbah domestik dengan waktu tinggal selama 5 hari sebesar 95.43% , kemudian penelitian Margowati & Abdullah, (2017) yang menyatakan bahwa bambu air mampu menurunkan kadar COD pada limbah rumah tangga hingga mencapai 76,35%. Perbedaan tersebut disebabkan karena karakteristik limbah yang digunakan, dimana limbah air lindi mempunyai sifat yang lebih kuat dan berbahaya dari limbah domestik dan limbah cair tahu. Limbah air lindi ini sangat berbahaya karena konsentrasi kandungan bahan organik yang sangat tinggi terbentuk akibat proses dekomposisi sampah oleh mikroorganisme sehingga mengeluarkan cairan yang hitam dan pekat (Muna, 2023). Selain itu didalam lindi mengandung zat tersuspensi yang sangat halus dan didalamnya mengandung pathogen (Muna, 2023; Peng, 2017). Hal tersebut sejalan dengan Selvam et al., (2017) yang mengatakan bahwa lindi pada TPA mengandung banyak bahan kimia seperti fosfat yang berlebih, nitrat dan bahan organik lainnya. Selain itu juga terdapat logam berat seperti Pb, Zn, Fe, Cu, dan Cd yang dapat menyebabkan toksisitas terhadap lingkungan, flora, dan fauna. Kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi dapat mengganggu kesehatan dan keseimbangan lingkungan (Pangestu et al., 2021). Adapun kandungan COD pada perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, kadar DO, densitas plankton, keberadaan mikroorganisme, kandungan bahan organik dan anorganik yang terlarut pada limbah, konsentrasi perairan/limbah (Ilmannafian et al., 2020; Mumtahanah et al., 2017)

3. Implementasi Hasil Penelitian dalam Pembelajaran Biologi

Hasil dari penelitian ini diimplementasikan pada pembelajaran Biologi SMA Kelas X Semester Genap materi Pencemaran Lingkungan. Secara spesifik materi pencemaran lingkungan terdapat dalam KD 3.11 Menganalisis Data Perubahan Lingkungan Penyebab, dan Dampaknya bagi Kehidupan dan 4.11 Merumuskan Gagasan Pemecahan Masalah Perubahan Lingkungan yang Terjadi di Lingkungan Sekitar. Implementasi hasil penelitian dilakukan dalam bentuk pembuatan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL). Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) pada kegiatan praktikum ini dapat diartikan sebagai lembar kerja yang tersusun secara terstruktur dan sistematis berisi tentang panduan sebuah praktikum yang akan dilakukan oleh peserta didik dalam suatu pembelajaran, lembar kerja ini berisi petunjuk praktikum yang diperlukan peserta didik untuk memudahkan dalam melaksanakan sebuah praktikum (Hariningwang & Fitrihidajati, 2020). Menurut (Ainun & Rasmawan, 2021) Lembar Kerja Peserta Didik atau LKPD merupakan salah satu bahan ajar cetak yang berisi materi, ringkasan, dan petunjuk pelaksanaan tugas pembelajaran yang harus dikerjakan oleh peserta didik baik secara teori maupun praktik, yang diharapkan berfungsi untuk mengurangi paradigma *teacher centered* menjadi *student centered* sehingga peserta didik menjadi lebih aktif.

Berdasarkan penelitian (Arestu, 2019) menyatakan bahwa terdapat permasalahan yang seringkali dialami dalam pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan, dimana kurangnya partisipasi peserta didik dalam pembentukan pengetahuannya. Hal tersebut disebabkan karena pembelajaran yang diberikan hanya sebatas teori tanpa melibatkan memanfaatkan fasilitas seperti laboratorium untuk kegiatan praktikum. Permasalahan yang lain yaitu tidak tersedianya bahan ajar berupa Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai sarana peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari (Benhadj, 2023). Hal tersebut sejalan dengan (Ariana et al., 2022) yang

menyatakan bahwa pendidik masih menggunakan buku paket dari sekolah dan hanya mengarahkan peserta didik untuk mencatat kembali yang ada dilembar kerja, serta dalam pengerjaan soal-soal peserta didik hanya mengamati gambar pada lembar kerja lalu menjawab soal-soal yang ada. Oleh sebab itu, dalam proses pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan guru diminta untuk mengaitkan permasalahan kontekstual disekitar hingga dapat menyusun bahan ajar yang mampu untuk memfasilitasi peserta didik dalam memecahkan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari melalui pengalaman belajar secara langsung

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penyusunan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) relevan untuk dilakukan guna meningkatkan peran aktif dan dapat membantu peserta didik dalam menemukan sendiri konsep pemahamannya, mengembangkan keterampilan proses dan sikap ilmiah serta membangkitkan minat peserta didik. Menurut (Roza & Chania, 2018), melalui kegiatan praktikum peserta didik akan lebih paham terkait konsep yang dipelajari, dapat menumbuhkan dan mengembangkan minat untuk belajar sains, menciptakan situasi belajar menjadi bermakna, serta dapat menumbuhkan sikap ilmiah peserta didik. Hal tersebut sejalan dengan Kristyowati (2018), penggunaan LKPD dalam praktikum dapat membantu pendidik dalam mengarahkan peserta didik menemukan konsep baik melalui aktivitas individu maupun kelompok, mengembangkan keterampilan proses, mengembangkan sikap ilmiah serta membangkitkan minat peserta didik terhadap alam sekitarnya.

Salah satu model pembelajaran yang memberikan kesempatan peserta didik untuk mengembangkan keterampilan dalam menyelesaikan masalah serta mengimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari adalah model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Menurut Ariana et al., (2022) menyatakan bahwa *Project Based Learning* (PjBL) ini sebagai model pembelajaran yang sangat sesuai dalam mengembangkan keterampilan dan kemampuan belajar pada peserta didik. Dengan melalui

serangkaian kegiatan merancang produk, melaksanakan proyek, dan menghasilkan suatu produk, yang akan dikumpulkan dalam satu wadah yaitu berupa produk pembelajaran. Selain itu melalui konsep model pembelajaran PjBL yaitu berpusat pada peserta didik dan berangkat dari suatu latar belakang masalah untuk mengerjakan suatu proyek atau aktivitas nyata yang akan membuat peserta didik mengalami berbagai kendala kontekstual, sehingga harus melakukan investigasi dan pemecahan masalah untuk dapat mencapai kompetensi yang diharapkan. Penerapan *Project Based Learning* telah menunjukkan bahwa model tersebut dapat membuat peserta didik mengalami proses pembelajaran yang bermakna, yaitu pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan paham konstruktivis (membangun pengetahuannya sendiri) (Ratri, 2017). Adapun menurut Patton, (2013) sintaks *Project Based Learning* (PjBL) antara lain: 1) menentukan pertanyaan mendasar, 2) menyusun perencanaan proyek, 3) menyusun jadwal, 4) monitoring, 5) menguji hasil, 6) evaluasi pengalaman. Dari sintaks model pembelajaran PjBL tersebut diimplementasi dalam penyusunan LKPD berbasis praktikum adalah sebagai berikut:

- 1) Pertanyaan Mendasar
- 2) Mendesain Perencanaan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 3) Menyusun Jadwal Pelaksanaan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 4) Monitoring Keaktifan dan Perkembangan Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 5) Menguji Hasil Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air
- 6) Evaluasi Pengalaman dan Hasil Proyek Fitoremediasi dengan Bambu Air

Penyusunan LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) menggunakan model ADDIE yang dikembangkan oleh Dick & Carry (1996), namun dalam penelitian ini hanya berfokus pada tahap ADD (*Analysis, Design, dan Development*), yaitu sebagai berikut:

a. Tahap *Analysis*

Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis terhadap kebutuhan dan permasalahan yang seringkali dihadapi dalam proses pembelajaran pada materi Pencemaran Lingkungan secara umum untuk dapat menyesuaikan dan menentukan peta kebutuhan yang diperlukan untuk mengatasi permasalahan dengan mempertimbangkan karakter peserta didik, serta kurikulum yang berlaku. Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengetahui keadaan bahan ajar yang dibutuhkan peserta didik seperti apa dan seberapa banyak materi yang dibutuhkan dalam penyusunan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum pada materi Pencemaran Lingkungan SMA kelas X Semester Genap. Pada latar belakang telah disampaikan bahwa permasalahan yang sering kali dialami peserta didik dalam pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan yaitu kurangnya kemampuan bahan ajar yang ada untuk memfasilitasi peserta didik dalam memecahkan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari melalui pengalaman belajar secara langsung, sehingga peserta didik sulit untuk membentuk pengetahuannya sendiri. Kemudian dilakukan analisis karakter untuk mengetahui bagaimana perilaku peserta didik dalam proses pembelajaran biologi materi Pencemaran Lingkungan, sehingga Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang disusun nantinya dapat sesuai dengan karakter peserta didik. Pada pembelajaran materi Pencemaran Lingkungan peserta didik kurang dilibatkan secara aktif dalam membentuk pengetahuan dan pemahamannya sendiri, dikarenakan bahan ajar yang digunakan tidak diintegrasikan dengan permasalahan yang ada di kehidupan sehari-hari, sehingga LKPD yang dibuat harus mampu melibatkan peserta didik secara aktif dalam menemukan pengetahuan dan pemahamannya sendiri melalui pemecahan permasalahan dan pengalaman belajar secara langsung. Maka dari itu diperlukannya Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) praktikum untuk memfasilitasi peserta didik. Analisis kurikulum yang

dilakukan yaitu dengan memperhatikan karakteristik dari kurikulum yang akan digunakan, sehingga pembuatan dan pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) dapat sesuai dengan tuntutan kurikulum yang berlaku. Dalam penelitian ini Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang dibuat disesuaikan dengan Kurikulum Merdeka (KURMER) Fase E SMA Kelas X, yaitu peserta didik diharapkan mampu memiliki kemampuan untuk menciptakan solusi atas permasalahan berdasarkan isu-isu nasional maupun global terkait perubahan lingkungan.

b. Tahap *Design*

Pada tahap *Design* merupakan realisasi dari hasil analisis yang telah dilakukan oleh peneliti. Dalam tahapan ini, LKPD praktikum disusun dengan memperhatikan aspek substansial yaitu aspek materi dan aspek media dengan mengangkat permasalahan kontekstual yang sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sehingga LKPD yang disusun didesain seefektif mungkin agar dapat memfasilitasi peserta didik dalam proses pembelajaran. Implementasi hasil penelitian dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) disisipkan pada bagian materi dan informasi penunjang kegiatan. Selain itu LKPD yang disusun terintegrasi pada sintaks *Project Based Learning* (PjBL). Adapun integrasi sintaks *Project Based Learning* (PjBL) dalam LKPD berbasis praktikum, sebagai berikut:

1) Pertanyaan Mendasar

Pada tahap pertanyaan mendasar, didalam LKPD disajikan dalam bentuk aktivitas “Cari Tau Kuy” dan “Tau Ga Sih” yang berisi suatu pertanyaan esensial untuk mentimulus peserta didik dalam memberikan opini atau pendapat terhadap permasalahan yang akan dibahas dan dicarikan solusi melalui aktivitas proyek. Pada pertanyaan mendasar tersebut disajikan gambar dan data statistik agar dapat membantu peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan tersebut. Adapun pertanyaan mendasar dalam LKPD

praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.8** dan **Gambar 4.9**



Gambar 4. 8 Pertanyaan Mendasar “Cari Tau Kuy” pada LKPD



Gambar 4. 9 Pertanyaan Mendasar “Tau Ga Sih” pada LKPD

2) Mendesain Perencanaan Proyek

Pada tahapan mendesain perencanaan proyek, didalam LKPD disajikan dalam bentuk aktivitas “*Let’s Try, Praktikum*” sebagai arahan kepada peserta didik untuk merancang suatu proyek yang dikemas kedalam kegiatan praktikum untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan yang telah disajikan. Sehingga pada tahapan ini ditujukan kepada peserta didik untuk memahami lebih lanjut terkait permasalahan lingkungan yang akan dibahas serta mengorganisasikan peserta didik untuk melakukan aktivitas praktikum secara berkelompok sesuai dengan konteks permasalahan yang akan dipecahkan. Adapun aktivitas mendesain perencanaan proyek dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4. 10 Mendesain Perencanaan Proyek pada LKPD

3) Menyusun Jadwal Perencanaan Proyek

Pada tahapan menyusun jadwal perencanaan proyek, didalam LKPD peserta didik akan diarahkan untuk merancang jadwal pelaksanaan praktikum atau tugas proyek yang akan dilakukan yaitu fitoremediasi air lindi dengan menggunakan tanaman bambu air. Adapun aktivitas menyusun jadwal perencanaan proyek dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.11**.

Jadwal Pelaksanaan

Susunlah jadwal pelaksanaan proyek yang akan kalian lakukan!

Kegiatan	Hari/Tanggal			

Gambar 4. 11 Menyusun Jadwal Perencanaan Proyek pada LKPD

4) Monitoring Keaktifan dan Perkembangan Proyek

Pada tahapan monitoring keaktifan dan perkembangan proyek, didalam LKPD diimplementasikan dalam bentuk *logbook* perkembangan proyek sebagai bahan monitoring guru terhadap kinerja peserta didik selama melaksanakan dan menyelesaikan aktivitas praktikum. Adapun aktivitas monitoring keaktifan dan

perkembangan proyek dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.12**.

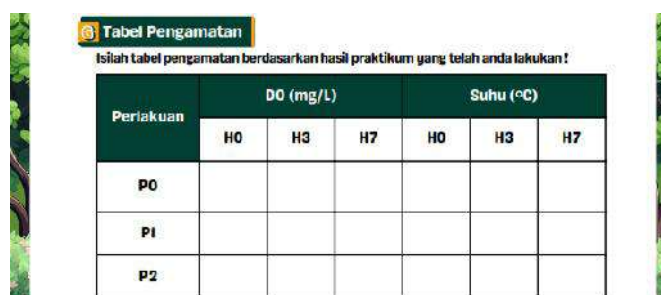


No	Tanggal	Kegiatan	Hasil yg diperoleh

Gambar 4. 12 Monitoring Keaktifan dan Perkembangan Proyek pada LKPD

5) Menguji Hasil Proyek

Pada tahapan menguji hasil proyek, didalam LKPD diimplementasikan dalam sebuah “Tabel Pengamatan”, dimana peserta didik diarahkan untuk melaksanakan aktivitas praktikum sesuai dengan rancangan proyek yang telah dibuat untuk kemudian hasil eksperimen dituliskan dalam bentuk tabel pengamatan. Adapun aktivitas menguji proyek dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.13**.



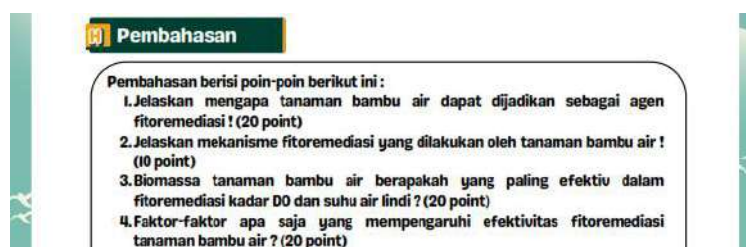
Perakuan	DO (mg/L)			Suhu (°C)		
	H0	H3	H7	H0	H3	H7
P0						
P1						
P2						

Gambar 4. 13 Menguji Hasil Proyek pada LKPD

6) Evaluasi Pengalaman dan Hasil Proyek

Pada tahapan evaluasi pengalaman dan hasil proyek, didalam LKPD peserta didik diarahkan untuk menyusun laporan proyek yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk soal pengayaan sebagai evaluasi pengalaman peserta didik. Pemberian soal pengayaan tersebut bertujuan sebagai bahan refleksi dan evaluasi

untuk mengetahui apakah proyek yang dilaksanakan dapat membantu peserta didik dalam menemukan pengetahuan dan pemahamannya atau tidak. Adapun evaluasi pengalaman dan hasil proyek dalam LKPD praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) tersebut disajikan pada **Gambar 4.14**.



Gambar 4. 14 Evaluasi Pengalaman dan Hasil Proyek pada LKPD

c. Tahap *Development*

Pada tahap ini, LKPD praktikum yang telah disusun sebelum diimplementasikan pada pembelajaran biologi harus diuji kelayakannya terlebih dahulu melalui kegiatan validasi oleh ahli materi dan ahli media. Kegiatan validasi ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian bahan ajar yang telah dibuat, meliputi validasi materi dan media, serta di dalamnya mencakup aspek kebahasaan. Selain itu, kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh masukan berupa kritik, saran, dan tanggapan dari validator terhadap kualitas LKPD yang telah disusun sehingga dapat mengetahui kesesuaian LKPD dengan standar yang telah ditentukan. Validasi materi dan media dilakukan oleh para ahli, di mana dalam hal ini adalah dosen sebagai validator. Bahan ajar yang telah disusun akan divalidasi oleh 2 ahli media dan 2 ahli materi dari program studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang. Adapun aspek yang menjadi penilaian oleh ahli materi meliputi isi materi LKPD praktikum dan penggunaannya dalam pembelajaran biologi, sedangkan aspek penilaian oleh ahli media meliputi aspek penyajian, kebahasaan, dan kegrafisan. Berdasarkan hasil validasi yang telah dilakukan oleh ahli materi dan ahli media menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa hal

yang harus diperbaiki. Adapun hasil rincian validasi LKPD dapat dilihat pada **Tabel 4.20** dan **Tabel 4.21**

Tabel 4. 20 Rincian Hasil Validasi LKPD Praktikum

Validator	Aspek yang Harus Diperbaiki	
	Validasi 1	Validasi 2
Materi I	Layak digunakan dengan revisi 1. Penambahan kalimat pengantar pada alat dan bahan 2. Warna font 3. Perlu ditambahkan kolom penilaian pada pembahasan hasil praktikum	Layak digunakan tanpa revisi
Materi II	Layak digunakan dengan revisi 1. Perbaikan konsep pencemaran lingkungan dan remediasi 2. Pemilihan beberapa gambar kurang jelas	Layak digunakan tanpa revisi
Media I	Layak digunakan tanpa revisi	-
Media II	Layak digunakan tanpa revisi	-

Pada aspek materi, dilakukan revisi dengan menambahkan kalimat pengantar pada alat dan bahan yang digunakan untuk praktikum fitoremediasi air lindi dengan menggunakan tanaman bambu air.



Gambar 4. 15 Kata Pengantar Sebelum dan Sesudah Validasi

Selain itu pada aspek materi, juga dilakukan revisi dengan memperbaiki warna font dan penambahan kolom penilaian pada pembahasan hasil praktikum



Sebelum validasi

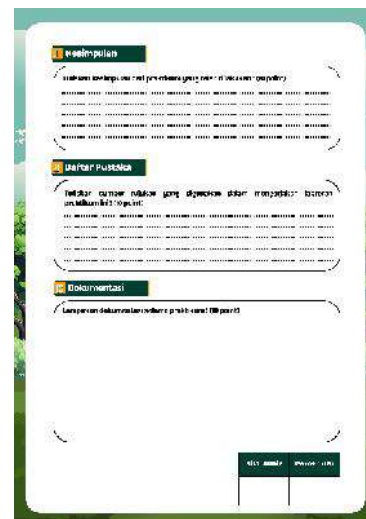


Setelah validasi

Gambar 4. 16 Warna Font pada Gambar Sebelum dan Sesudah Validasi



Sebelum validasi



Setelah validasi

Gambar 4. 17 Penambahan Kolom Penilaian Sebelum dan Sesudah Validasi

Kemudian dilakukan revisi pada isi materi tentang perubahan lingkungan dan remediasi. Materi yang digunakan sebaiknya berasal dari Undang-Undang yang berlaku saat ini. Selain itu juga dilakukan

revisi dengan memperbaiki gambar-gambar yang kurang jelas pada Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) dan gambar yang bersumber dari internet diganti dengan dokumentasi pribadi. Gambar yang digunakan pada LKPD haruslah jelas agar tidak terjadi miskonsepsi pada peserta didik.



Sebelum validasi



Setelah validasi

Gambar 4. 18 Isi Materi Sebelum dan Sesudah Validasi



Sebelum validasi



Setelah validasi

Gambar 4. 19 Gambar Sebelum dan Sesudah Validasi

Perbaikan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) disesuaikan dengan saran,

kritik, dan masukan yang telah diberikan oleh validator ahli materi dan validator ahli media sebagaimana yang telah terlampir pada **Tabel 4.20**. Hasil akhir setelah dilakukan validasi Kembali pada LKPD yang telah diperbaiki diperoleh peningkatan nilai rata-rata LKPD praktikum, dimana validasi oleh ahli materi terhadap LKPD praktikum yang telah disusun memperoleh persentase nilai rata-rata sebesar 90,97% yang termasuk kedalam kategori sangat valid. Sedangkan hasil validasi oleh ahli media memperoleh persentase nilai rata-rata sebesar 94,81% yang juga termasuk kedalam kategori sangat valid. Dengan demikian, LKPD berbasis praktikum berbasis *Project Based Learning* yang telah disusun layak digunakan dan dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran Biologi SMA Kelas X Semester Genap pada materi Pencemaran Lingkungan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) efektif dalam menurunkan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) lindi. Efektivitas penurunan kadar BOD paling optimal terjadi pada perlakuan P₂ di hari ke-7 penelitian, yaitu sebesar 28,42%.
2. Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) efektif dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) lindi. Efektivitas penurunan kadar COD paling optimal terjadi pada perlakuan P₂ di hari ke-7 penelitian, yaitu sebesar 39,14%.
3. Implementasi hasil penelitian berupa Lembar Kerja Praktikum (LKPD) praktikum berbasis *Project Based Learning* (PjBL) Hasil validasi LKPD oleh ahli materi sebesar 90,97% dan oleh ahli media yaitu sebesar 94,81%. Nilai tersebut termasuk kedalam kategori sangat valid, sehingga LKPD layak digunakan dalam pembelajaran biologi.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Bambu Air berpotensi sebagai agen fitoremediasi lindi TPA Jatibarang terhadap *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hal tersebut dikarenakan Bambu Air mempunyai sifat hiperakumulator dan hipertoleran sehingga mampu untuk menurunkan kadar BOD dan COD pada lindi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dalam menurunkan kadar BOD dan COD lindi dengan biomassa yang lebih besar serta terdapat konsentrasi lindi sehingga penurunan kadar BOD dan COD dapat lebih optimal.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai potensi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi dalam menurunkan jenis dan kadar zat polutan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainun, N., & Rasmawan, R. (2021). Pengembangan LKPD Berbasis Proyek Pembuatan Ekstrak Indikator Alami Asam Basa. *Jurnal Education and Development*, 9(3), 102–109.
- Akbari, T., Khadijah, A., Nisa, N. A., & Pangesti, F. S. P. (2022). Peran Kombinasi Sampah Organik Rumah Tangga Dalam Meningkatkan Kadar Fosfor, Kalium dan Kalsium Pada Kompos. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 9(3), 82–90. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2022.009.03.1>
- Al Kholif, M., Hidayat, S., Sutrisno, J., & Suning, S. (2020). Pengaruh Tanaman Bintang Air (*Cyperus Papyrus*) Dan Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) Dalam Mengolah Limbah Domestik. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(1), 703–710. <https://doi.org/10.32672/jse.v5i1.1596>
- Alhanif, M., Astuti, W., Wardani, P., Sufra, R., & Auriyani, W. A. (2023). Limbah jerami padi sebagai sumber N, P, dan K organik dalam pembuatan pupuk untuk produksi tanaman bayam (*Amaranthus Sp.*). *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(1), 23–28. <https://jurnal.arkainstitute.co.id/index.php/hexatech/article/view/709>
- Amrulloh, H., Simanjatak, W., & Situmeang, R. T. M. (2016). Konversi Mg 2+ Dalam Bittern Menjadi Mg(OH)₂ Menggunakan Metode Elektrokimia. *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika Dan Aplikasinya IV*, 4(2), 23–30. <https://www.researchgate.net/publication/333438338>
- Anami, W. R., Maslahat, M., & Arrisujaya, D. (2020). Presipitasi Logam Berat Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Natrium Sulfida Dari Belerang Alam. *Jurnal Sains Natural*, 10(2), 61. <https://doi.org/10.31938/jsn.v10i2.283>
- Anggraini, N. A. (2022). Pengaruh Pemotongan Akar Tanaman Air terhadap Penurunan BOD dan COD Limbah Domestik dengan Metode Fitoremediasi. 3(1), 65–74.
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Arda, F., Yogica, R., & Darussyamsu, R. (2021). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Pencemaran Lingkungan. *Edukimia*, 3(2), 135–142. <https://doi.org/10.24036/ekj.v3.i2.a197>
- Arestu, O. O., Karyadi, B., & Ansori, I. (2019). Peningkatan Kemampuan Memecahkan Masalah Melalui Lembar Kegiatan Peserta Didik (Lkpd) Berbasis Masalah. *Diklabio: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Biologi*, 2(2), 58–66. <https://doi.org/10.33369/diklabio.2.2.58-66>
- Ariana, R. M., Rasmawan, R., Sartika, R. P., Hairida, & Erlina. (2022). Pengembangan LKPD Berbasis Project Based Learning Pada Materi Pencemaran Air Di Smp Pontianak. *Jurnal Education and Development*, 10(2), 259–268.
- Aryanti, D. (2020). Pengaruh Pengomposan Limbah Lumpur IPAL Domestik dengan Karakteristik Fisik-Kimia dan Logam Berat Kompos. *Prosiding Hasil Penelitian Dosen Universitas Ibn Khaldun Bogor*, 333–344. <http://pkm.uika-bogor.ac.id/index.php/prosiding/article/view/655>
- Bachtiar, R. A., Rifki, M., Nurhayat, Y. R., Wulandari, S., Kutsiadi, R. A., Hanifa,

- A., & Cahyadi, M. (2018). Komposisi Unsur Hara Kompos yang Dibuat dengan Bantuan Agen Dekomposer Limbah Bioetanol pada Level yang Berbeda. *Sains Peternakan*, 16(2), 63. <https://doi.org/10.20961/sainspet.v16i2.23176>
- Benhadj, N., Hairida, H., Ulfah, M., Masriani, M., & Lestari, I. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (Lkpd) Berbasis Literasi Sains Pada Materi Pencemaran Lingkungan Di Smp Negeri 2 Tanah Pinoh. *Jurnal Education and Development*, 11(2), 255–261. <https://doi.org/10.37081/ed.v11i2.4732>
- Bermuli, F. Z. A., Mangangka, I. R., & Dundu, A. K. T. (2023). *Metode Filtrasi Dengan Media Sekam Padi, Arang, Batu Zeolit Dan Pasir*. 21(86).
- Candra, Y. A., Pratamaningtyas, S., & Nugroho, Y. A. (2019). Fitoremediasi Merkuri dari Tanah Tercemar Limbah Bekas Tambang Emas Rakyat dengan Rumput Teki (*Cyperus kyllingia*). *Agrika*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.31328/ja.v13i1.988>
- Christianty, D. A., Zaman, B., & Purwono, P. (2017). Utilization Of Seeds Durian (*Durio Zibethinus Murr*) Powder AS Biopolymer Additional Materials Of Coagulant Alum To Improve The Total Solids Removal Suspended (Tss) And Cod Using Leachate Coagulation-flocculation. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6, 282.
- Febrianto, A., & Buchari. (2024). Studi Cemarkan Logam Berat (Fe, Pb, Cd, Cu, dan Zn) dalam Umbi Singkong di Sekitar Area Eks Tempat Pemrosesan Akhir Leuwi Gajah. *Jurnal Serambi Engineering*, IX(2), 8499–8505.
- Febriningrum, P. N., & Nur, M. S. M. (2021). The Addition Effect of Chitosan and *Bacillus amyloliquefanciens* Bacteria in the Tapioca Liquid Waste Phytoremediation Process. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(1), 1–7. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Fidiastuti, H. R., & Suarsini, E. (2017). Potensi Bakteri Indigen Dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kulit Secara in Vitro. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v3i1.3665>
- Fitria, A. D., Sudarto, & Djajadi. (2018). Relationship of Ca, Mg and Na Availability for Production and Quality of Kemloko Tobacco in Temanggung Regency, Central Java. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 857–866. <http://jtsl.uib.ac.id857>
- Fitriana, N., & Asri, M. T. (2021). Aktivitas Proteolitik pada Enzim Protease dari Bakteri Rhizosphere Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) di Trenggalek. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(1), 144–152. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n1.p144-152>
- Hafidhin, F. A., Ratnawati, R., Sutrisno, J., & Nurhayati, I. (2023). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan Penerapan Teknologi Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok untuk Mengolah Air Limbah Laundry*. 14(2), 42–50.
- Handayani, L., & Syahputra, F. (2017). Isolation and characterization of nanocalcium from oyster shell (*crassostrea gigas*). *Indonesian Journal of Fishery Products Processing*, 20(3), 515–523.
- Hariningwang, C. N., & Fitrihidajati, H. (2020). Profil Lembar Kegiatan Peserta Didik (LKPD) Berbasis Praktikum Materi Perubahan Lingkungan dan Daur

- Ulang Limbah Untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains Terintegrasi. *BIOEDU Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 9(1), 49–59.
- Hariyanto, A., Sari, V. K., & Pujiastuti, C. (2020). Kinetika Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat dari Asam Fosfat dan Cangkang Kerang Darah. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 1(02), 32–38. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i2.48>
- Hasanah, U., Hayati, N., Zahro, T., Hasanah, A., & Inayah, N. (2023). Analisis Kandungan COD Dan BOD Di Tiga Titik Lokasi Sungai Patrean Manding Sumenep. *Journal of Mathematics and Sciences*, 7(1), 32–38. <http://ejournal.unwmataram.ac.id/evos>
- Hasmeda, M., Sari, I. ., Munandar, M., Ammar, M., & Gustiar, F. (2021). Respon Pertumbuhan dan Hasil pada Tanaman Bayam (*Amaranthus sp*) terhadap Biofortifikasi Unsur Hara Kalsium (Ca) dan Besi (Fe) dengan Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique). *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-9 Tahun 2021, cm*, 721–733.
- Haviz, M., Fatiha Nur, A., Muhammad, D., Fransisca Vabyilita, M., & Afriani, L. (2021). Pengaruh Penambahan Biochar dari Lignite pada Tanah Bekas Penambangan Batubara terhadap Potensi Immobilisasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Batch Experiment. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*, 02(02), 20–027.
- Hidayat, M. S., Putra, A., & Diana, S. (2018). Penggunaan Senyawa Fosfor Pada Konstruksi Wetland Dalam Pengolahan Limbah Menggunakan Akar Wangi (*Chrysopogon Zizanioides*). *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2(1), 110–115.
- Ika Wahyuning Widiarti, & Eni Muryani. (2018). Kajian Kualitas Air Lindi terhadap Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Sampah Jetis, Desa Pakem, Kecamatan Gebang, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(1), 1–9.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Processing of Palm Oil Liquid waste by Filtration and Phytoremediation Method Using *Eichhornia Crassipes*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 244–253. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i2.4012>
- Imaniar, A., Prasadi, O., & Fadlilah, I. (2022). Efektivitas Kayu Apu Dan Kangkung Air Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, Dan Amonia Pada Air Limbah Domestik. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 105–112. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v15i2.1425>
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 75–84.
- Ivontianti, W. D., Sitanggang, E. P. O., & Rezeki, E. S. (2022). Pengolahan Limbah Cair Lindi Menggunakan Multi Soil Layering (MSL) Bebas Lumpur PDAM. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(3), 228–237. <https://doi.org/10.26760/jrh.v5i3.228-237>
- Jeksen, J., & Mutiara, C. (2017). Analisis Kualitas Pupuk Organik Cair dari Beberapa Jenis Tanaman Leguminosa. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 7(2), 124–130.

- Karamina, H., Murti, A. T., & Mujoko, T. (2021). Kandungan Logam Berat Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, dan Br pada Air Lindi di Tiga Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Dadaprejo, Kota Batu, Dau, Dan Supit Udang, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendikia Uniksa Kediri*, 11(1), 192–201. https://journals.ekb.eg/article_243701_6d52e3f13ad637c3028353d08aac9c57.pdf
- Khasanah, U., Mindari, W., & Suryaminarsih, P. (2021). Kajian Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Sawah Di Kawasan Industri Kabupaten Sidoarjo Assessment of Heavy Metals Pollution on Rice Field in Sidoarjo Regency Industrial Area. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 73.
- Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i1.4836>
- Khoirunnisa, N., & Nurmiyati, N. (2022). Karakteristik Sorus Pteridophyta Di KHDTK Gunung Bromo Kabupaten Karanganyar. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning*, 19(1), 14–22.
- Kholisah, A. N., Pramitasari, N., & Kartini, A. M. (2022). Efisiensi Penyisihan Kadar Bod Pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Tanaman Bambu Air Dengan Sistem Sub Surface Flow Constructed Wetland. *Jurnal Envirotek*, 14(1), 66–73. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v14i1.188>
- Kristiana, A. I. (2021). *Buku Pegangan Mahasiswa Statistika Inferensial*. Digital Repository Universitas Jember.
- Krityowati, R. (2018). Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) IPA Sekolah Dasar Berorientasi Lingkungan. *Prosiding Seminar Dan Diskusi Nasional Pendidikan Dasar 2018*, 282–287. <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/psdpd/article/view/10150>
- Kurniawan, D. A., & Santoso, A. Z. (2021). Pengelolaan Sampah di daerah Sepatan Kabupaten Tangerang. *Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 31–36. <https://doi.org/10.34306/adimas.v1i1.247>
- Kurniawati, A., Nugroho, A. S., & Kaswinarni, F. (2016). The Impact of Landfill Leachate Jatibarang Towards the Diversity and Abundance of Plankton in the Waters of Kreo River Semarang City. *Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS 2015, 2008*, 708–713.
- Laghlimi, M., Baghdad, B., Hadi, H. El, & Bouabdli, A. (2015). Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Open Journal of Ecology*, 05(08), 375–388. <https://doi.org/10.4236/oje.2015.58031>
- Larasati, Priyandika, D. R., Yulianto, A., & Aji, M. P. (2017). Uji Efektivitas Limbah Seng Menjadi Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Unnes*, 1(1), 55–58.
- Lesmana, R., Melyana, M., & Valentina, R. (2023). Rekomendasi Pemupukan Jagung (*Zea Mays L*) di Desa Kleubir Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara. *Ilmu Pertanian Kaltara*, 1(1), 14–20.
- Lian Anggraini, M. D. (2020). *Akumulasi Logam Berat pada Batang Eichhornia crassipes Solms pada Variasi Media Penyaringan Selama Remediasi Air*

Lindi. 7(1), 77–88.

- Mahtab, M. S., Islam, D. T., & Farooqi, I. H. (2021). Optimization of the process variables for landfill leachate treatment using Fenton based advanced oxidation technique. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.013>
- Mahyudin, R. P. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah dan Dampak Lingkungan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 66–74. <https://doi.org/10.20527/jpkmi.v4i2.3843>
- Margowati, D., & Abdullah, S. (2017). Efisiensi Fitoremediasi Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) Dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Air Limbah Rumah Tangga di Desa Kracak Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 35(4), 316–321. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v35i4.1679>
- Marlany, R., Setiawati, S., & Tamburaka, R. S. E. (2023). Pemanfaatan Tanaman Air untuk Menurunkan Parameter Pencemar pada Kali Kadia Kota Kendari Menggunakan Metode Fitoremediasi. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 07(September), 100–117. <https://doi.org/10.20885/ajie.vol7.iss3.art4>
- Mastur, M., & Budiyono, B. (2020). Implementasi Pelaksanaan Perda Kota Semarang Nomor 6 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Di Kota Semarang. *Qistie*, 13(2), 225. <https://doi.org/10.31942/jqi.v13i2.3911>
- Mubarak, F., Mawardi, A. L., & Elfrida. (2020). The Effect of Oil Palm Waste Water Exposure on the Physical Condition of Bamboo water (*Equisetum hyemale*). *Jurnal Jeumpa*, 7(1), 328–334.
- Mumtahanah, M., Pujiati, & Primiani, C. N. (2017). Pengolahan Limbah Lindi TPA Kota Madiun Melalui Kombinasi Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Sistem Lahan Basah Buatan Menggunakan Tumbuhan Bambu Air (*Equisetum hyemale*). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, 2008*, 207–215.
- Muna, A. A. (2023). Analisis Kualitas Lindi (pH, TSS, Temperatur, Konduktivitas) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Griyomulyo, Kabupaten Sidoarjo. 3(2), 134–143.
- Muryani, E., & Widiarti, I. W. (2019). Kadar BOD dan COD Air Lindi dengan Perlakuan Fitoremediasi Tanaman Teratai (*Nymphaea Sp.*) dan Apu-Apu (*Pistia stratiotes L.*) (Studi Kasus TPA Jetis Purworejo). *Jurnal Mineral, Energi Dan Lingkungan*, 2(2), 72. <https://doi.org/10.31315/jmel.v2i2.2389>
- Mustamin, H. A., Larasati, R. P., & Sumada, K. (2020). Studi Kesesuaian Mikroorganisme terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri. *Journal of Chemocal and Process Engineering*, 1(02), 45–52. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i2.63>
- Neneng, L., & Saraswati, D. (2019). Reklamasi Lahan Kritis Bekas Penambangan Emas Menggunakan Metode Bioremediasi Dan Fitoremediasi. *EnviroScientiae*, 15(2), 216. <https://doi.org/10.20527/es.v15i2.6955>
- Ningrum, S. O. (2018). Analisis Kualitas Badan Air Dan Kualitas Air Sumur Di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12.
- Nofiyanto, E., Soeprbowati, T. R., & Izzati, M. (2019). Fikoremediasi Kualitas

- Lindi TPA Jatibarang Terhadap Efektifitas Lemna minor L dan Ipomoea aquatica Forkks. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 107. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.107-112>
- Novela, D., & Dewata, I. (2019). Penurunan COD, BOD DAN TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu Melalui Sistem Multy Soil Layering (MSL) Menggunakan Arang Karbon Ampas Tebu. *Journal of Residu*, 3(21), 8–14.
- Oktrisna, D., Puspita, F., & Zuhry, E. (2017). Test of Endophytic Bacillus sp Bacteria Formulated With Some Waste Toward Paddy (*Oryza sativa* L.). *JOM Faperta*, 4(1), 3–7.
- Pamungkas, O. (2016). Parameter BOD. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(April), 10.
- Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2018). Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha Latifolia*, Enceng Gondok, Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat. *Serambi Engineering*, III, 344–351.
- Pangestu, W. P., Sadida, H., & Vitasari, D. (2021). Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(2), 74–80. <https://doi.org/10.33084/mitl.v6i2.2376>
- Patmawati, Widodo, D. S., Suyati, L., Khabibi, K., & Haris, A. (2023). Modifikasi Metode Fenton pada Dekolorisasi Limbah Pewarna Remazol Black B dengan Oksida Timbal Hasil Sintesis pada Variasi Molar Pb²⁺ dan NaOH. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2(2), 23–29. <https://doi.org/10.14710/gjec.2022.16776>
- Patton, A. (2013). Work That Matters: The Teacher's Guide to Project Based Learning. In *Radiology management* (Vol. 35, Issue 1). <https://doi.org/10.26858/publikan.v10i1.12172>
- Pay, E., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2021). The Effect of Activities on the Cisadane River Bedroom on Nitrate and Phosphate Contaminant Loads. *Jurnal Bhuwana*, 1(2), 118–129. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i1.9289>
- Peng, Y. (2017). Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2567–S2574. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>
- Permen, L. (2016). *Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pemrosesan Akhir Sampah* (pp. 1–12).
- Picauly, M. J. (2022). Fitoremediasi dengan Constructed Wetland Menggunakan *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms, *Pistia stratiotes* L., dan *Equisetum hyemale* L., untuk Mengolah Limbah Cair Domestik BTN serta Pengaruhnya pada Pertumbuhan Caisim (*Brassica juncea* L.). *Skripsi*, July, 1–23.
- Poernomo, M. H., Razif, M., & Mansur, A. (2020). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Metode Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi (Studi Kasus di Kelurahan Margorejo Surabaya). *Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Dan Fitoremediasi (Studi Kasus Di Kelurahan Margorejo Surabaya)*, 177–184.
- Prabowo, Z. N., Rezagama, A., & Hadiwidodo, M. (2017). Pengolahan Air Lindi menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan Kombinasi Biokoagulan Sodium Alginat-Koagulan Al₂SO₄ dan Advanced Oxidation Processes

- (AOPs) dengan Feton (Fe/H₂O₂). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–13.
- Pradinda, A. L., Dhokhikah, Y., Pramitasari, N., & Badriani, R. E. (2020). Performance Analysis Of The Leachate Treatment Plant At Bestari Landfill, Probolinggo City. *Jurnal Lingkungan Berkelanjutan*, 1–10.
- Prakoso, P., & Udjiana, S. S. (2023). Pembuatan dan Karakterisasi Material Kontruksi dari Limbah Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dan PP (PolyPropylene) dengan Penambahan Kalsium Karbonat (CaCO₃). *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 439–444. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.152>
- Pramesti, E. L., & Yuniningsih, T. (2023). *Perencanaan Pengolahan Sampah oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang pada TPA Jatibarang*. 1–23.
- Prastowo, A. (2019). *Panduan kreatif membuat bahan ajar inovatif menciptakan metode pembelajaran yang menarik dan menyenangkan*.
- Puspitarini, R., Ismawati, R., Nuryono, & Wildan Mizana, M. (2023). Studi Penyebaran Logam Berat Timbal Dan Kadmium Air Lindi Dan Air Sumur Di Tpa Pasuruhan Kabupaten Magelang. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 15(2), 134–145. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol15.iss2.art3>
- Putra, A. Y., & Yulia, P. A. R. (2019). Kajian Kualitas Air Tanah Ditinjau dari Parameter pH, Nilai COD dan BOD pada Desa Teluk Nilap Kecamatan Kubu Babussalam Rokan Hilir Provinsi Riau. *Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 103–109. <https://doi.org/10.25077/jrk.v10i2.337>
- Putra, R. A., Sembiring, A. K., Anggraini, D. E., Sitanggang, L. B., Amar, M. R., Sihombing, P. R., & Susilawati, S. (2021). Penambahan Pupuk Organik Cair Dari Ampas Kopi Sebagai Nutrisi Pada Sistem Hidroponik terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L). *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, 1(1), 891–899.
- Putri, A., Redaputri, A. P., & Rinova, D. (2022). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Pupuk Menuju Ekonomi Sirkular. *Jurnal Pengabdian UMKM*, 1(2), 104–109. <https://jpu.ubl.ac.id/index.php/jpu>
- Rachman, R. M. (2022). Studi Pengolahan Air Limbah dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD di Pelabuhan Perikanan Samudra Kendari. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 18(1), 159–159. <https://doi.org/10.1139/191-019>
- Radityaningrum, A. D., Pramestiyawati, T. N., Ni'Am, A. C., Wahyudi, E., Aulady, M. F. N., & Hamidah, N. L. (2022). Environmental Assessment Using Integrated Risk Based Approach (IRBA) at Jabon Landfill, Sidoarjo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1111(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012040>
- Rahmawati, A., Zaman, B., & Purwono. (2016). Kemampuan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) dalam Menyisihkan BOD dan Fosfat pada Limbah Domestik (Grey Water) dengan Sistem Fitoremediasi Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 9–15.
- Rahmayanti, F. D. (2020). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Pupuk Makro (Ca) Pada Tanaman Bawang Merah. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Rais, A. (2021). Inventarisasi Tanaman Air Yang Tahan Terhadap Pencemaran Air di Kecamatan Wara Selatan Kota Palopo. *Cokroaminoto Journal of Biological*

Science, 3(1), 21–25.

- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Ramadhan, & Yusanti, I. A. (2020). Study of Nitrate and Phosphat Levels in The Swamp Flood Waters in Sedang Village, Subdistrict Suak Tapeh, District Banyuasin. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan Dan Budidaya Perairan*, 15(1), 37–41. <https://doi.org/10.31851/jipbp.v15i1.4407>
- Rasyidah, & Manalu, K. (2022). Analisis Kandungan Unsur Hara Pupuk Organik Cair (POC) Berbahan Dasar Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Journal Education, Science and Technology*, 5(1), 399–404.
- Ratri, N. A. (2017). The Development Student Worksheet on Theme "Environmenttal (Soil) Pollution With The Project Based Learning (PjBL) Which Science Process Skill. *Technological Pedagogical Content Knowledge*, 1–5.
- Rezagama, A., Hadiwidodo, M., Purwono, P., Ramadhani, N. F., & Yustika, M. (2016). Penyisihan Limbah Organik Air Lindi TPA Jatibarang Menggunakan Koagulasi-Flokulasi Kimia. *Teknik*, 37(2), 78. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37i2.12647>
- Ristiyanto, H. G. (2020). Analisis Kualitas Air Sungai Hasil Penyaringan Filter Berbasis Arang Sekam. *Simetris*, 14(2), 20–25. <https://doi.org/10.51901/simetris.v14i2.132>
- Riyanto, A. (2023). Fitoremediasi Kayu Apu, Eceng Gondok, dan Bambu Air untuk Menurunkan Kadar BOD Air Limbah Pabrik Tahu. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 10(1), 25–37.
- Roni, K. A. (2020). Pembuatan Biofliter dari Tumbuhan Fitoremediasi Apu sebagai Media Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Cair di Pertamina RU III Plaju. *Jurnal Redoks*, 5, 78–86.
- Roza, M., & Chania, R. (2018). Pengembangan LKPD Berbasis Praktikum pada Pembelajaran IPA di Madrasah Tsanawiyah. *Natural Science Journal*, 4(2), 664–675.
- 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>
- Santiyasa, I. W. (2016). *Modul Ajar Analisis Ragam*. Universitas Jember.
- Sanusi, A. A., Elanda, R. W., Alfonso, M. N., Bhakti, P., & Purwakarta, A. (2023). *Sistem Pendukung Keputusan Untuk Penentuan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kecamatan Sukatani*. 01(01), 139–145. <https://doi.org/10.22059/imj.2018.241834.1007312>
- Sari, R. N., & Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93–99.
- Sarwono, E., Azis, W. A., & Widarti, B. N. (2017). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar Bod, Cod, Dan Tss Pada Pengolahan Lindi Tpa Bukit

- Pinang Samarinda Menggunakan Sistem Aerasi Bertingkat Dan Sedimentasi. *Jurnal "Teknologi Lingkungan,"* 1, 20–26.
- Sasmitamihardja, D., & Siregar, A. H. (1996). Fisiologi Tumbuhan. In *Proyek Pendidikan Akademi Dirjen Dikti* (Vol. 12, Issue 1, p. 28). Depdikbud. <https://doi.org/10.35799/jis.12.1.2012.398>
- Satria, A. W., Rahmawati, M., & Prasetya, A. (2019). Processing Ammonia Nitrification and Phosphat Denitrification Wastewater with Submerged Biofilter. *Jurnal Teknologi Lingkungan,* 20(2), 243. <https://doi.org/10.29122/jtl.v20i2.3479>
- Selvam, S. B., Chelliapan, S., Din, M. F. M., Nasri, N. S., Abdullah, N., & Yuzir, A. (2017). Performance of an up-flow anaerobic sludge bed (UASB) reactor for treating landfill leachate containing heavy metals and formaldehyde. *Desalination and Water Treatment,* 86, 51–58. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21406>
- Sholehah, H., Yuliansari, D., Nurhidayah, & Arhamarrahimin. (2022). Phytoremediation of Waste Liquid Crackers Using Apu Wood (*Pistia stratiotes*) Water Plants. *Jurnal Sanitasi Dan Lingkungan,* 3(1), 3–7. <https://e-journal.sttl-mataram.ac.id>
- Silalahi, M., & Adinugraha, F. (2019). Penuntun Praktikum Morfologi Tumbuhan. In *Universitas Kristen Indonesia* (Issue 2). [http://repository.uki.ac.id/1589/1/Penuntun Morfologi Tumbuhan.pdf](http://repository.uki.ac.id/1589/1/Penuntun%20Morfologi%20Tumbuhan.pdf)
- Silviana, L., & Rachmadiarti, F. (2023). Fitoremediasi Fosfat dari Detergen Sintetis dengan Menggunakan Lemna minor dan Azolla microphylla. *Lentera Bio,* 12(3), 281–289. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>
- Situmorang. (2016). Analisis Perbedaan Saringan Pasir Aktif dan Arang Aktif Untuk Menurunkan Kadar Fe Dalam Air. *Jurnal Ilmiah Stya Negara Indonesia,* 39(1), 31–39. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v39i1.4619>
- Smith, G. M. (1995). *Cryptogamic Botany I & II*. Me Graw Hills Book Company.
- Sugianti, Y., & Astuti, L. P. (2018). Dissolved Oxygen Response Againsts Pollution and The Influence of Fish Resources Existence in Citarum River. *Jurnal Teknologi Lingkungan,* 19(2), 203. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2488>
- Suhari, D. K., & Pujiastuti, P. (2020). Analisis Chemical Oxygen Demand (COD) Air Limbah Tinta Industri Percetakan Menggunakan Metode Titrimetri. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa,* 1(1), 24–31.
- Tampubolon, K., Zulkifli, T. B., Hamid, & Alridiwersah. (2020). Review of Elusine indica Weed as Heavy Metals Phytoremediator. *Arkeologi Dan Perkebunan,* 3(1), 1–9.
- Tiara, M. W., Daningsih, E., & Candramila, W. (2024). Kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton pada musim kemarau dan penghujan Tahun 2022 di bagian hilir Sungai Penyangkat, Kecamatan Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Penelitian Sains,* 26(1), 40–51.
- Tri Andini, M., & Dewati, R. (2020). Kinetika Reaksi Pembentukan Kalium Sulfat dari Ekstrak Abu Janjang Kelapa Sawit dan Asam Sulfat. *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro Journal,* 1(2), 20–25.

www.chempro.upnjatim.ac.id

- Triastianti, R. D. (2023). Uji Efektivitas Penyerapan Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Typha Orientalis, Eichornia Crassipes Dan Equisetum Hyemale. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), 88–96.
- Ulfa, R. fauzia. (2018). Analisis Kadar Kadmium pada Air dan Sedimen Sungai Lesti Kabupaten Malang Menggunakan Metode Spektroskopi Serapan Atom (SSA). In *Universitas Islam Malang* (Vol. 1, Issue 1, pp. 1–15). <http://www.fao.org/3/I8739EN/i8739en.pdf><http://dx.doi.org/10.1016/j.adolescence.2017.01.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.childyouth.2011.10.07><https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23288604.2016.1224023><http://pdx.sagepub.com/lookup/doi/10>
- Wibowo, R., Taufiq-SPJ, N., & Riniatsih, I. (2020). Korelasi Nitrat Fosfat Sedimen terhadap Ekosistem Lamun di Pulau Sintok dan Bengkoang, Karimunjawa, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(3), 303–310. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27686>
- Widyasari, N. L. (2021). Kajian Tanaman Hiperakumulator Pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat. *Jurnal Ecocentrism*, 1(1), 17–24.
- Widyastuti, D., Suprayitno, D., & Rahardjo, P. P. (2023). Potensi Bambu Air Sebagai Tanaman Hiperakumulator Logam Berat Zn Pada Leachate Menggunakan Metode Fitoremediasi Potential of Water Bamboo as Zn Heavy Metal Hyperaccumulator in Leachate Using Phytoremediation Method. *Journal Green House*, 2(1), 32–37.
- Yunita, M., Asmoro, P., & Teknik, F. (2023). Efektivitas Penggunaan Gabungan Metode Biofilter Anerob dan Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar BOD, COD, dan TSS Pada Limbah Cair Domestik. 3(3), 157–168. <https://doi.org/10.53866/jimi.v3i3.386>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hitungan Manual

a. Uji Sidik Ragam BOD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

1) Menentukan derajat bebas (db)

$$\begin{aligned}db\ total &= (r.t) - 1 \\ &= (3.3) - 1 \\ &= 8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}db\ perlakuan &= t - 1 \\ &= 3 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}db\ galat &= t(r - 1) \\ &= 3(3 - 1) \\ &= 3(2) \\ &= 6\end{aligned}$$

2) Menentukan Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned}FK &= \frac{G^2}{r.t} \\ &= \frac{4425^2}{3.3} \\ &= \frac{19580625}{9} \\ &= 2175625\end{aligned}$$

3) Menentukan Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned}JK\ total &= JK\ seluruh\ nilai\ pengamatan - FK \\ &= (518^2 + 518^2 + 518^2 + 482^2 + 509^2 + 474^2 + 451^2 + \\ &= 485^2 + 470^2) - 2175625 \\ &= (26834 + 26834 + 26834 + 232324 + 259081 + \\ &= 224676 + 203401 + 235225 + 220900) - 2175625 \\ &= 2180579 - 2175625 \\ &= 4954\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{perlakuan} &= \frac{\sum(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\
 &= \frac{\sum 1554^2 + 1465^2 + 1406^2}{3} - 2175625 \\
 &= \frac{2414916 + 2146225 + 1976836}{3} - 2175625 \\
 &= 2179325,667 - 2175625 \\
 &= 2179325,667 - 2175625 \\
 &= 3700,666667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{galat} &= JK_{total} - JK_{perlakuan} \\
 &= 4954 - 3700,666667 \\
 &= 1253,33
 \end{aligned}$$

4) Menentukan Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
 KT_{perlakuan} &= \frac{JK_{perlakuan}}{db_{perlakuan}} \\
 &= \frac{3700,666667}{2} \\
 &= 1850,33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_{galat} &= \frac{JK_{galat}}{db_{galat}} \\
 &= \frac{1253,33}{6} \\
 &= 208,889
 \end{aligned}$$

5) Menentukan F_{hitung}

$$\begin{aligned}
 F_{hitung} &= \frac{KT_{perlakuan}}{KT_{galat}} \\
 &= \frac{1850,33}{208,889} \\
 &= 8,8579787 \\
 &= 8,858
 \end{aligned}$$

b. Uji Sidik Ragam BOD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

1) Menentukan derajat bebas (db)

$$\begin{aligned} db \text{ total} &= (r.t) - 1 \\ &= (3.3) - 1 \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ perlakuan} &= t - 1 \\ &= 3 - 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ galat} &= t(r - 1) \\ &= 3(3 - 1) \\ &= 3(2) \\ &= 6 \end{aligned}$$

2) Menentukan Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{G^2}{r.t} \\ &= \frac{4028^2}{3.3} \\ &= \frac{16224784}{9} \\ &= 1802753,778 \end{aligned}$$

3) Menentukan Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} JK \text{ total} &= JK \text{ seluruh nilai pengamatan} - FK \\ &= (602^2 + 602^2 + 602^2 + 401^2 + 353^2 + 360^2 + 295^2 + \\ &= 365^2 + 448^2) - 1802753,778 \\ &= (362404 + 362404 + 362404 + 160801 + 124609 \\ &= + 129600 + 87025 + 133225 + 200704) - \\ &= 1802753,778 \\ &= 1923176 - 1802753,778 \\ &= 120422,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{perlakuan} &= \frac{\Sigma(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\
 &= \frac{\Sigma 1806^2 + 1114^2 + 1108^2}{3} - 1802753,778 \\
 &= \frac{3261636 + 1240996 + 1227664}{3} - 1802753,778 \\
 &= \frac{5730296}{3} - 1802753,778 \\
 &= 1910098,67 - 1802753,778 \\
 &= 107344,889 \\
 JK_{galat} &= JK_{total} - JK_{perlakuan} \\
 &= 120422,22 - 107344,889 \\
 &= 13077,3333
 \end{aligned}$$

4) Menentukan Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
 KT_{perlakuan} &= \frac{JK_{perlakuan}}{db_{perlakuan}} \\
 &= \frac{107344,889}{2} \\
 &= 53672,44 \\
 KT_{galat} &= \frac{JK_{galat}}{db_{galat}} \\
 &= \frac{13077,33}{6} \\
 &= 2179,55556
 \end{aligned}$$

5) Menentukan F_{hitung}

$$\begin{aligned}
 F_{hitung} &= \frac{KT_{perlakuan}}{KT_{galat}} \\
 &= \frac{53672,44}{2179,556} \\
 &= 24,6254078 \\
 &= 24,625
 \end{aligned}$$

c. Uji Sidik Ragam COD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

1) Menentukan derajat bebas (db)

$$\begin{aligned} db \text{ total} &= (r.t) - 1 \\ &= (3.3) - 1 \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ perlakuan} &= t - 1 \\ &= 3 - 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ galat} &= t(r - 1) \\ &= 3(3 - 1) \\ &= 3(2) \\ &= 6 \end{aligned}$$

2) Menentukan Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{G^2}{r.t} \\ &= \frac{9605^2}{3.3} \\ &= \frac{92256025}{9} \\ &= 10250669,44 \end{aligned}$$

3) Menentukan Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} JK \text{ total} &= JK \text{ seluruh nilai pengamatan} - FK \\ &= (1125^2 + 1125^2 + 1125^2 + 1044^2 + 1064^2 + 1016^2 + \\ &= 990^2 + 1084^2 + 1032^2) - 10250669,44 \\ &= (1265625 + 1265625 + 1265625 + 1089936 + \\ &= 1132096 + 1032256 + 980100 + 1175056 + \\ &= 1065024) - 10250669,44 \\ &= 10271343 - 10250669,44 \\ &= 20673,55556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
JK_{perlakuan} &= \frac{\sum(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\
&= \frac{\sum 3375^2 + 3124^2 + 3106^2}{3} - 10250669,44 \\
&= \frac{11390625 + 9759376 + 9647236}{3} - 10250669,44 \\
&= \frac{30797237}{3} - 10250669,44 \\
&= 10265745,67 - 10250669,44 \\
&= 15076,22
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
JK_{galat} &= JK_{total} - JK_{perlakuan} \\
&= 20673,55556 - 15076,22 \\
&= 5597,33
\end{aligned}$$

4) Menentukan Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
KT_{perlakuan} &= \frac{JK_{perlakuan}}{db_{perlakuan}} \\
&= \frac{15076,22}{2} \\
&= 7538,11
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
KT_{galat} &= \frac{JK_{galat}}{db_{galat}} \\
&= \frac{5597,33}{6} \\
&= 932,889
\end{aligned}$$

5) Menentukan F_{hitung}

$$\begin{aligned}
F_{hitung} &= \frac{KT_{perlakuan}}{KT_{galat}} \\
&= \frac{7538,11}{932,889} \\
&= 8,080395426 \\
&= 8,08
\end{aligned}$$

d. Uji Sidik Ragam COD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

1) Menentukan derajat bebas (db)

$$\begin{aligned} db \text{ total} &= (r.t) - 1 \\ &= (3.3) - 1 \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ perlakuan} &= t - 1 \\ &= 3 - 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ galat} &= t(r - 1) \\ &= 3(3 - 1) \\ &= 3(2) \\ &= 6 \end{aligned}$$

2) Menentukan Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{G^2}{r.t} \\ &= \frac{8688^2}{3.3} \\ &= \frac{75481344}{9} \\ &= 8386816 \end{aligned}$$

3) Menentukan Jumlah Kuadrat (JK)

$$\begin{aligned} JK \text{ total} &= JK \text{ seluruh nilai pengamatan} - FK \\ &= (1326^2 + 1326^2 + 1326^2 + 851^2 + 760^2 + 762^2 + 634^2 \\ &= + 780^2 + 923^2) - 8386816 \\ &= (1758276 + 1758276 + 1758276 + 724201 + \\ &= 577600 + 580644 + 401956 + 608400 + 851929) \\ &= - 8386816 \\ &= 9019558 - 8386816 \\ &= 632742 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
JK_{perlakuan} &= \frac{\sum(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\
&= \frac{\sum 3978^2 + 2373^2 + 2337^2}{3} - 8386816 \\
&= \frac{15824448 + 5631129 + 5461569}{3} - 8386816 \\
&= \frac{26917182}{3} - 8386816 \\
&= 8971394 - 8386816 \\
&= 585578 \\
JK_{galat} &= JK_{total} - JK_{perlakuan} \\
&= 632742 - 585578 \\
&= 47164
\end{aligned}$$

4) Menentukan Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
KT_{perlakuan} &= \frac{JK_{perlakuan}}{db_{perlakuan}} \\
&= \frac{585578}{2} \\
&= 292789 \\
KT_{galat} &= \frac{JK_{galat}}{db_{galat}} \\
&= \frac{47164}{6} \\
&= 7860,667
\end{aligned}$$

5) Menentukan F_{hitung}

$$\begin{aligned}
F_{hitung} &= \frac{KT_{perlakuan}}{KT_{galat}} \\
&= \frac{292789}{7860,667} \\
&= 37,24734967 \\
&= 37,247
\end{aligned}$$

Lampiran 2. Hitungan dengan Software SPSS Ver 29.

a. Uji Homogenitas

1. Kadar BOD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar BOD	Based on Mean	3.727	2	6	.089
	Based on Median	1.356	2	6	.327
	Based on Median and with adjusted df	1.356	2	3.640	.363
	Based on trimmed mean	3.525	2	6	.097

2. Kadar BOD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar BOD	Based on Mean	3.457	2	6	.100
	Based on Median	2.475	2	6	.165
	Based on Median and with adjusted df	2.475	2	2.912	.235
	Based on trimmed mean	3.402	2	6	.103

3. Kadar COD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar COD	Based on Mean	2.993	2	6	.125
	Based on Median	2.279	2	6	.184
	Based on Median and with adjusted df	2.279	2	3.017	.249
	Based on trimmed mean	2.949	2	6	.128

4. Kadar COD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar COD	Based on Mean	2.963	2	6	.127
	Based on Median	2.288	2	6	.183
	Based on Median and with adjusted df	2.288	2	3.304	.238
	Based on trimmed mean	2.936	2	6	.129

b. Uji Sidik Ragam

1. Kadar BOD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

ANOVA

Kadar BOD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3700.667	2	1850.333	8.858	.016
Within Groups	1253.333	6	208.889		
Total	4954.000	8			

ANOVA Effect Sizes^{a,b}

		Point Estimate	95% Confidence Interval	
			Lower	Upper
Kadar BOD	Eta-squared	.747	.049	.849
	Epsilon-squared	.663	-.269	.798
	Omega-squared Fixed-effect	.636	-.232	.779
	Omega-squared Random-effect	.466	-.104	.638

a. Eta-squared and Epsilon-squared are estimated based on the fixed-effect model.

b. Negative but less biased estimates are retained, not rounded to zero.

2. Kadar BOD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

ANOVA

Kadar BOD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107344.889	2	53672.444	24.625	.001
Within Groups	13077.333	6	2179.556		
Total	120422.222	8			

ANOVA Effect Sizes^{a,b}

		Point Estimate	95% Confidence Interval	
			Lower	Upper
Kadar	Eta-squared	.891	.404	.934
BOD	Epsilon-squared	.855	.206	.912
	Omega-squared Fixed-effect	.840	.187	.902
	Omega-squared Random-effect	.724	.103	.821

a. Eta-squared and Epsilon-squared are estimated based on the fixed-effect model.

b. Negative but less biased estimates are retained, not rounded to zero.

3. Kadar COD Lindi pada Hari ke-3 perlakuan

ANOVA

Kadar COD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15076.222	2	7538.111	8.080	.020
Within Groups	5597.333	6	932.889		
Total	20673.556	8			

ANOVA Effect Sizes^{a,b}

		Point Estimate	95% Confidence Interval	
			Lower	Upper
Kadar	Eta-squared	.729	.025	.838
COD	Epsilon-squared	.639	-.300	.785
	Omega-squared Fixed-effect	.611	-.258	.764
	Omega-squared Random-effect	.440	-.114	.618

a. Eta-squared and Epsilon-squared are estimated based on the fixed-effect model.

b. Negative but less biased estimates are retained, not rounded to zero.

4. Kadar COD Lindi pada Hari ke-7 perlakuan

ANOVA

Kadar COD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	585578.000	2	292789.000	37.247	<,001
Within Groups	47164.000	6	7860.667		
Total	632742.000	8			

ANOVA Effect Sizes^{a,b}

		Point Estimate	95% Confidence Interval	
			Lower	Upper
Kadar COD	Eta-squared	.925	.552	.954
	Epsilon-squared	.901	.403	.939
	Omega-squared Fixed-effect	.890	.375	.932
	Omega-squared Random-effect	.801	.231	.872

a. Eta-squared and Epsilon-squared are estimated based on the fixed-effect model.

b. Negative but less biased estimates are retained, not rounded to zero.

c. Uji Lanjutan

1. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil) kadar BOD lindi hari ke-3 perlakuan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar BOD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound
LSD P0	P1	29.67*	11.801	.046	.79
	P2	49.33*	11.801	.006	20.46
P1	P0	-29.67*	11.801	.046	-58.54
	P2	19.67	11.801	.147	-9.21
P2	P0	-49.33*	11.801	.006	-78.21
	P1	-19.67	11.801	.147	-48.54

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar BOD

95% Confidence Interval

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Upper Bound
LSD	P0	P1	58.54
		P2	78.21
	P1	P0	-.79
		P2	48.54
	P2	P0	-20.46
		P1	9.21

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 208.889.

*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

2. Uji Lanjutan Duncan kadar BOD lindi hari ke-7 perlakuan

Homogeneous Subsets Kadar BOD

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
P2	3	369.33	
P1	3	371.33	
P0	3		602.00
Sig.		.960	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2179.556.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0,05.

3. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil) kadar COD lindi hari ke-3 perlakuan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar COD

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound
LSD	P0	P1	83.67*	24.938	.015	22.64

	P2	89.67*	24.938	.011	28.64
P1	P0	-83.67*	24.938	.015	-144.69
	P2	6.00	24.938	.818	-55.02
P2	P0	-89.67*	24.938	.011	-150.69
	P1	-6.00	24.938	.818	-67.02

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar COD

95% Confidence Interval

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Upper Bound
LSD	P0	P1	144.69
		P2	150.69
	P1	P0	-22.64
		P2	67.02
	P2	P0	-28.64
		P1	55.02

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 932.889..

*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

4. Uji Lanjutan BNT (Beda Nyata Terkecil) kadar COD lindi hari ke-7 perlakuan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar COD

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound
LSD	P0	P1	535.00*	72.391	<,001	357.87
		P2	547.00*	72.391	<,001	369.87
	P1	P0	-535.00*	72.391	<,001	-712.13
		P2	12.00	72.391	.874	-165.13
	P2	P0	-547.00*	72.391	<,001	-724.13
		P1	-12.00	72.391	.874	-189.13

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar COD

95% Confidence Interval

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Upper Bound
LSD	P0	P1	712.13
		P2	724.13
	P1	P0	-357.87
		P2	189.13
	P2	P0	-369.87
		P1	165.13

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 932.889..

*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Lampiran 3. Hitungan Validasi LKPD

a. Validasi Materi

1. Validator I

a) Validasi 1

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{33}{36} \times 100\%$$

$$P = 91,67\%$$

b) Validasi 2

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{36}{36} \times 100\%$$

$$P = 100\%$$

c) Rataan validator I

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{validasi 1} + \text{validasi 2}}{2}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{91,67\% + 100\%}{2}$$

$$\text{Rata - rata} = 95,83\%$$

2. Validator II

a) Validasi 1

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{28}{36} \times 100\%$$

$$P = 77,78\%$$

b) Validasi 2

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{34}{36} \times 100\%$$

$$P = 94,4\%$$

c) Rataan validator II

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{validasi 1} + \text{validasi 2}}{2}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{77,78\% + 98,4\%}{2}$$

$$\text{Rata - rata} = 86,1\%$$

b. Validasi Media

1. Validator I

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{44}{48} \times 100\%$$

$$P = 91,67\%$$

2. Validator II

$$P = \frac{\text{nilai yang diperoleh}}{\text{nilai total}} \times 100\%$$

$$P = \frac{47}{48} \times 100\%$$

$$P = 97,91\%$$

c. Rata-rata Akhir Validasi

1. Validasi Materi

$$\text{Nilai akhir} = \frac{\text{rataan validator 1} + \text{rataan validator 2}}{2}$$

$$\text{Nilai akhir} = \frac{95,83\% + 86,1\%}{2}$$

$$\text{Nilai akhir} = 90,97\%$$

2. Validasi Media

$$\text{Nilai akhir} = \frac{\text{rataan validator 1} + \text{rataan validator 2}}{2}$$

$$\text{Nilai akhir} = \frac{91,67\% + 97,91\%}{2}$$

$$\text{Nilai akhir} = 94,81\%$$

Lampiran 4. Data Sekunder Penelitian

Perlakuan	Ulangan	Suhu			DO			pH		
		HO	H3	H7	HO	H3	H7	HO	H3	H7
P0	1	34.8	28.9	25.8	0.6	1.2	1.7	9.66	8.05	8.2
	2	34.8	28.9	25.9	0.6	0.3	0.4	9.66	8.03	8.11
	3	34.8	28.9	26.7	0.6	0.7	1	9.66	8.03	8.08
Rata-rata		34.8	28.9	26.13	0.6	0.73	1.03	9.66	8.037	8.13
P1	1	34.8	27.3	25.5	0.6	1.3	0.7	9.66	7.91	7.92
	2	34.8	27.1	25.6	0.6	0.6	1.5	9.66	7.89	7.91
	3	34.8	27.5	25.6	0.6	0.4	1.4	9.66	7.89	7.85
Rata-rata		34.8	27.3	25.57	0.60	0.77	1.20	9.66	7.90	7.89
P2	1	34.8	27.5	25.3	0.6	2.1	1.7	9.66	7.79	7.82
	2	34.8	26.9	25.3	0.6	1.5	1	9.66	7.85	7.83
	3	34.8	27	25.4	0.6	0.2	1.8	9.66	7.83	7.81
Rata-rata		34.8	27.13	25.33	0.6	1.27	1.50	9.66	7.82	7.82

Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian



Persiapan Penelitian



Kolam Lindi TPA Jatibarang



Aklimatisasi Bambu Air



Kondisi Tanaman Bambu Air Hari Terakhir Akilmatisasi



Pembuatan Reaktor Fitoremediasi



Penimbangan Bambu Air



Pengambilan Sampel Lindi



Pengukuran Suhu Lindi H0 Perlakuan



Pengukuran DO Lindi H0 Perlakuan



Pengukuran pH Lindi H0 Perlakuan



Kondisi Tanaman Bambu Air H0 Perlakuan



Kondisi Akar Tanaman Bambu Air H0 Perlakuan



Kondisi Batang Tanaman Bambu Air H0 Perlakuan



Pengambilan Sampel Lindi H0 Perlakuan



Pengukuran Suhu Lindi H3 Perlakuan



Pengukuran DO Lindi H3 Perlakuan



Pengukuran pH Lindi H3 Perlakuan



Kondisi Tanaman Bambu Air H3 Perlakuan



Kondisi Akar Tanaman Bambu Air H3 Perlakuan



Kondisi Batang Tanaman Bambu Air H3 Perlakuan



Pengambilan Sampel Lindi H3
Perlakuan



Pengukuran Suhu Lindi H7 Perlakuan



Pengukuran DO Lindi H7 Perlakuan



Pengukuran pH Lindi H7 Perlakuan



Kondisi Tanaman Bambu Air H7
Perlakuan



Kondisi Akar Tanaman Bambu Air H7
Perlakuan



Kondisi Batang Tanaman Bambu Air
H7 Perlakuan



Pengambilan Sampel Lindi H7
Perlakuan

Lampiran 6. Modul Ajar

MODUL AJAR FASE E (SMA KELAS X)

A. INFORMASI UMUM

1. Identitas Sekolah
 - a. Nama Penyusun : Ade Ihtiar
 - b. Mata Pelajaran : Biologi
 - c. Satuan Pendidikan : SMA Negeri 6 Semarang
 - d. Jenjang Sekolah : Sekolah Menengah Atas (SMA)
 - e. Fase/ Kelas : E/X
 - f. Materi Pokok : Pencemaran Lingkungan
 - g. Total Alokasi Waktu : 6 JP
2. Capaian Pembelajaran

Elemen	Capaian Pembelajaran
Penguasaan Konsep	Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan untuk responsif terhadap isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah. Kemampuan tersebut antara lain mengamati, mempertanyakan dan memprediksi, merencanakan dan melakukan penelitian, memproses dan menganalisis data dan informasi, mengevaluasi dan merefleksi, serta mengkomunikasikan dalam bentuk proyek sederhana atau simulasi visual menggunakan aplikasi teknologi yang tersedia terkait dengan energi alternatif, pemanasan global, pencemaran lingkungan, nano teknologi, bioteknologi, kimia dalam kehidupan sehari-hari, pemanfaatan limbah dan bahan alam, pandemi akibat infeksi virus. Semua upaya tersebut diarahkan pada pencapaian tujuan pembangunan yang berkelanjutan (SDGs). Melalui keterampilan proses juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar pancasila.
Keterampilan Proses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengamati Mampu memilih alat bantu yang tepat untuk melakukan pengukuran dan pengamatan. Memperhatikan detail yang relevan dari obyek yang diamati. 2. Mempertanyakan dan Memprediksi

	<p>Mengidentifikasi pertanyaan dan permasalahan yang dapat diselidiki secara ilmiah. Peserta didik menghubungkan pengetahuan yang telah dimiliki dengan pengetahuan baru untuk membuat prediksi</p> <p>3. Merencanakan dan Melakukan Penyelidikan</p> <p>Peserta didik merencanakan penyelidikan ilmiah dan melakukan Langkah-langkah operasional berdasarkan referensi yang benar untuk menjawab pertanyaan. Peserta didik melakukan pengukuran atau membandingkan variabel terikat dengan menggunakan alat yang sesuai serta memperhatikan kaidah ilmiah</p> <p>4. Memproses, Menganalisis Data dan Informasi</p> <p>Menafsirkan informasi yang didapatkan dengan jujur dan bertanggung jawab. Menganalisis menggunakan alat dan metode yang tepat, menilai relevansi informasi yang ditemukan dengan mencantumkan referensi rujukan, serta menyimpulkan hasil penyelidikan</p> <p>5. Mengevaluasi dan Refleksi</p> <p>Mengevaluasi kesimpulan melalui perbandingan dengan teori yang ada. Menunjukkan kelebihan dan kekurangan proses penyelidikan dan efeknya pada data. Menunjukkan permasalahan pada metodologi dan mengusulkan saran perbaikan untuk proses penyelidikan selanjutnya.</p> <p>6. Mengomunikasikan Hasil</p> <p>Mengomunikasikan hasil penyelidikan secara utuh termasuk didalamnya pertimbangan keamanan, lingkungan, dan etika yang ditunjang dengan argument, Bahasa serta konvensi sains yang sesuai dengan konteks penyelidikan. menunjukkan pola berpikir sistematis sesuai format yang ditentukan.</p>
--	--

3. Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu:

- a. Menjelaskan jenis-jenis pencemaran lingkungan dan menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya pencemaran lingkungan serta dampaknya bagi kehidupan melalui kegiatan diskusi dengan pendekatan Saintifik menggunakan model *Project*

Based Learning (PjBL) yang dilaksanakan dengan jujur, disiplin, tanggung jawab, dan bekerja sama.

- b. Merumuskan gagasan pemecahan masalah pencemaran lingkungan melalui kegiatan praktikum dan pengamatan dengan pendekatan Saintifik menggunakan model *Project Based Learning* (PjBL) yang dilaksanakan dengan jujur, disiplin, tanggung jawab, dan bekerja sama.
4. Profil Pelajar Pancasila

Setelah mengkaji materi perubahan lingkungan seperti jenis pencemaran lingkungan dan pelestarian lingkungan dan pengolahannya diharapkan peserta didik dapat menerapkan karakter Profil Pelajar Pancasila dalam kehidupan sehari-hari sebagai berikut:

- a. Bernalar Kritis : Merefleksikan pemikiran dan proses berpikir dalam mengambil keputusan serta beragumen
- b. Kreatif : Memiliki kebebasan dalam berpikir untuk mendapatkan ide dalam mencari solusi permasalahan
- c. Bergotong Royong : Kolaborasi dengan teman, bekerja sama dalam menghadapi sebuah permasalahan.

5. Kompetensi Awal

Peserta didik telah mempunyai pengetahuan awal berupa definisi, ciri-ciri, dan komponen yang terdapat dalam lingkungan

6. Sarana dan Prasarana

Adapun sarana dan prasarana yang digunakan selama pembelajaran sebagai berikut:

- a. Sarana : Laptop Proyektor, Papan tulis, Spidol, dan Speaker
- b. Prasarana : Kelas dan Laboratorium

7. Target Peserta Didik

Target peserta didik pada kegiatan pembelajaran yaitu sebanyak 30-40 peserta didik, dengan kelompok target peserta didik yaitu peserta didik regular/ tipikal, peserta didik dengan kesulitan belajar, dan peserta didik dengan pencapaian tinggi

8. Pendekatan, Model, dan Metode Pembelajaran

- a. Pendekatan : Saintifik
- b. Metode : Diskusi dan Praktikum
- c. Model Pembelajaran : *Project Based Learning* (PjBL)

9. Media dan Bahan Pembelajaran

- a. Media : Video dan *Power Point*
- b. Bahan Ajar : Materi Ajar dan LKPD berbasis praktikum
- c. Sumber Belajar : Buku Biologi Kelas X, E-Book, dan Internet

B. KOMPONEN INTI

1. Assesment

Assesment	Aspek	Teknik	Bentuk Instrumen
Formatif	Afektif	Observasi	Lembar Observasi
	Psikomotor	Penilaian/ Unjuk Kerja	Rubrik Penilaian Kinerja
Sumatif	Kognitif	Tes Tertulis	Soal Pilihan Ganda dan Uraian

2. Pemahaman Bermakna

Peserta didik dapat memahami tentang pentingnya mempelajari pencemaran lingkungan dan cara pengolahan limbah.


3. Pertanyaan Pematik

Pernakahkah kalian berpikir kemanakah sampah-sampah yang kita hasilkan setiap harinya? Apabila semakin banyak sampah yang kalian buang, akan semakin banyak pula timbunan sampah tersebut di TPA, dampak apa yang akan terjadi ?

4. Kegiatan Pembelajaran

Pertemuan I

SINTAKS	KEGIATAN PEMBELAJARAN	ALOKASI WAKTU
A. Kegiatan Pendahuluan (10 menit)		
Orientasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru membuka kegiatan pembelajaran dengan mengucapkan salam salam dan menanyakan kabar peserta didik. b. Guru bersama dengan peserta didik berdoa menurut kepercayaan masing-masing sebelum kegiatan pembelajaran dimulai. c. Guru mengecek kehadiran peserta didik. d. Guru mengecek kesiapan peserta didik untuk memulai kegiatan pembelajaran. 	3 menit

Apersepsi	<p>Guru mengaitkan materi pembelajaran yang akan dipelajari dengan pengalaman peserta didik.</p>  <p>“Perhatikan gambar tersebut. Darimanakah sampah-sampah tersebut berasal ? Menurut kalian apabila sampah-sampah tersebut ditimbun begitu saja di TPA tanpa adanya pengolahan, apa yang akan terjadi ? Pada pertemuan hari ini kita akan mempelajari tentang pencemaran lingkungan. Mulai dari apa itu pencemaran, jenis-jenis pencemaran lingkungan, faktor-faktor penyebab pencemaran lingkungan, dan dampaknya pada kehidupan sehari-hari”</p>	4 menit
Motivasi	Guru memberikan motivasi agar peserta didik belajar aktif karena kegiatan pada pertemuan ini bermanfaat pada kehidupan sehari-hari untuk mengenal pencemaran lingkungan.	2 menit
Penyampaian Tujuan Pembelajaran	Guru menyampaikan tujuan pembelajaran	1 menit
B. Kegiatan Inti (70 menit)		
Pertanyaan Mendasar	a. Guru menampilkan gambar jenis-jenis pencemaran yang ada di lingkungan sekitar dan menanyakan kepada peserta didik “Apakah disekitar tempat tinggal kalian ada jenis pencemaran seperti ini?”	70 menit



Gambar 1



Gambar 2



Gambar 3

Kemudian guru kembali menanyakan kepada peserta didik “Peristiwa apakah yang terjadi pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3?”

- b. Peserta didik mengamati gambar yang ditampilkan dan menjawab pertanyaan yang diberikan oleh guru
- c. Guru menentukan fokus permasalahan lingkungan yang akan didiskusikan dan diselesaikan oleh peserta didik.

Mendesain Perencanaan Produk	<ol style="list-style-type: none"> a. Guru membagi kelas menjadi 6 kelompok b. Peserta didik berkelompok berdasarkan pembagian kelompok yang telah ditentukan c. Guru dan peserta didik menetapkan permasalahan-permasalahan lingkungan yang
------------------------------------	---

	<p>akan didiskusikan dan diselesaikan oleh masing-masing kelompok</p> <p>d. Guru menyampaikan tugas proyek yang akan dilaksanakan oleh peserta didik. "Nantinya kita akan melakukan praktikum berbasis proyek tentang fitoremediasi (bioremediasi dengan menggunakan tanaman) pada pencemaran air"</p> <p>e. Guru membagikan LKPD untuk masing-masing kelompok.</p>	
Menyusun Jadwal Pelaksanaan Proyek	<p>a. Guru membimbing peserta didik untuk melakukan diskusi kelompok untuk Menyusun jadwal pelaksanaan proyek yang akan dilaksanakan.</p> <p>b. Peserta didik mengumpulkan informasi dari berbagai literatur terkait permasalahan lingkungan yang telah ditetapkan dalam LKPD</p>	
C. Kegiatan Penutup (10 menit)		
Refleksi	Guru bersama dengan peserta didik meninjau kembali tugas proyek yang akan dilaksanakan di pertemuan selanjutnya.	3 menit
Apresiasi	Guru memberikan apresiasi kepada peserta didik yang sudah mengikuti pembelajaran hari ini	1 menit
Tindak Lanjut	Guru mengarahkan peserta didik memulai melaksanakan tugas proyek kelompok yang dilaksanakan secara mandiri	5 menit
Penutup dan Salam	Guru menutup kegiatan pembelajaran dan memberi salam penutup	1 menit

Pertemuan II : Praktikum Fitoremediasi

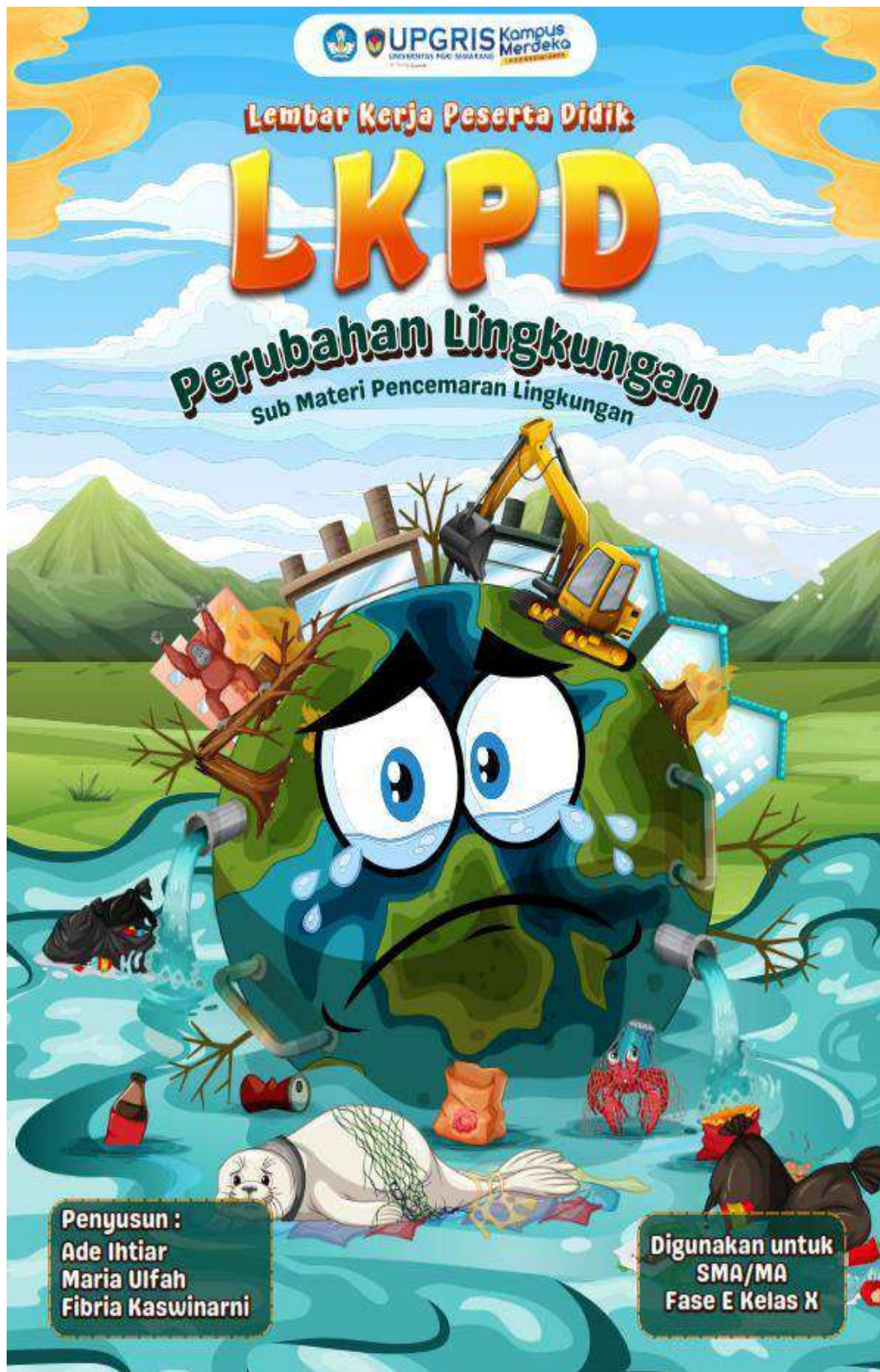
SINTAKS	KEGIATAN PEMBELAJARAN	ALOKASI WAKTU
A. Kegiatan Pendahuluan (10 menit)		

Orientasi	<p>e. Guru membuka kegiatan pembelajaran dengan mengucapkan salam salam dan menanyakan kabar peserta didik.</p> <p>f. Guru bersama dengan peserta didik berdoa menurut kepercayaan masing-masing sebelum kegiatan pembelajaran dimulai.</p> <p>g. Guru mengecek kehadiran peserta didik.</p> <p>h. Guru mengecek kesiapan peserta didik untuk memulai kegiatan pembelajaran.</p>	3 menit
Apersepsi	<p>Guru mengaitkan materi pembelajaran yang akan dipelajari dengan pengalaman peserta didik.</p> <p>“Pertemuan sebelumnya kita telah mempelajari jenis-jenis pencemaran lingkungan, faktor-faktor penyebab pencemaran lingkungan, dan dampaknya pada kehidupan sehari-hari. Masing-masing kelompok juga telah melakukan tugas proyek secara mandiri. Pada pertemuan ini hari ini kita akan menindaklanjuti hasil tugas proyek yang telah dilakukan masing-masing kelompok”</p>	4 menit
Motivasi	Guru memberikan motivasi agar peserta didik belajar aktif karena kegiatan pada pertemuan ini bermanfaat pada kehidupan sehari-hari untuk mengenal cara mengatasi pencemaran lingkungan.	2 menit
Penyampaian Tujuan Pembelajaran	Guru menyampaikan tujuan pembelajaran	1 menit
B. Kegiatan Inti (70 menit)		
Monitoring keaktifan dan perkembangan proyek	<p>a. Peserta didik mencari solusi permasalahan yang terdapat pada LKPD dengan kelompoknya masing-masing</p> <p>b. Peserta didik bersama dengan kelompoknya melaksanakan tugas proyek sesuai jadwal yang telah disusun sebelumnya</p>	70 menit

	<ul style="list-style-type: none"> c. Guru melakukan monitoring aktivitas peserta didik selama menyelesaikan tugas proyek d. Guru memfasilitasi peserta didik yang mengalami kesulitan selama menyelesaikan tugas proyek e. Peserta didik saling bertukar pikiran dengan anggota kelompok melalui kegiatan diskusi kelompok f. Peserta didik mengolah dan menganalisis informasi hasil diskusi kelompok g. Peserta didik Menyusun laporan akhir dari tugas proyek yang telah dilaksanakan. 	
Menguji hasil proyek	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru memberikan kesempatan kepada masing-masing kelompok untuk dapat menyampaikan hasil proyek yang telah dilakukan b. Peserta didik mempresentasikan hasil tugas proyek yang telah dilakukan bersama dengan kelompoknya c. Peserta didik menyampaikan pendapat dan pertanyaan kepada kelompok lain yang sedang presentasi d. Peserta didik membandingkan hasil tugas proyek antar kelompok 	
Evaluasi pengalaman dan hasil proyek	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengungkapkan perasaan dan pengalamannya selama melakukan tugas proyek b. Guru mengevaluasi kinerja peserta didik selama menyelesaikan tugas proyek c. Guru bersama peserta didik mengembangkan diskusi dalam rangka memperbaiki kinerja selama proses pembelajaran 	

	d. Guru memberikan penguatan materi pencemaran lingkungan kepada peserta didik	
C. Kegiatan Penutup (10 menit)		
Refleksi	Peserta didik meninjau kembali hasil tugas proyek yang sudah dilaksanakan	3 menit
Apresiasi	Guru memberikan apresiasi kepada peserta didik yang sudah mengikuti pembelajaran hari ini	1 menit
Tindak Lanjut	Guru mengarahkan peserta didik peserta didik untuk mempelajari materi pada pertemuan selanjutnya	5 menit
Penutup dan Salam	Guru menutup kegiatan pembelajaran dan memberi salam penutup	1 menit

Lampiran 7. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Praktikum





CAPAIAN PEMBELAJARAN

Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan untuk menciptakan solusi atas permasalahan berdasarkan isu nasional maupun global terkait perubahan lingkungan



TUJUAN PEMBELAJARAN

Peserta didik mampu merumuskan gagasan pemecahan masalah pencemaran lingkungan melalui kegiatan praktikum dan pengamatan dengan pendekatan Saintifik menggunakan model Project Based Learning (PjBl) yang dilaksanakan dengan jujur, disiplin, tanggung jawab, dan bekerja sama.

PETUNJUK BELAJAR

1. Baca dan pahami uraian materi yang disajikan pada masing-masing kegiatan pembelajaran. Apabila kurang jelas, segera tanyakan kepada guru.
2. Pelajari materi dalam LKPD secara berurutan.
3. Kerjakan setiap kegiatan diskusi dengan baik bersama dengan kelompok
4. Pada kegiatan praktikum, perhatikan hal-hal keselamatan kerja yang berisi petunjuk melakukan praktikum.
5. Setelah selesai melakukan praktikum, bersihkan dan kembalikan alat-alat ke tempatnya.
6. Selamat belajar dan semoga sukses

IDENTITAS

Kelas :

Kelompok :

Anggota Kelompok

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.



Cari Tau Kuy !

Perhatikan gambar disamping. Darimanakah sampah-sampah tersebut berasal ? Menurut kalian apabila sampah-sampah tersebut ditimbun begitu saja di TPA tanpa adanya pengolahan, apa yang akan terjadi



Tuliskan pendapat kalian !

Let's Go!

Perhatikan gambar berikut !



Gambar 1



Gambar 2



Gambar 3

Apakah di tempat tinggal kalian mengalami peristiwa tersebut ? Peristiwa apakah yang terjadi pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3?

.....

.....

.....

.....

Apakah penyebab peristiwa apakah yang terjadi pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3?

.....

.....

.....

.....

Pencemaran Lingkungan



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. Penurunan kualitas lingkungan dapat dilihat dari melemahnya fungsi dan tidak sesuai lagi dengan kegunaannya, berkurangnya pertumbuhan serta menurunnya kemampuan reproduksi. Pencemaran lingkungan disebabkan karena masuknya bahan pencemar atau zat-zat polutan ke dalam lingkungan tertentu.

BAHAN PENCEMAR

1 Dapat Diuraikan oleh Dekomposer



Gambar 1. Sampah Organik
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Limbah yang dapat diuraikan atau dikomposisi, baik secara alamiah yang dilakukan oleh dekomposer (bakteri dan jamur) atau disengaja oleh manusia. Contoh limbah ini antara lain limbah rumah tangga, kotoran hewan, daun, dan ranting.

2 Tidak Dapat Diuraikan oleh Dekomposer



Gambar 1. Sampah Anorganik
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Limbah yang tidak dapat diuraikan secara alamiah oleh dekomposer. Keberadaan limbah ini membahayakan, contohnya timbal, merkuri, kaca, styrofoam, kaleng, logam, karet, alat elektronik, bohlam lampu, keramik atau porselen, baterai asbes dan plastik.

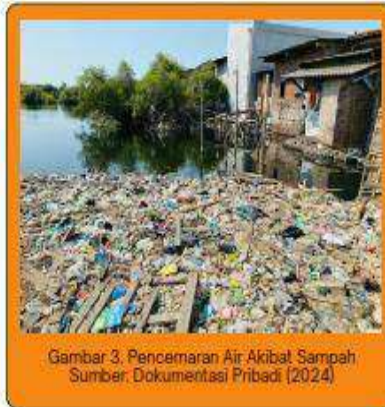
TAU GASHI?



Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), tahun 2021 Indonesia menghasilkan timbulan sampah sebanyak 29,4 juta ton, kemudian volume timbulan naik 21,7% pada tahun 2022 menjadi 35,83 juta ton. Berdasarkan provinsinya, volume terbanyak pada tahun 2022 berasal dari provinsi Jawa Tengah yakni 5,51 juta ton atau 15,39% dari total sampah nasional.

JENIS-JENIS PENCEMARAN

1 Pencemaran Air



Gambar 3. Pencemaran Air Akibat Sampah
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya; Sumber pencemaran air biasanya berasal dari limbah pertanian, limbah rumah tangga, limbah industri, dan penangkapan ikan menggunakan racun.

Secara fisika, air yang sehat adalah air yang jernih, tidak berasa, dan tidak berbau. Sedangkan secara kimia, air yang sehat harus terbebas dari bahan berbahaya. Secara biologi, air yang sehat harus memenuhi syarat tidak mengandung mikroba pathgen yang dapat menyebabkan penyakit.

2 Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah merupakan suatu keadaan dimana zat polutan masuk kedalam lingkungan tanah dan menurunkan kualitas tanah tersebut. Zat polutan tersebut bisa berupa zat-zat bahan pencemar baik dalam bentuk zat kimia, debu, panas, radiasi, dan mikroorganisme.

Pencemaran tanah terjadi melalui pencemaran langsung (penggunaan pupuk berlebih, pemberian pestisida, dan buangan limbah yang tidak dapat terurai seperti plastik) dan secara tidak langsung seperti melalui perairan dan udara yang mengandung polutan.



Gambar 4. Pencemaran Tanah Akibat Sampah
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Fakta Menarik



Gambar 5. Cairan Lindi
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Kalian Tau Ga Sih? Timbunan sampah yang dibiarkan begitu aja akan menghasilkan cairan hitam pekat berbau tidak sedap, biasa disebut lindi (leachate). Lindi (leachate) ini sangat berbahaya karena mengandung bahan organik, anorganik, dan pathogen yang tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan lho ...

JENIS-JENIS PENCEMARAN

3 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara ini diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Pencemaran Primer, pencemaran yang penyebabnya langsung oleh sumber-sumber pencemaran udara.
2. Pencemaran Sekunder, pencemaran yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer.



Gambar 6. Pencemaran Udara Akibat Asap Kendaraan dan Gas Metana Sampah
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

4 Pencemaran Suara



Gambar 7. Pencemaran Suara Akibat Kendaraan
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Pencemaran suara adalah gangguan pada lingkungan yang diakibatkan oleh bunyi dan suara yang mengakibatkan ketidaktentraman makhluk hidup di sekitarnya. Pencemaran suara disebabkan oleh suara-suara bervolume tinggi yang membuat daerah sekitar menjadi bising. Suara dengan intensitas tinggi jika berlangsung secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mengganggu manusia dan menyebabkan kecacatan. Contoh pencemaran suara yaitu suara mesin pabrik dan suara kendaraan.

SEKILASINFO



Kenalan dengan ISPU Yukkk !!!

ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara), berupa angka untuk memberikan informasi mutu kualitas udara yang tepat dan akurat kepada masyarakat dalam rangka pengendalian pencemaran udara. Pada ISPU terdapat berbagai kategori yang menunjukkan tingkat kualitas udara di area tersebut.



REMEDIASI

Remediasi merupakan upaya pemulihan kondisi lingkungan yang tercemar menjadi sehat kembali seperti semula dengan cara membuang atau menghancurkan senyawa kontaminasi dari lingkungan tersebut. Teknik remediasi bisa dilakukan dengan banyak cara, salah satunya dengan bantuan organisme.

Remediasi berdasarkan organisme pembersihnya dibedakan menjadi 2 yaitu :

Bioremediasi

Fitoremediasi

1 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan rangkaian proses penggunaan mikroorganisme untuk mereduksi atau menguraikan zat polutan kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan tidak berbahaya lagi untuk lingkungan. Ketika proses bioremediasi terjadi, enzim yang dihasilkan mikroorganisme akan memodifikasi zat polutan beracun dengan mengubah struktur kimia zat-zat polutan tersebut menjadi bentuk metabolit yang tidak beracun lagi. Saat ini, bioremediasi telah berkembang pada upaya pengolahan limbah yang sulit didegradasi, seperti logam berat, senyawa organik terhalogenasi, dan petroleum hidrokarbon. Mikroorganisme yang umumnya digunakan adalah bakteri dan jamur.

Adapun terdapat strategi atau langkah dalam Bioremediasi, antara lain:

Bioremediasi In Situ

Mikroorganisme diaplikasikan langsung pada area yang tercemar (tanah atau air) dengan kerusakan yang minimal. Bioremediasi InSitu terbagi atas :

1. Biostimulasi/ Bioventing : penambahan nutrient (N dan P) dan asektor elektron pada lingkungan pertumbuhannya.
2. Bioaugmentasi : menambahkan mikroorganisme dari luar pada subpermukaan pencemar
3. Biosparging : penambahan injeksi udara.

INFO MENARIK!



Tau ngga sih ?

Ternyata ada makhluk hidup yang sukanya makan plastik, tapi tetep sehat lho ...

Makhluk hidup tersebut adalah Bakteri *Ideonella Sakaiensis* 201-F6. Bakteri tersebut dapat mencerna plastik dengan mengeluarkan enzim PETase, sehingga dapat memutus ikatan kimia dalam plastik dan kemudian menyerap molekul tersebut.

Bioremediasi Ek Situ

Mikroorganisme diaplikasikan pada area yang tercemar (tanah atau air) yang telah dipindahkan dari tempat asalnya. Bioremediasi EkSitu terbagi atas :

1. Landfarming : tanah yang terkontaminasi digali dan dipindahkan pada lahan khusus.
2. Composting : kombinasi tanah terkontaminasi dengan tanah yang mengandung senyawa organik.
3. Biopiles : perpaduan landfarming dan composting
4. Bioreactor : menggunakan aqueous reaktor

REMEDIASI

2 Fitoremediasi



Fitoremediasi merupakan suatu cara atau metode penanganan limbah yang dilakukan secara alami dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agensia dalam pengurangan kadar zat-zat berbahaya pada limbah. Teknik fitoremediasi menjadi salah satu teknologi yang muncul berdasarkan gabungan kegiatan tanaman dan asosiasinya dengan komunitas mikroorganisme untuk menurunkan, memindahkan, atau mengurangi kandungan bahan beracun di dalam tanah dan air. Fitoremediasi ini bekerja untuk menstabilkan dan mendegradasi kandungan zat polutan dengan bertindak sebagai filter, serta memiliki adaptasi genetik dalam mengangani zat poluan yang terjadi dilingkungan.

Mekanisme Fitoremediasi

Adapun mekanisme fitoremediasi sebagai berikut :

A. Fitoakumulasi

Proses perakaran tumbuhan dan media menarik zat kontaminan serta mengakumulasi disekitar tanaman.

B. Rhizofiltrasi

Proses pengendapan zat kontaminan didaerah sekitar akar serta menempelnya kontaminan ke akar tanaman.

C. Fitostabilisasi

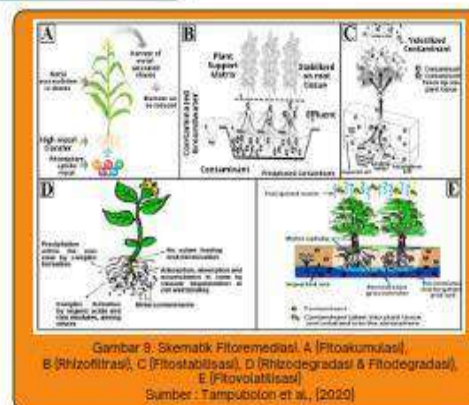
Penempelan zat-zat yang tidak dapat terserap oleh tanaman, tetapi zat-zat tersebut tetap menempel di akar sehingga tidak terbawa oleh aliran media.

D. Rhizodegradasi dan Fitodegradasi

Rhizodegradasi berupa proses aktivasi mikroba sebelum ke proses fitodegradasi. Fitodegradasi, ini berupa proses bagaian tumbuhan mengeluarkan enzyme berupa bahan kimia untuk mendegradasi zat kontaminan menjadi bahan yang tidak berbahaya

E. Fitovolatilisasi

Proses penarikan dan transpirasi zat kontaminan dalam bentuk larutan terurai sederhana oleh tumbuhan yang sifatnya tidak berbahaya lagi untuk kemudian ditranspirasikan ke atmosfer



LET'S TRY praktikum

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk menyebabkan produksi sampah terus meningkat. Banyaknya timbunan sampah menjadi permasalahan lingkungan yang serius apabila tidak dikelola dengan baik dan dibuang begitu saja ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Timbunan sampah tersebut akan mengeluarkan cairan hitam pekat berbau tidak sedap atau biasa disebut lindi (leachate). Lindi ini sangat berbahaya karena kandungan bahan kimia organik dan anorganik serta jumlah bakteri pathogen yang tinggi. Sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, bentuklah kelompok dan lakukan proyek miniriset untuk mengatasi permasalahan pencemaran air akibat lindi (leachate)





Lembar Kerja Peserta Didik



LKPD

A Judul Praktikum

Efektivitas Bambu Air Sebagai Agen Fitoremediasi Dizzolved Oxygen (DO) dan Suhu Lindi

B Tujuan

Peserta didik mampu merumuskan gagasan pemecahan masalah pencemaran lingkungan melalui kegiatan praktikum dan pengamatan dengan pendekatan Saintifik menggunakan model Project Based Learning (PjBL) yang dilaksanakan dengan jujur, disiplin, tanggung jawab, dan bekerja sama.

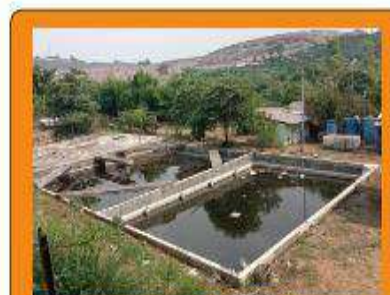
C Deskripsi Singkat



Gambar 1. Timbunan Sampah di TPA
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk menyebabkan produksi sampah terus meningkat. Banyaknya timbunan sampah menjadi permasalahan lingkungan yang serius apabila tidak dikelola dengan baik dan dibuang begitu saja ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Timbunan sampah tersebut akan mengeluarkan cairan hitam pekat berbau tidak sedap atau biasa disebut lindi (leachate).

Lindi timbul diantara timbunan sampah dan meresap kedalam lapisan tanah dibawahnya, serta melarutkan materi organik hasil dekomposisi. Lindi ini sangat berbahaya dan bersifat toksik karena adanya zat polutan, bahan-bahan kimia organik, anorganik, dan bakteri pathogen. Sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran lingkungan tersebut yaitu dengan fitoremediasi



Gambar 2. Kolam Lindi
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)



Gambar 3. Fitoremediasi Lindi dengan Tanaman Bambu Air
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Fitoremediasi merupakan suatu cara atau metode penanganan limbah yang dilakukan secara alami dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agensia dalam pengurangan kadar zat-zat berbahaya pada limbah. Teknik fitoremediasi menjadi salah satu teknologi yang muncul berdasarkan gabungan kegiatan tanaman dan asosiasinya dengan komunitas mikroorganisme untuk menurunkan, memindahkan, atau mengurangi kandungan bahan beracun di dalam tanah dan air. Fitoremediasi ini bekerja untuk menstabilkan dan mendegradasi kandungan zat polutan dengan bertindak sebagai filter, serta memiliki adaptasi genetik dalam mengangani zat poluan yang terjadi di lingkungan.

D Alat

Alat yang digunakan dalam praktikum ini, sebagai berikut :



Galon (3 buah)



Termometer (1 buah)



DO meter (1 buah)



Timbangan (1 buah)



Gelas Ukur (1 buah)



Label (1 buah)



ATH (1 buah)

E Bahan

Bahan yang digunakan dalam praktikum ini, sebagai berikut :



Lindi (7.5 liter)



Aquadés



Bambu Air

P Langkah Kerja

Adapun langkah kerja pada praktikum ini, sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Melakukan aklimatisasi tanaman bambu air menggunakan aquades selama 2 hari sebelum diberikan perlakuan air lindi
3. Mengisi masing-masing ember dengan air lindi sebanyak 2.5 liter dan diberi label P0, P1, dan P2
4. Meletakkan tanaman bambu air sesuai dengan perlakuan yang digunakan yaitu :
 - a. P0 : 2.5 liter lindi + 0 gr tanaman bambu air
 - b. P1 : 2.5 liter lindi + 187 gr tanaman bambu air
 - c. P2 : 2,5 liter lindi + 250 gr tanaman bambu air
5. Mengukur suhu lindi dengan menggunakan termometer air da kadar DO dengan menggunakan DO meter
6. Lakukan pengukuran pada hari ke-0, hari ke-3, dan hari ke-7
7. Mencatat pada tabel hasil pengukuran
8. Mendokumentasikan setiap kegiatan yang dilakukan
9. Menyusun laporan praktikum secara berkelompok

G Tabel Pengamatan

Isilah tabel pengamatan berdasarkan hasil praktikum yang telah anda lakukan !

Perlakuan	DO (mg/L)			Suhu (°C)		
	H0	H3	H7	H0	H3	H7
P0						
P1						
P2						

Keterangan :

- a. P0 : 2.5 liter lindi + 0 gr tanaman bambu air
- b. P1 : 2.5 liter lindi + 187 gr tanaman bambu air
- c. P2 : 2,5 liter lindi + 250 gr tanaman bambu air
- d. H0 : Hari ke 0 perlakuan
- e. H3 : Hari ke 3 perlakuan
- f. H7 : Hari ke 7 perlakuan



K Kesimpulan

Tuliskan kesimpulan dari praktikum yang telah dilakukan ! (10 point)

.....

.....

.....

.....

L Daftar Pustaka

Tuliskan sumber rujukan yang digunakan dalam mengerjakan laporan praktikum ini ! (10 point)

.....

.....

.....

.....

M Dokumentasi

Lampirkan dokumentasi selama praktikum ! (10 point)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Nilai Akhir	Paraf Guru

Soal Pengayaan

1. Bagaimana indikator lingkungan dapat dikatakan sebagai lingkungan yang tercemar? (20 point)

Jawaban

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Upaya apa yang dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan? (20 point)

Jawaban

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Apakah yang dimaksud dengan proses fitoremediasi? dan Bagaimana mekanisme penyerapan zat polutan selama proses tersebut berlangsung? (20 point)

Jawaban

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Bagaimana manfaat fitoremediasi dari segi lingkungan, kesehatan, dan ekonomi ?
(20 point)

Jawaban

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Berdasarkan hasil praktikum yang telah dilakukan, mengapa tumbuhan dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi lingkungan yang tercemar ? Jelaskan
(20 point)

Jawaban

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

$$\text{Nilai Akhir} = \frac{\text{skor yang didapat}}{\text{skor total}}$$

Keterangan :

1,0 - 4,0 : Kurang Sekali

5,1 - 5,5 : Kurang

5,6 - 7,0 : Cukup

7,1 - 8,5 : Baik

8,6 - 10 : Sangat Baik

Nilai Akhir	Paraf Guru

Lampiran 8. Instrumen Validasi LKPD

1. Instrumen Validasi Ahli Materi

INSTRUMEN VALIDASI LKPD PRAKTIKUM

AHLI MATERI

Mata Pelajaran : Biologi Fase/Kelas : E/F
 Pokok Bahasan : Pencemaran Lingkungan Semester : Genap

A. Data Responden

Nama Validator : Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd

Asal Lembaga : Universitas PGRI Semarang

B. Petunjuk Pengisian

1. Isilah instrument validasi LKPD ini dengan cermat dan teliti hingga selesai.
2. Berikan tanda centang (√) pada salah satu opsi jawaban yang menurut Saudara paling sesuai.
3. Pilihlah salah satu opsi jawaban yang sesuai dengan pendapat Saudara dengan keterangan sebagai berikut :
 Skor 4 : Sangat Baik
 Skor 3 : Baik
 Skor 2 : Kurang Baik
 Skor 1 : Tidak Baik

C. Instrumen Penilaian

No	Aspek	Penilaian	Opsi Jawaban			
			1	2	3	4
1.	Isi Materi	Kesesuaian materi LKPD berbasis praktikum dengan capaian pembelajaran				
		Kelengkapan isi materi pada LKPD berbasis praktikum				
		Kebenaran konsep materi yang disajikan dalam LKPD berbasis praktikum				
		Keluasan dan kedalaman materi pada LKPD berbasis praktikum				
		Kesesuaian ilustrasi visual dengan konsep materi pada LKPD berbasis praktikum				
2.	Penggunaan LKPD berbasis praktikum	Kejelasan petunjuk penggunaan LKPD berbasis praktikum				
		Interaktivitas peserta didik pada LKPD berbasis praktikum				

	dalam pembelajaran biologi	Kemampuan LKPD berbasis praktikum dalam memberikan pengalaman proses pada peserta didik				
		Kemandirian peserta didik dalam menggunakan LKPD berbasis praktikum				
Jumlah :						
Presentase :						

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Semarang, 2024
Validator,

Dr. Ling, Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
NIDN 0627088002

2. Instrumen Validasi Ahli Media

INSTRUMEN VALIDASI LKPD PRAKTIKUM**AHLI MEDIA**

Mata Pelajaran : Biologi Fase/Kelas : E/F
 Pokok Bahasan : Pencemaran Lingkungan Semester : Genap

A. Data Responden

Nama Validator : Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si

Asal Lembaga : Universitas PGRI Semarang

B. Petunjuk Pengisian

1. Isilah instrument validasi LKPD ini dengan cermat dan teliti hingga selesai.
2. Berikan tanda centang (√) pada salah satu opsi jawaban yang menurut Saudara paling sesuai.
3. Pilihlah salah satu opsi jawaban yang sesuai dengan pendapat Saudara dengan keterangan sebagai berikut :

Skor 4 : Sangat Baik

Skor 3 : Baik

Skor 2 : Kurang Baik

Skor 1 : Tidak Baik

C. Instrumen Penilaian

No	Aspek	Penilaian	Opsil Jawaban			
			1	2	3	4
1.	Penyajian	Kelogisan penyajian pada LKPD berbasis praktikum				
		Keruntutan penyajian pada LKPD berbasis praktikum				
		Kesesuaian dan ketepatan ilustrasi dengan materi pada LKPD berbasis praktikum				
		Variasi dalam penyajian pada LKPD berbasis praktikum				
2.	Kebahasaan	Keterbacaan pada LKPD berbasis praktikum				
		Kebakuan istilah pada LKPD berbasis praktikum				
		Ketepatan tata bahasa pada LKPD berbasis praktikum				
		Keefektifan penggunaan kalimat LKPD berbasis praktikum				

	Penggunaan <i>font</i> (jenis dan ukuran) pada LKPD berbasis praktikum				
	<i>Lay out</i> dan tata letak pada LKPD praktikum				
	Desain tampilan pada LKPD berbasis praktikum				
	Kualitas dan kesesuaian gambar pada LKPD berbasis praktikum				
Jumlah :					
Presentase :					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

.....

.....

.....

.....

Semarang,.....2024
Validator,

Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si
NIDN. 0624028102

dalam pembelajaran biologi	Kemampuan LKPD berbasis praktikum dalam memberikan pengalaman proses pada peserta didik				✓
	Kemandirian peserta didik dalam menggunakan LKPD berbasis praktikum				✓
Jumlah : 33					
Presentase : 91,67%					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Semarang, 12 Februari 2024
Validator,



Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
NIDN 0627088002

Validasi 2

INSTRUMEN VALIDASI LKPD PRAKTIKUM**AHLI MATERI**

Mata Pelajaran : Biologi Fase/Kelas : E/F
 Pokok Bahasan : Pencemaran Lingkungan Semester : Genap

A. Data Responden

Nama Validator : Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd

Asal Lembaga : Universitas PGRI Semarang

B. Petunjuk Pengisian

1. Isilah instrument validasi LKPD ini dengan cermat dan teliti hingga selesai.
2. Berikan tanda centang (✓) pada salah satu opsi jawaban yang menurut Saudara paling sesuai.
3. Pilihlah salah satu opsi jawaban yang sesuai dengan pendapat Saudara dengan keterangan sebagai berikut :

Skor 4 : Sangat Baik

Skor 3 : Baik

Skor 2 : Kurang Baik

Skor 1 : Tidak Baik

C. Instrumen Penilaian

No	Aspek	Penilaian	Opsi Jawaban			
			1	2	3	4
1.	Isi Materi	Kesesuaian materi LKPD berbasis praktikum dengan capaian pembelajaran				✓
		Kelengkapan isi materi pada LKPD berbasis praktikum				✓
		Kebenaran konsep materi yang disajikan dalam LKPD berbasis praktikum				✓
		Keluasan dan kedalaman materi pada LKPD berbasis praktikum				✓
		Kesesuaian ilustrasi visual dengan konsep materi pada LKPD berbasis praktikum				✓
2.	Penggunaan LKPD berbasis praktikum	Kejelasan petunjuk penggunaan LKPD berbasis praktikum				✓
		Interaktivitas peserta didik pada LKPD berbasis praktikum				✓

	dalam pembelajaran biologi	Kemampuan LKPD berbasis praktikum dalam memberikan pengalaman proses pada peserta didik				✓
		Kemandirian peserta didik dalam menggunakan LKPD berbasis praktikum				✓
Jumlah : 36						
Presentase : 100%						

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka

LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

.....

.....

.....

.....

.....

Semarang, 20 Februari 2024
Validator,



Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
NIDN 0627088002

b. Validator II

Validator I

INSTRUMEN VALIDASI LKPD PRAKTIKUM**AHLI MATERI**

Mata Pelajaran : Biologi Fase/Kelas : E/F
 Pokok Bahasan : Pencemaran Lingkungan Semester : Genap

A. Data Responden

Nama Validator : Dr. Ary Susatyo Nugroho, S.Si., M.Si

Asal Lembaga : Universitas PGRI Semarang

B. Petunjuk Pengisian

1. Isilah instrument validasi LKPD ini dengan cermat dan teliti hingga selesai.
2. Berikan tanda centang (✓) pada salah satu opsi jawaban yang menurut Saudara paling sesuai.
3. Pilihlah salah satu opsi jawaban yang sesuai dengan pendapat Saudara dengan keterangan sebagai berikut :

Skor 4 : Sangat Baik

Skor 3 : Baik

Skor 2 : Kurang Baik

Skor 1 : Tidak Baik

C. Instrumen Penilaian

No	Aspek	Penilaian	Opsi Jawaban			
			1	2	3	4
1.	Isi Materi	Kesesuaian materi LKPD berbasis praktikum dengan capaian pembelajaran			✓	
		Kelengkapan isi materi pada LKPD berbasis praktikum			✓	
		Kebenaran konsep materi yang disajikan dalam LKPD berbasis praktikum		✓		
		Keluasan dan kedalam materi pada LKPD berbasis praktikum				✓
		Kesesuaian ilustrasi visual dengan konsep materi pada LKPD berbasis praktikum			✓	
2.	Penggunaan LKPD berbasis praktikum	Kejelasan petunjuk penggunaan LKPD berbasis praktikum			✓	
		Interaktivitas peserta didik pada LKPD berbasis praktikum				✓

dalam pembelajaran biologi	Kemampuan LKPD berbasis praktikum dalam memberikan pengalaman proses pada peserta didik			✓	
	Kemandirian peserta didik dalam menggunakan LKPD berbasis praktikum			✓	
Jumlah : 28					
Presentase : 77,78 %					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

Perbaiki konsep pencemaran lingkungan, Remediasi, dan gambar-gambar di awal dan sejelas mungkin

Semarang, 27 Maret 2024
Validator,



Dr. Ary Susatyo Nugroho, S.Si., M.Si
NIDN 0026086901

dalam pembelajaran biologi	Kemampuan LKPD berbasis praktikum dalam memberikan pengalaman proses pada peserta didik				✓
	Kemandirian peserta didik dalam menggunakan LKPD berbasis praktikum			✓	
Jumlah : 34					
Presentase : 94,4%					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

Penulisan judul Bab cukup rapi

Semarang, 17 April 2024
Validator,


Dr. Ary Susatyo Nugroho, S.Si., M.Si
NIDN 0026086901

	Penggunaan <i>font</i> (jenis dan ukuran) pada LKPD berbasis praktikum				✓
	<i>Lay out</i> dan tata letak pada LKPD praktikum				✓
	Desain tampilan pada LKPD berbasis praktikum				✓
	Kualitas dan kesesuaian gambar pada LKPD berbasis praktikum		✓		
Jumlah : 44					
Presentase : 91,67%					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

1. Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

.....

.....

.....

.....

Semarang, 19 April 2024
Validator,



Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si
NIDN. 0624028102

	Penggunaan <i>font</i> (jenis dan ukuran) pada LKPD berbasis praktikum			✓	
	<i>Lay out</i> dan tata letak pada LKPD praktikum				✓
	Desain tampilan pada LKPD berbasis praktikum				✓
	Kualitas dan kesesuaian gambar pada LKPD berbasis praktikum				✓
Jumlah : 47					
Presentase : 97,91 %					

D. Kriteria Penilaian

Interval (%)	Kategori
81-100	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
61-80	Valid, dapat digunakan dengan revisi < 25%
41-60	Cukup valid, dapat digunakan dengan revisi < 50%
21-40	Kurang valid, dapat digunakan dengan revisi < 75%
0-20	Tidak valid, tidak dapat digunakan (revisi 100%)

E. Kesimpulan Akhir

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan isi dan kelayak penyajian secara menyeluruh, maka LKPD berbasis praktikum ini dinyatakan :

- ① Layak digunakan
2. Layak digunakan dengan revisi
3. Tidak layak digunakan

Komentar dan saran untuk perbaikan :

LKPD yg disusun sudah sangat baik tetapi hanya pada penggunaan font mungkin tdk harus selalu B bold.

Semarang, 15 Februari 2024
Validator,



Dr. Muhammad Syaiful Hayat, M.Pd
NIDN. 0420068402

Lampiran 10. Hasil Uji Laboratorium

1. Hasil Uji Laboratorium Lindi Hari ke-0 perlakuan



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tawang Kaya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



LAPORAN HASIL UJI
Report Of Analysis

No. Sertifikat : 660.3 / 0049 / II / 2024
Certificate's Number

Kode Contoh Uji : CA 01.16.1
Sample's Code

Nama Pelanggan : Ade Ihtiar (Mahasiswa Universitas PGRI Semarang)
Customer's Name

Alamat Pelanggan : Jl. Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Semarang
Customer's Address

Tanggal Pengambilan Contoh Uji :
Sampling Date

Tanggal Penerimaan Contoh Uji : Selasa, 16 Januari 2024
Samples Received On

Jumlah Contoh Uji : 1 Sampel
Number Of Samples

Nama Petugas Pengambilan Contoh Uji : Contoh uji disediakan oleh pihak pelanggan -
Sample's Officer Name

Keterangan :

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh sampel yang diujikan (*Analysis report only valid for the tested sample*)
2. Apabila contoh sampel yang diujikan telah disediakan oleh pihak customer, maka hasil uji hanya berlaku untuk contoh uji yang diterima oleh kami (*If the tested sample have been provided by the customer, then the analysis report applied only for the samples we received*)
3. Dilarang untuk mengutip/menggandakan dan/atau mempublikasikan isi laporan hasil uji ini tanpa ijin tertulis dari UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (*Not allowed to copy and/or to publish this analysis report without written permission from Laboratory*)

Semarang, 06 Februari 2024



Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang
Huda, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapes Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8564742 Fax: (024) 8664743



No. Sertifikat : 560.3 / 0049 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.16.1
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Sampel Air A
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 06 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	516	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1280	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1026	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	105	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	15,71	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	24,44	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,04	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0,02	SNI 6989.84-2019

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan peraturan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - JDN




Mengetahui,
Kepala Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang



Semarang, 06 Februari 2024
Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.

2. Hasil Uji Laboratorium Lindi Hari ke-3 perlakuan

	PEMERINTAH KOTA SEMARANG DINAS LINGKUNGAN HIDUP UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN <small>Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743</small>	 <small>Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan Pusat Penelitian 021091 P.J. ADILING-143/KA/UB</small>  <small>Kantor Nasional LP-1127/BN</small>
LAPORAN HASIL UJI		
<i>Report Of Analysis</i>		
No. Sertifikat <i>Certificate's Number</i>	:	660.3 / 0061 / II / 2024
Kode Contoh Uji <i>Sample's Code</i>	:	CA 01.19.1 - CA 01.19.7
Nama Pelanggan <i>Customer's Name</i>	:	Ade Ihtiar (Mahasiswa Universitas PGRI Semarang)
Alamat Pelanggan <i>Customer's Address</i>	:	Jl. Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Semarang
Tanggal Pengambilan Contoh Uji <i>Sampling Date</i>	:	-
Tanggal Penerimaan Contoh Uji <i>Samples Received On</i>	:	Jumat, 19 Januari 2024
Jumlah Contoh Uji <i>Number Of Samples</i>	:	7 Sampel
Nama Petugas Pengambilan Contoh Uji <i>Sample's Officer Name</i>	:	- Contoh uji disediakan oleh pihak pelanggan
Keterangan :		
1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh sampel yang diujikan (<i>Analysis report only valid for the tested sample</i>)		
2. Apabila contoh sampel yang diujikan telah disediakan oleh pihak customer, maka hasil uji hanya berlaku untuk contoh uji yang diterima oleh kami (<i>If the tested sample have been provided by the customer, then the analysis report applied only for the samples we received</i>)		
3. Dilarang untuk mengutip/menggandakan dan/atau mempublikasikan isi laporan hasil uji ini tanpa ijin tertulis dari UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (<i>Not allowed to copy and/or to publish this analysis report without written permission from Laboratory</i>)		
Semarang, 07 Februari 2024		
		 Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang Nurul Huda, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 680.3/0061/II/2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.1
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 1
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	518	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1125	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1912	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	195	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,01	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	12,8	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,035	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0,028	SNI 6989.84-2019

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 UPTD Kota Semarang
 LABORATORIUM LINGKUNGAN
 Kota Semarang
 Huda, S.T.

Semarang, 07 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang
 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 650.3 / 0061 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.2
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 2
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	482	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1044	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1285	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	80	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,15	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	8,61	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0.035	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0.024	SNI 6989.84-2019

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan penilaian, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.

Semarang, 07 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang


 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tajak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 660.3 / 0061 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.3
Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 3
Titik Koordinat Pengambilan : -
Kondisi Contoh Uji : Keruh
Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	509	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1064	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	972	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	92	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,12	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	8,85	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen, kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP- 1127 - IDN

Mengetahui,
Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang
Agus Sumartono, S.T.



Semarang, 07 Februari 2024
Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Rayo, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 660.3/0061/II/2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.4
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 4
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	474	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1016	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	953	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	173	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,03	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	8,3	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN



Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 UPTD Kota Semarang
 Huda, S.T.

Semarang, 07 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tawak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 660.3 / 0061 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.5
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 5
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -


No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	451	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	990	SNI 6989.2-2019
3	IDS	mg / L	1075	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	80	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	0,02	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	4,23	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,038	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0,03	SNI 6989.84-2019

* Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang
 Huda, S.T.



Semarang, 07 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raja, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8564742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 580.3 / 0061 / 11 / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.6
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 6
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	485	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1084	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	967	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	108	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,16	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	9,05	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya di peruntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang



Semarang, 07 Februari 2024
Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 560.3 / 0061 / 11 / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.19.7
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 7
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Selasa, 13 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

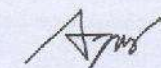
No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	470	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1032	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1025	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	74	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	0,08	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	5,91	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.





* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang
 Huda, S.T.



Semarang, 07 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.

3. Hasil Uji Laboratorium Lindi Hari ke-7 perlakuan

	PEMERINTAH KOTA SEMARANG DINAS LINGKUNGAN HIDUP UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN	 Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan Republik Indonesia 001/01/PJ.04/PLING-LI/0704/18
Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743		 Kantor Analisis Nasional LP-1127-JDN
LAPORAN HASIL UJI		
<i>Report Of Analysis</i>		
<hr/>		
No. Sertifikat	:	660.3 / 0072 / II / 2024
<i>Sertificate's Number</i>		
Kode Contoh Uji	:	CA 01.23.3 - CA 01.23.9
<i>Sample's Code</i>		
Nama Pelanggan	:	Ade Ihtiar (Mahasiswa Universitas PGRI Semarang)
<i>Customer's Name</i>		
Alamat Pelanggan	:	Jl. Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Semarang
<i>Customer's Address</i>		
Tanggal Pengambilan Contoh Uji	:	-
<i>Sampling Date</i>		
Tanggal Penerimaan Contoh Uji	:	Selasa, 23 Januari 2024
<i>Samples Received On</i>		
Jumlah Contoh Uji	:	7 Sampel
<i>Number Of Samples</i>		
Nama Petugas Pengambilan Contoh Uji	:	- Contoh uji disediakan oleh pihak pelanggan -
<i>Sample's Officer Name</i>		
Keterangan :		
1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh sampel yang diujikan (<i>Analysis report only valid for the tested sample</i>)		
2. Apabila contoh sampel yang diujikan telah disediakan oleh pihak customer, maka hasil uji hanya berlaku untuk contoh uji yang diterima oleh kami (<i>If the tested sample have been provided by the customer, then the analysis report applied only for the samples we received</i>)		
3. Dilarang untuk mengutip/menggandakan dan/atau mempublikasikan isi laporan hasil uji ini tanpa ijin tertulis dari UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (<i>Not allowed to copy and/or to publish this analysis report without written permission from Laboratory</i>)		
Semarang, 15 Februari 2024		
		Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang Huda, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 660.3 / 0072 / 11 / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.3
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 1
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	602	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	1326	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	926	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	148	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,66	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	16,86	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,034	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0,025	SNI 6989.84-2019

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN



Semarang, 15 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8964742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 560.3 / 0072 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.4
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 2
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	401	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / l	851	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	892	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	131	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / l.	2,72	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	12,78	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,04	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / l.	0,03	SNI 6989.84-2019

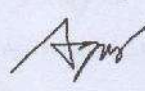
- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.



Semarang, 15 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raja, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8564742 Fax: (024) 8664743



No. Serdikot : 660.3 / 0072 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.5
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 3
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -


No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	353	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	760	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	902	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	137	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,71	SNI 86.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	12,62	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Khoirun Nisa, S.T.

Semarang, 15 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 850.3 / 0072 / N / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.6
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 4
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	360	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	762	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1082	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	142	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,33	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	12,03	SNI / APHA


- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

 Agus Sumartono, S.T.

Semarang, 15 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang


 Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 060.3/0072/II/2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.7
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 5
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	295	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	634	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	992	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	138	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,49	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	9,46	SNI / APHA
7	Tembaga (Cu)	mg / L	0,036	SNI 6989.84-2019
8	Kadmium (Cd)	mg / L	0,031	SNI 6989.84-2019

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN



Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 UPTD Kota Semarang
 Huda, S.T.

Semarang, 15 Februari 2024
 Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapak Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8664743



No. Sertifikat : 680.3 / 0072 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.8
 Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Keperluan Kegiatan Penelitian
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 6
 Titik Koordinat Pengambilan : -
 Kondisi Contoh Uji : Keruh
 Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
 Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
 Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / l.	365	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	780	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	1025	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	136	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,51	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	13,89	SNI / APHA

* Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN

Mengetahui,
Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang
Sidda, S.T.



Semarang, 15 Februari 2024
Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.



PEMERINTAH KOTA SEMARANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Tapek Raya, Tugurejo, Tugu, Semarang / Telp. (024) 8664742 Fax. (024) 8564743



No. Sertifikat : 660.3 / 0072 / II / 2024

LAPORAN HASIL UJI

Kode Contoh Uji : CA 01.23.9
Jenis Contoh Uji : Sampel Air Untuk Kebutuhan Kegiatan Penelitian
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Titik Pengambilan Contoh Uji : Titik 7
Titik Koordinat Pengambilan : -
Kondisi Contoh Uji : Keruh
Tanggal Pengambilan Contoh Uji : - Pukul : -
Target Hasil Pengujian Selesai : Jumat, 16 Februari 2024
Baku Mutu Pengujian : -

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD	mg / L	448	SNI 6989.72-2009
2	COD	mg / L	923	SNI 6989.2-2019
3	TDS	mg / L	926	Hanna HI-98310
4	TSS	mg / L	137	SNI 6989.3-2019
5	Amoniak	mg / L	2,2	SNI 06.6989.30-2005
6	N-Total	mg / L	10,67	SNI / APHA

- Keterangan : Hasil pengujian ini hanya diperuntukkan untuk keperluan kegiatan penelitian dan bukan untuk persyaratan perizinan, dokumen kajian lingkungan, dsb.

* Parameter yang dicetak tebal telah terakreditasi oleh KAN no. : LP - 1127 - IDN



Herul Huda, S.T.

Semarang, 15 Februari 2024
Manajer Teknis UPTD Laboratorium Lingkungan
Dinas Lingkungan Hidup
Kota Semarang

Agus Sumartono, S.T.

Lampiran 11. Metode Pengujian BOD sesuai SNI 6989.72-2009

SNI 6989.72:2009

Air dan air limbah – Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)

1 Ruang lingkup

Cara uji ini digunakan untuk menentukan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroba aerobik untuk mengoksidasi bahan organik karbon dalam contoh uji air limbah, effluen atau air yang tercemar yang tidak mengandung atau yang telah dihilangkan zat-zat toksik dan zat-zat pengganggu lainnya. Pengujian dilakukan pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari \pm 6 jam.

2 Acuan normatif

SNI 6989.57:2008, *Air dan air limbah – Bagian 57: Metoda pengambilan contoh air permukaan.*

SNI 6989.59:2008, *Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah.*

SNI 06-6989.14-2004, *Air dan air limbah - Bagian 14: Cara uji oksigen terlarut secara yodometri (modifikasi azida).*

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Membrane electrode method (4500-O G).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Pour Plate method (9215 B).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550 °C (2540 E).

3 Istilah dan definisi

3.1

air bebas mineral

air yang diperoleh dengan cara penyulingan ataupun proses demineralisasi sehingga diperoleh air dengan konduktivitas lebih kecil dari $1\text{ }\mu\text{S/cm}$

3.2

air pengencer

larutan jenuh oksigen yang telah diperkaya oleh nutrisi dan suspensi bibit mikroba

3.3

blanko

air pengencer yang diperlakukan seperti contoh uji

3.4

Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)

jumlah miligram oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerobik untuk menguraikan bahan organik karbon dalam 1 L air selama 5 hari pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

SNI 6989.72:2009**3.5****larutan jenuh oksigen**

air bebas mineral yang mengandung oksigen jenuh

3.6**Mix Liquor Suspended Solid (MLSS)**

jumlah miligram biomassa mikroba campuran yang tersuspensi dalam 1 L medium cair

3.7**oksigen terlarut nol hari**

kadar oksigen terlarut sebelum diinkubasi pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.8**oksigen terlarut lima hari**

kadar oksigen terlarut setelah diinkubasi selama 5 hari pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.9**suspensi bibit mikroba**

biakan mikroba yang dipelihara dan dipersiapkan untuk uji BOD

4 Cara uji**4.1 Prinsip**

Sejumlah contoh uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamat.

4.2 Bahan**4.2.1 air bebas mineral****4.2.2 larutan nutrisi****4.2.2.1 Larutan buffer fosfat;****a) Cara 1**

Larutkan 8,5 g kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4); 21,75 g dikalium hidrogen fosfat (K_2HPO_4); 33,4 g dinatrium hidrogen fosfat heptahidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dan 1,7 g amonium klorida (NH_4Cl) dalam air bebas mineral, kemudian encerkan hingga 1 L. Larutan ini menghasilkan pH 7,2.

b) Cara 2

Larutkan 42,5 g kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4); 1,7 g amonium klorida (NH_4Cl) dalam 700 mL air bebas mineral, atur pH larutan sampai 7,2 dengan penambahan larutan NaOH 30 %, kemudian encerkan hingga 1 L.

4.2.2.2 Larutan magnesium sulfat;

Larutkan 22,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan air bebas mineral, kemudian encerkan hingga 1 L.

SNI 6989.72:2009

4.2.2.3 Larutan kalsium klorida;

Larutkan 27,5 g CaCl_2 anhidrat dengan air bebas mineral, kemudian encerkan hingga 1 L.

4.2.2.4 Larutan feri klorida;

Larutkan 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan air bebas mineral, kemudian encerkan hingga 1 L.

4.2.3 Larutan suspensi bibit mikroba;

Sumber bibit mikroba dapat diperoleh dari limbah domestik, efluen dari pengolahan limbah secara biologis yang belum mengalami klorinasi dan penambahan desinfektan atau air sungai yang menerima buangan limbah organik. Sebaiknya bibit mikroba diperoleh dari pengolahan limbah secara biologis. Pembuatan suspensi bibit mikroba dapat dilakukan dengan 3 cara sebagai berikut:

4.2.3.1 Cara 1

- ambil supernatan dari sumber bibit mikroba (limbah domestik atau efluen pengolahan limbah);
- lakukan aerasi dengan segera terhadap supernatan tersebut, sampai akan digunakan.

4.2.3.2 Cara 2

Cara ini dilakukan berdasarkan standar *OECD guideline for testing of chemicals, 301 -1992 ready biodegradability*, dengan uraian sebagai berikut (Lampiran A):

- ambil air dari bak aerasi pada sistem pengolahan lumpur aktif;
- pisahkan partikel-partikel kasar dari air lumpur aktif dengan cara penyaringan;
- suspensi lumpur aktif yang telah dipisahkan dari partikel kasar, diendapkan selama 30 menit atau disentrifugasi pada putaran 100 x g selama 10 menit;
- endapan dipisahkan, kemudian endapan ditambahkan ke dalam medium mineral (Lampiran B) sampai kandungan padatan tersuspensi 3 g sampai dengan 5 g MLSS/L atau jumlah mikroba 10^6 sel/L sampai dengan 10^8 sel/L;
- homogenkan padatan tersuspensi dengan alat blender pada kecepatan sedang selama 2 menit, kemudian dianapkan selama ± 30 menit;
- supernatan dipisahkan dan digunakan sebagai bibit mikroba;
- sebelum digunakan, supernatan tersebut dikocok dengan menggunakan *shaker* selama 5 sampai dengan 7 hari pada suhu yang sama dengan suhu pengujian ($20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$).

CATATAN 1 Analisis perhitungan mikroba dilakukan menurut *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Pour Plate method (9215 B)*.

CATATAN 2 Analisis MLSS dilakukan menurut *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C (2540 E)*.

4.2.3.3 Cara 3

Suspensi bibit mikroba dapat dibuat dari BOD *seed* yang tersedia secara komersial.

4.2.4 Larutan air pengencer

- siapkan air bebas mineral yang jenuh oksigen atau minimal 7,5 mg/L, dalam botol gelas yang bersih, kemudian atur suhunya pada kisaran $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$;
- tambahkan ke dalam setiap 1 L air bebas mineral jenuh oksigen tersebut, masing-masing 1 mL larutan nutrisi (4.2.2) yang terdiri dari larutan bufer fosfat, MgSO_4 , CaCl_2 dan FeCl_3 ;

SNI 6989.72:2009

- c) tambahkan juga bibit mikroba ke dalam setiap 1 L air bebas mineral, untuk:
- Cara 1 : 1 mL sampai dengan 3 mL (bibit mikroba pada langkah 4.2.3.1) dan aduk sampai homogen; atau
 - Cara 2 : 1 mL sampai dengan 10 mL (bibit mikroba pada langkah 4.2.3.2) dan aduk sampai homogen; atau
 - Cara 3 : Bibit mikroba pada langkah 4.2.3.3, sesuai petunjuk penggunaan.

CATATAN 1 Penjuanan oksigen dapat dilakukan dengan cara mengalirkan udara ke dalam air dengan menggunakan aerator yang dilengkapi filter bebas organik. Apabila digunakan udara tekan, udara tersebut tidak boleh mengandung zat-zat lain, seperti minyak, air dan gas.

CATATAN 2 Larutan air pengencer, harus dibuat langsung saat akan digunakan.

CATATAN 3 Volume bibit mikroba yang ditambahkan, dapat berdasarkan hasil uji glukosa-asam glutamat yang menghasilkan nilai BOD $198 \text{ mg/L} \pm 30,5 \text{ mg/L}$.

4.2.5 Larutan glukosa-asam glutamat

Keringkan glukosa (p.a) dan asam glutamat (p.a) pada $103 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Timbang 150 mg glukosa dan 150 mg asam glutamat, kemudian larutkan dengan air bebas mineral hingga 1 L.

4.2.6 Larutan asam dan basa 1 N**4.2.6.1 Larutan asam sulfat**

Tambahkan 28 mL H_2SO_4 pekat sedikit demi sedikit ke dalam $\pm 800 \text{ mL}$ air bebas mineral sambil diaduk. Encerkan dengan air bebas mineral hingga 1 L.

4.2.6.2 Larutan natrium hidroksida

Larutkan 40 g NaOH dalam air bebas mineral hingga 1 L.

4.2.7 Larutan natrium sulfit;

Larutkan 1,575 g Na_2SO_3 dalam 1 L air bebas mineral. Larutan ini disiapkan segera saat akan digunakan.

4.2.8 Inhibitor nitrifikasi Allylthiourea (ATU);

Larutkan 2,0 g ATU ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$) dalam 500 mL air bebas mineral, kemudian tambahkan air bebas mineral hingga 1 L. Simpan pada suhu 4°C . Larutan ini stabil maksimum 2 minggu.

4.2.9 Asam asetat;

Encerkan 250 mL asam asetat (CH_3COOH) glasial (massa jenis 1,049) dengan 250 mL air bebas mineral.

4.2.10 Larutan kalium iodida 10%;

Larutkan 10 g kalium iodida (KI) dengan air bebas mineral hingga 100 mL.

4.2.11 Larutan indikator amilum (kanji).

Masukkan 2 g kanji dan $\pm 0,2 \text{ g}$ asam salisilat ke dalam 100 mL air bebas mineral panas kemudian aduk sambil dipanaskan hingga larut.

SNI 6989.72:2009

4.3 Peralatan

- a) botol DO;
- b) lemari inkubasi atau *water cooler*, suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, gelap;
- c) botol dari gelas 5 L – 10 L;
- d) pipet volumetrik 1,0 mL dan 10,0 mL;
- e) labu ukur 100,0 mL; 200,0 mL dan 1000,0 mL;
- f) pH meter;
- g) DO meter yang terkalibrasi;
- h) *shaker*;
- i) blender;
- j) oven; dan
- k) timbangan analitik.

CATATAN Apabila tidak tersedia lemari inkubasi atau *water cooler*, dapat digunakan ruang dengan kondisi suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, gelap.

4.4 Prosedur

4.4.1 Persiapan

4.4.1.1 Pengambilan contoh uji

Contoh uji di ambil berdasarkan SNI 06-6989.57-2008 untuk metoda pengambilan contoh air permukaan dan SNI 06-6989.59-2008 untuk metoda pengambilan contoh air limbah.

4.4.1.2 Penyimpanan contoh

a) Penyimpanan contoh sesaat (*grab samples*)

Suhu penyimpanan contoh sesaat dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 - Suhu penyimpanan contoh

Lama penyimpanan contoh	Suhu penyimpanan
< 2 jam	Tidak perlu disimpan di lemari pendingin
2 – 6 jam	$\leq 4^{\circ}\text{C}$
6 – 24 jam	$\leq 4^{\circ}\text{C}$ dan catat lama waktu penyimpanan.
> 24 jam	Contoh tidak mewakili uji BOD

b) Penyimpanan contoh gabungan (*composite samples*)

Selama pengumpulan, penyimpanan contoh dilakukan pada suhu $\leq 4^{\circ}\text{C}$. Batas periode pengumpulan contoh maksimal 24 jam dari waktu pengambilan contoh terakhir. Gunakan kriteria lama penyimpanan contoh gabungan, seperti pada pengambilan contoh sesaat (Tabel 1).

4.4.2 Persiapan pengujian

4.4.2.1 Pengaturan pH

SNI 6989.72:2009

- a) Kondisikan contoh uji pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- b) Lakukan pengukuran pH contoh, jika nilainya tidak dalam kisaran 6,0 - 8,0, atur pH pada kisaran tersebut dengan penambahan larutan H_2SO_4 atau NaOH .
- c) Penambahan asam atau basa tidak boleh mengakibatkan pengenceran lebih dari 0,5%.

4.4.2.2 Penghilangan zat-zat pengganggu**4.4.2.2.1 Contoh uji mengandung klorin sisa (*residual chlorine compounds*)**

- a) Ke dalam 100 mL contoh uji, tambahkan 10 mL larutan kalium iodida (10%), 10 mL asam asetat (1+1) dan beberapa tetes indikator larutan kanji. Jika terjadi warna biru, titrasi dengan larutan natrium sulfit sampai warna biru tepat hilang. Catat pemakaian larutan natrium sulfit (a mL).
- b) Ke dalam 100 mL contoh uji yang lain, tambahkan a mL larutan natrium sulfit, kocok dan biarkan 10 menit. Kemudian tambahkan 10 mL larutan kalium iodida dan 10 mL asam asetat. Bila campuran berwarna biru, titrasi dengan larutan natrium sulfit sampai warna biru tepat hilang. Catat pemakaian larutan natrium sulfit (b mL).
- c) Ke dalam 100 mL contoh uji yang akan diuji BOD nya, tambahkan (a + b) mL larutan natrium sulfit.

4.4.2.2.2 Contoh uji mengandung senyawa toksik lain

Terhadap contoh uji-contoh uji yang mengandung senyawa toksik, lakukan perlakuan khusus untuk menghilangkannya. Salah satu perlakuan adalah dengan cara pengenceran (lihat Tabel 2).

4.4.2.2.3 Contoh uji mengandung hidrogen peroksida

- a) kocok contoh uji dalam wadah terbuka selama 1-2 jam atau lebih;
- b) hentikan pengocokan dan ukur oksigen terlarut;
- c) biarkan tanpa pengocokan selama 30 menit;
- d) hidrogen peroksida dinyatakan hilang, bila dalam periode waktu 30 menit tanpa pengocokan tidak terjadi peningkatan konsentrasi oksigen terlarut.

4.4.2.2.4 Contoh uji mengandung oksigen terlarut lewat jenuh

Hilangkan kelebihan oksigen dengan cara pengocokan atau diaerasi pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

4.4.2.3 Larutan glukosa-asam glutamat

- a) kondisikan larutan glukosa-asam glutamat pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
- b) masukkan 20 mL larutan glukosa-asam glutamat (4.2.5) ke dalam labu ukur 1 L;
- c) encerkan dengan larutan air pengencer (4.2.4) hingga 1 L;
- d) aduk sampai homogen.

4.4.2.4 Larutan contoh uji

- a) kondisikan contoh uji pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
- b) dalam labu ukur, lakukan pengenceran contoh uji dengan larutan pengencer (4.2.4) hingga 1 L. Jumlah pengenceran sangat tergantung pada karakteristik contoh uji, dan dipilih pengenceran yang diperkirakan dapat menghasilkan penurunan oksigen terlarut minimal 2,0 mg/L dan sisa oksigen terlarut minimal 1,0 mg/L setelah inkubasi 5 hari.

SNI 6989.72:2009

- c) pengenceran contoh uji dapat dilakukan berdasarkan faktor pengenceran seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2 - Jumlah contoh uji

Jenis contoh uji	Jumlah contoh uji (%)	Faktor pengenceran
Limbah industri yang sangat pekat	0,01 – 1,0	10000 - 100
Limbah yang diendapkan	1,0 – 5,0	100 - 20
Efluen dari proses biologi	5,0 – 25	20 - 4
Air sungai	25 -100	4 - 1

Sumber: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Biochemical Oxygen Demand (5210).*

4.4.3 Pengujian

- siapkan 2 buah botol DO, tandai masing-masing botol dengan notasi A₁; A₂;
- masukkan larutan contoh uji (4.4.2.4) ke dalam masing-masing botol DO A₁ dan A₂; sampai meluap, kemudian tutup masing masing botol secara hati-hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara;
- lakukan pengocokan beberapa kali, kemudian tambahkan air bebas mineral pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup;
- simpan botol A₂ dalam lemari inkubator 20°C ± 1°C selama 5 hari;
- lakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol A₁ dengan alat DO meter yang terkalibrasi sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Membrane electrode method (4500-O G)* atau dengan metoda titrasi secara iodometri (modifikasi Azida) sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004. Hasil pengukuran, merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (A₁). Pengukuran oksigen terlarut pada nol hari harus dilakukan paling lama 30 menit setelah pengenceran;
- ulangi pengerjaan 4.4.3 butir e) untuk botol A₂ yang telah diinkubasi 5 hari ± 6 jam. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut 5 hari (A₂);
- lakukan pengerjaan 4.4.3 butir a) sampai f) untuk penetapan blanko dengan menggunakan larutan pengencer tanpa contoh uji (4.2.3). Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (B₁) dan nilai oksigen terlarut 5 hari (B₂);
- lakukan pengerjaan 4.4.3 butir a) sampai f) untuk penetapan kontrol standar dengan menggunakan larutan glukosa-asam glutamat (4.4.2.3). Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (C₁) dan nilai oksigen terlarut 5 hari (C₂);
- lakukan kembali pengerjaan 4.4.3 butir a) sampai butir f) terhadap beberapa macam pengenceran contoh uji.

CATATAN 1 Untuk mencegah terjadinya proses nitrifikasi dapat ditambahkan larutan inhibitor nitrifikasi (4.2.8) 1 mL per 1 L larutan pengencer.

CATATAN 2 Oksigen terlarut dalam air pengencer yang dikonsumsi mikroba selama 5 hari berkisar antara 0,6 mg/L – 1,0 mg/L.

CATATAN 3 Frekuensi pengerjaan untuk penetapan blanko (4.4.3. butir g) dan kontrol standar dengan glukosa-asam glutamat (4.4.3. butir h) dilakukan 5% - 10% per batch (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 20.

SNI 6989.72:2009

4.5 Pernyataan hasil

4.5.1 Perhitungan nilai BOD₅

a) Nilai BOD₅ contoh uji dihitung sebagai berikut:

$$\text{BOD}_5 = \frac{(A_1 - A_2) - \left(\frac{(B_1 - B_2)}{V_b} \right) V_c}{P}$$

dengan pengertian:

- BOD₅ adalah nilai BOD₅ contoh uji (mg/L);
 A₁ adalah kadar oksigen terlarut contoh uji sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L);
 A₂ adalah kadar oksigen terlarut contoh uji setelah inkubasi 5 hari (mg/L);
 B₁ adalah kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L);
 B₂ adalah kadar oksigen terlarut blanko setelah inkubasi 5 hari (mg/L);
 V_a adalah volume suspensi mikroba (mL) dalam botol DO blanko;
 V_b adalah volume suspensi mikroba dalam botol contoh uji (mL);
 P adalah perbandingan volume contoh uji (V₁) per volume total (V₂).

CATATAN Bila contoh uji tidak ditambah bibit mikroba V_a = 0.

4.5.2 Laporan hasil uji

Laporkan nilai BOD₅ dari hasil perhitungan yang memenuhi batas keberterimaan pengendalian mutu

5 Pengendalian mutu

- Gunakan bahan kimia pro analisis (p.a).
- Gunakan alat gelas bebas kontaminan.
- Gunakan alat ukur yang terkalibrasi atau terverifikasi.
- Dikerjakan oleh analis/penguji yang kompeten.
- Gunakan air bebas mineral yang bebas kontaminan, penurunan konsentrasi oksigen terlarut maksimum < 0,4 mg/L selama 5 hari.
- Nilai BOD₅ larutan kontrol standar glukosa-asam glutamat berada pada kisaran 198 ± 30,5 mg/L, dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Nilai BOD₅ kontrol standar dihitung sebagai berikut:

$$\text{BOD}_5 = \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{(B_1 - B_2)}{V_b} \right) V_a}{P}$$

dengan pengertian:

- BOD₅ adalah nilai BOD₅ kontrol standar (2 ulangan) (mg/L);
 C₁ adalah kadar oksigen terlarut glukosa-asam glutamat nol hari (mg/L);
 C₂ adalah kadar oksigen terlarut glukosa-asam glutamat 5 hari (mg/L);
 B₁ adalah kadar oksigen terlarut blanko nol hari (mg/L);
 B₂ adalah kadar oksigen terlarut blanko 5 hari (mg/L);

SNI 6989.72:2009

V_B adalah volume suspensi mikroba (mL) dalam botol DO blanko;
 V_s adalah volume suspensi mikroba per botol DO (mL) dalam standar glukosa-glutamat;
 P adalah perbandingan volume contoh uji dengan larutan pengencer.

- g) Perbedaan antara nilai replikasinya (RPD) tidak lebih dari 30%, rumus perhitungan %RPD adalah sebagai berikut :

Persen RPD

$$\%RPD = \frac{|\text{hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran}|}{(\text{hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran})/2} \times 100\%$$



Lampiran 12. Metode Pengujian COD sesuai SNI 6989.2-2009

SNI 6989.2:2009

Air dan air limbah – Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri

1 Ruang lingkup

Metode ini digunakan untuk pengujian kebutuhan oksigen kimiawi (COD) dalam air dan air limbah dengan reduksi $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ secara spektrofotometri pada kisaran nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 600 nm dan nilai COD lebih kecil atau sama dengan 90 mg/L pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 420 nm.

Metode ini digunakan untuk contoh uji dengan kadar klorida kurang dari 2000 mg/L.

2 Istilah dan definisi

2.1

blind sample

larutan dengan kadar analit tertentu yang diperlukan seperti contoh uji

2.2

Chemical Oxygen Demand (COD)

jumlah oksidan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ yang bereaksi dengan contoh uji dan dinyatakan sebagai mg O_2 untuk tiap 1000 mL contoh uji

2.3

kurva kalibrasi

kurva yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan absorbansi yang merupakan garis lurus

2.4

larutan blanko atau air suling bebas organik

air suling yang tidak mengandung senyawa organik atau mengandung senyawa organik dengan kadar lebih rendah dari batas deteksi atau perlakuannya sama dengan contoh uji

2.5

larutan induk

larutan baku kimia yang dibuat dengan kadar tinggi dan akan digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah

2.6

larutan baku

larutan induk yang diencerkan dengan air suling bebas organik, sampai kadar tertentu

2.7

larutan kerja

larutan baku yang diencerkan dengan air suling bebas organik, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi

2.8

spike matrix

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

SNI 6989.2:2009

3 Cara uji

3.1 Prinsip

Senyawa organik dan anorganik, terutama organik dalam contoh uji dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan Cr^{3+} kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm.

Untuk nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L kenaikan Cr^{3+} ditentukan pada panjang gelombang 600 nm. Pada contoh uji dengan nilai COD yang lebih tinggi, dilakukan pengenceran terlebih dahulu sebelum pengujian. Untuk nilai COD lebih kecil atau sama dengan 90 mg/L penurunan konsentrasi $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ditentukan pada panjang gelombang 420 nm.

3.2 Bahan

- a) air bebas organik;
- b) *digestion solution* pada kisaran konsentrasi tinggi.
Tambahkan 10,216 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150 °C selama 2 jam ke dalam 500 mL air suling. Tambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g HgSO_4 . Larutkan dan dinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 mL.
- c) *digestion solution* pada kisaran konsentrasi rendah.
Tambahkan 1,022 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150 °C selama 2 jam ke dalam 500 mL air suling. Tambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g HgSO_4 . Larutkan, dan dinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 mL.
- d) larutan pereaksi asam sulfat
Larutkan 10,12 g serbuk atau kristal Ag_2SO_4 ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat. Aduk hingga larut.
CATATAN Proses pelarutan Ag_2SO_4 dalam asam sulfat dibutuhkan waktu pengadukan selama 2 (dua) hari, sehingga digunakan *magnetic stirrer* untuk mempercepat melarutnya pereaksi.
- e) asam sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$).
Digunakan jika ada gangguan nitrit. Tambahkan 10 mg asam sulfamat untuk setiap mg $\text{NO}_2\text{-N}$ yang ada dalam contoh uji.
- f) larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP) = COD 500 mg O_2 /L
Gerus perlahan KHP, lalu keringkan sampai berat konstan pada suhu 110 °C. Larutkan 425 mg KHP ke dalam air bebas organik dan tepatkan sampai 1000 mL. Larutan ini stabil bila disimpan dalam kondisi dingin pada temperatur 4 °C ± 2 °C dan dapat digunakan sampai 1 minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba. Sebaiknya larutan ini dipersiapkan setiap 1 minggu.

CATATAN 1 Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat digunakan sebagai pengendalian mutu kinerja pengukuran.

CATATAN 2 Bila nilai COD contoh uji lebih besar dari 500 mg/L, maka dibuat larutan baku KHP yang mempunyai nilai COD 1000 mg O_2 /L.

CATATAN 3 Larutan baku KHP dapat menggunakan larutan siap pakai.

SNI 6989.2:2009

3.3 Peralatan

- a) spektrofotometer sinar tampak (400 nm sampai dengan 700 nm);
- b) kuvet;
- c) *digestion vessel*, lebih baik gunakan kultur tabung borosilikat dengan ukuran 16 mm x 100 mm; 20 mm x 150 mm atau 25 mm x 150 mm bertutup ulir. Atau alternatif lain, gunakan ampul borosilikat dengan kapasitas 10 mL (diameter 19 mm sampai dengan 20 mm);
- d) pemanas dengan lubang-lubang penyangga tabung (*heating block*);

CATATAN Jangan menggunakan oven.

- e) buret;
- f) labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL; 250,0 mL; 500,0 mL dan 1000,0 mL;
- g) pipet volumetrik 5,0 mL; 10,0 mL; 15,0 mL; 20,0 mL dan 25,0 mL;
- h) gelas piala;
- i) *magnetic stirrer*; dan
- j) timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg.

3.4 Persiapan dan pengawetan contoh uji

3.4.1 Persiapan contoh uji

- a) homogenkan contoh uji;

CATATAN Contoh uji dihaluskan dengan blender bila mengandung padatan tersuspensi.

- b) cuci *digestion vessel* dan tutupnya dengan H₂SO₄ 20 % sebelum digunakan;

3.4.2 Pengawetan contoh uji

Bila contoh uji tidak dapat segera diuji, maka contoh uji diawetkan dengan menambahkan H₂SO₄ pekat sampai pH lebih kecil dari 2 dan disimpan dalam pendingin pada temperatur 4 °C ± 2 °C dengan waktu simpan maksimum yang direkomendasikan 7 hari.

3.5 Pembuatan larutan kerja

Buat deret larutan kerja dari larutan induk KHP dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional yang berada pada rentang pengukuran.

3.6 Prosedur

3.6.1 proses *digestion*

- a) pipet volume contoh uji atau larutan kerja, tambahkan *digestion solution* dan tambahkan larutan pereaksi asam sulfat yang memadai ke dalam tabung atau ampul, seperti yang dinyatakan dalam tabel berikut:

SNI 6989.2:2009

Tabel 1 - Contoh uji dan larutan pereaksi untuk bermacam-macam *digestion vessel*

<i>Digestion Vessel</i>	Contoh uji (mL)	<i>Digestion solution</i> (mL)	Larutan pereaksi asam sulfat (mL)	Total volume (mL)
Tabung kultur				
16 x 100 mm	2,50	1,50	3,5	7,5
20 x 150 mm	5,00	3,00	7,0	15,0
25 x 150 mm	10,00	6,00	14,0	30,0
Standar Ampul:				
10 mL	2,50	1,50	3,5	7,5

- b) tutup tabung dan kocok perlahan sampai homogen;
 c) letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 °C, lakukan reflus selama 2 jam.

CATATAN Selalu gunakan pelindung wajah dan sarung tangan untuk melindungi dari panas dan kemungkinan menyebabkan ledakan tinggi pada suhu 150 °C.

3.6.2 Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

- a) hidupkan alat dan optimalkan alat uji spektrofotometer sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian COD. Atur panjang gelombangnya pada 600 nm atau 420 nm;
 b) ukur serapan masing-masing larutan kerja kemudian catat dan plotkan terhadap kadar COD;
 a) buat kurva kalibrasi dari data pada butir 3.7.1.b) di atas dan tentukan persamaan garis lurusnya;
 b) jika koefisien korelasi regresi linier (r) < 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi langkah pada butir 3.7.1 a) sampai dengan c) hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$.

3.6.3 Pengukuran contoh uji

3.6.3.1 Untuk contoh uji COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L

- a) dinginkan perlahan-lahan contoh yang sudah direfluks sampai suhu ruang untuk mencegah terbentuknya endapan. Jika perlu, saat pendinginan sesekali tutup contoh dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas;
 b) biarkan suspensi mengendap dan pastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih;
 c) ukur serapannya contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (600 nm);
 d) hitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi;
 e) lakukan analisa duplo.

3.6.3.2 Untuk contoh uji COD lebih kecil dari atau sama dengan 90 mg/L

- a) dinginkan perlahan-lahan contoh yang sudah direfluks sampai suhu ruang untuk mencegah terbentuknya endapan. Jika perlu, saat pendinginan sesekali tutup contoh dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas;
 b) biarkan suspensi mengendap dan pastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih;
 c) gunakan pereaksi air sebagai larutan referensi;
 d) ukur serapannya contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (420 nm);
 e) hitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi;
 f) lakukan analisa duplo.

CATATAN Apabila kadar contoh uji berada di atas kisaran pengukuran, lakukan pengenceran.

SNI 6989.2:2009

3.7 Perhitungan

Nilai COD sebagai mg O₂/L:

$$\text{Kadar COD (mg O}_2\text{/L)} = C \times f \quad (1)$$

Keterangan:

C adalah nilai COD contoh uji, dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L);

f adalah faktor pengenceran.

- Masukkan hasil pembacaan serapan contoh uji ke dalam regresi linier yang diperoleh dari kurva kalibrasi.
- Nilai COD adalah hasil pembacaan kadar contoh uji dari kurva kalibrasi.

4 Pengendalian mutu

- Gunakan bahan kimia pro analisa (pa).
- Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- Gunakan air suling bebas organik untuk pembuatan blanko dan larutan kerja.
- Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu simpan maksimum 7 hari.
- Perhitungan koefisien korelasi regresi linier (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- Lakukan analisis blanko dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per batch (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol kontaminasi.
- Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika Perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Difference*/RPD) lebih besar atau sama dengan 10 %, maka dilakukan pengukuran ketiga untuk mendapatkan RPD kurang dari 10 %.

Persen RPD:

$$\% \text{RPD} = \frac{|\text{hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran}|}{(\text{hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran}) / 2} \times 100\% \quad (2)$$

- Lakukan kontrol akurasi dengan larutan baku KHP dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per batch atau minimal 1 kali untuk 1 batch. Kisaran persen temu balik adalah 85 % sampai dengan 115 %.

Persen temu balik (% *recovery*, % R):

$$\% R = \left(\frac{A}{B} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

A adalah hasil pengukuran larutan baku KHP, dinyatakan dalam milligram per liter (mg/L);

B adalah kadar larutan baku KHP hasil penimbangan (*target value*), dinyatakan dalam milligram per liter (mg/L).

SNI 6989.2:2009**5 Presisi dan bias**



Standar ini telah melalui uji banding metode dengan peserta 7 laboratorium pada kadar 194 mg COD/L tanpa klorida dengan tingkat presisi (%RSD) 4,3 % dan akurasi (bias metode) 2,4 %, sedangkan pada kadar 48,6 mg COD/L tanpa klorida dengan peserta 8 laboratorium menghasilkan tingkat presisi (%RSD) 7,79 % dan akurasi (bias metode) 8,43 %.

6 Rekomendasi

- a) Lakukan analisis *blind sample*.
- b) Buat *control chart* untuk akurasi dan presisi analisis.



Lampiran 13. Permohonan Izin Penelitian

	UNIVERSITAS PGRI SEMARANG FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM DAN TEKNOLOGI INFORMASI PROGDI : PENDIDIKAN MATEMATIKA, BIOLOGI, FISIKA, DAN TEKNOLOGI INFORMASI Jalan Lontar Nomor 1 (Sidodadi Timur) Telepon (024) 8316377 Fax. (024) 8448217 Semarang – 50125
	<hr/>
Nomor : 155/AM/FPMIPATI/UPGRIS/XI/2023 Lamp : 1 (satu) berkas Perihal : Permohonan ijin penelitian	Semarang, 03 November 2023
<p>Kepada</p> <p>Yth. Kepala UPTD TPA Jatibarang Semarang</p> <p>di Tempat</p>	
<p>Kami beritahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa kami:</p> <p>N a m a : Ade Ihtiar</p> <p>NPM : 20320022</p> <p>Fak. / Program Studi : FPMIPATI / Pendidikan Biologi</p>	
<p>Akan mengadakan penelitian dengan judul:</p> <p>Efektivitas Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>) sebagai Agen Fitoremediasi BOD dan COD Lindi TPA Jatibarang dan Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi</p>	
<p>Sehubungan dengan hal tersebut kami mohon perkenan Bapak/Ibu memberikan ijin mahasiswa tersebut untuk melakukan penelitian.</p>	
<p>Atas perkenan dan kerja sama Bapak/Ibu, kami sampaikan terima kasih.</p>	
<p style="text-align: right;">Mengetahui, a.n. Dekan Wakil Dekan I,</p> <p style="text-align: right;">  <u>Eko Remo Mulvaningrum, S.Pd., M.Pd.</u> NPP. 088401210 </p>	

Lampiran 14. Lembar Pembimbingan Skripsi



UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
FAKULTAS PENDIDIKAN MIPA DAN TEKNOLOGI INFORMASI
 Jl. Sidodadi Timur Nomor 24 – Dr. Cipto Semarang – Indonesia
 Telp. (024) 8316377 Faks, 8448217 Email: upgris@gmail.com Homepage: ww.upgris.ac.id

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Ade Ihtiar
 NPM : 20320022
 Prodi : Pendidikan Biologi
 Judul Skripsi : Efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Agen Fitoremediasi Lindi TPA Jatibarang Terhadap BOD dan COD serta Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi
 Dosen Pembimbing I : Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
 Dosen Pembimbing II : Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si

No	Hari, Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf
1.	Jumat, 3 November 2023	ACC judul dan pengajuan proposal	
2.	Selasa, 21 November 2023	Revisi proposal	
3.	Jumat, 24 November 2023	Revisi proposal	
4.	Senin, 11 Desember 2023	Revisi proposal	
5.	Senin, 18 Desember 2023	ACC Proposal	
6.	Senin, 12 Februari 2024	Bimbingan LKPD	
7.	Kamis, 15 Februari 2024	Revisi LKPD	
8.	Senin, 19 Februari 2024	ACC LKPD	
9.	Kamis, 28 Maret 2024	Bimbingan Skripsi	
10.	Selasa, 16 April 2024	Revisi Skripsi	
11.	Kamis, 2 Mei 2024	Revisi Skripsi	
12.	Senin, 13 Mei 2024	Revisi minor draft skripsi	
13.	Jumat, 17 Mei 2024	ACC	
14.	Senin, 20 Mei 2024	Bimbingan Artikel	
15.	Senin, 27 Mei 2024	Revisi Artikel	
16.	Senin, 3 Juni 2024	ACC Artikel	

Dosen Pembimbing I,

Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
 NIDN 0627088002

Mahasiswa,

Ade Ihtiar
 NPM 20320022



UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
FAKULTAS PENDIDIKAN MIPA DAN TEKNOLOGI INFORMASI

Jl. Sidodadi Timur Nomor 24 – Dr. Cipto Semarang – Indonesia
 Telp. (024) 8316377 Faks, 8448217 Email: upgris@gmail.com Homepage: ww.upgris.ac.id

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Ade Ihtiar
 NPM : 20320022
 Prodi : Pendidikan Biologi
 Judul Skripsi : Efektivitas Bambu Air (*Equisetum hyemale*) sebagai Agen Fitoremediasi Lindi TPA Jatibarang Terhadap BOD dan COD serta Implementasi Hasil Penelitian pada Pembelajaran Biologi
 Dosen Pembimbing I : Dr. Ling. Maria Ulfah, S.Si., M.Pd
 Dosen Pembimbing II : Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si

No	Hari, Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf
1.	Rabu, 22 November 2023	Pengajuan judul + proposal	
2.	Rabu, 29 November 2023	Revisi Proposal 1	
3.	Kamis, 7 Desember 2023	ACC	
4.	Selasa, 26 Maret 2024	Bimbingan LKPD	
5.	Jumat, 19 April 2024	ACC LKPD	
6.	Selasa, 21 Mei 2024	Bimbingan Draft skripsi	
7.	Senin, 27 Mei 2024	Revisi skripsi	
8.	Jumat, 31 Mei 2024	Revisi skripsi	
9.	Senin, 3 Juni 2024	ACC	
10.	Rabu, 5 Juni 2024	Bimbingan Draft Artikel	
11.	Senin, 10 Juni 2024	Revisi Artikel	
12.	Rabu, 19 Juni 2024	ACC	

Dosen Pembimbing II,

Fibria Kaswinarni, S.Si., M.Si
 NIDN 0624028102

Mahasiswa,

Ade Ihtiar
 NPM 20320022