

**EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA
SAWIT MENGGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG
(*Salvinia molesta*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

**SARAH NAZILA
NIM. 180702027
Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG (*Salvinia molesta*)

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

SARAH NAZILA
NIM. 180702027

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,


Ilham Zulfahmi, S.Kel., M.Si
NIDN. 1316078801

Pembimbing II,


Arief Rahman, S.T., M.T
NIDN. 2010038901

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG (*Salvinia molesta*)

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Kamis, 9 Maret 2023
16 Sya'ban 1444
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua,

Sekretaris,


Ilham Zulfahmi, S.Kel., M.Si
NIDN. 1316078801


Arief Rahman, S.T., M.T
NIDN. 2010038901

Penguji I,

Penguji II,


Dr. Ir. Hj. Irhamni, S.T., M.T., IPM
NIDN. 2009118301


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIDN. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sarah Nazila
NIM : 180702027
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit
Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:


1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 9 Maret 2023
Yang Menyatakan,




Sarah Nazila
NIM.180702027

ABSTRAK

Nama : Sarah Nazila
NIM : 180702027
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)
Tanggal Sidang : 09 Maret 2023
Jumlah Halaman : 77
Pembimbing I : Ilham Zulfahmi, M.Si.
Pembimbing II : Arief Rahman, M.T.
Kata Kunci : efektivitas, limbah cair kelapa sawit, tanaman kiambang

Limbah cair kelapa sawit mengandung konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan padatan tersuspensi tinggi yang berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan efektivitas tanaman kiambang terhadap penurunan COD dan TSS serta laju pertumbuhan tanaman dalam limbah cair kelapa sawit. Variasi jumlah tanaman terdiri dari 5 perlakuan sebanyak 2 ulangan yaitu perlakuan kontrol (K0), perlakuan jumlah 6 tanaman (T6), dan perlakuan jumlah 12 tanaman (T12), kontrol jumlah 6 tanaman (K6) dan kontrol jumlah 12 tanaman (K12). Pengujian parameter dilakukan pada hari 5, hari 10 dan hari 15. Berdasarkan waktu remediasi, hari ke 15 pada setiap perlakuan (K0, T6, T12) diperoleh nilai penurunan secara berturut-turut yaitu COD (0,277%, 2,504%, 0,453%) dan TSS (0,437%, 0,168%, dan 1,099%). Berdasarkan variasi jumlah tanaman, perlakuan 12 tanaman mampu menurunkan konsentrasi COD yaitu 5,526%, 13,947%, 47,895%. dan TSS yaitu 6,111%, 37,037%, 66,111%. Tanaman kiambang mampu tumbuh dan berkembang selama 15 hari, pada perlakuan kontrol jumlah 6 dan 12 tanaman (K6 dan K12) dengan bertambah berat awal dari 10,6 g menjadi 21,2 g, berat basah akar awal dari 4,3 g menjadi 12,2 g, panjang akar terpanjang awal dari 10,7 cm menjadi 17,2 cm dan jumlah daun awal dari 18,2 helai menjadi 44 helai.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

ABSTRACT

Name : Sarah Nazila
Student ID Number : 180702027
Departement : Environmental Engineering
Title : *The Effectiveness of Palm Oil Liquid Waste Treatment
Kiambang Plant (Salvinia molesta).*
Date of Session : March 9, 2023
Number of Pages : 77
Advisor I : Ilham Zulfahmi, M.Si.
Advisor II : Arief Rahman, M.T.
Keywords : *effectiveness, palm oil liquid waste, kiambang plants.*

Palm oil liquid waste contains high concentrations of COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), and suspended solids which are harmful to the environment. This study aims to obtain the effectiveness of the kiambang plant in reducing COD and TSS as well as the plant growth rate in palm oil wastewater. Variation in the number of plants consisted of 5 treatments with 2 replications, namely the control treatment (K0), the total treatment of 6 plants (T6), and the total treatment of 12 plants (T12), the total control of 6 plants (K6) and the total control of 12 plants (K12). Parameter testing was carried out on day 5, day 10, and day 15. Based on remediation time, day 15 in each treatment (K0, T6, T12) the decreasing values were obtained successively, namely COD (0.277%, 2.504%, 0.453%) and TSS (0.437%, 0.168% and 1.099%). Based on the variation in the number of plants, the treatment of 12 plants was able to reduce COD concentrations, namely 5.526%, 13.947%, and 47.895%. and TSS namely 6.111%, 37.037%, 66.111%. Kiambang plants were able to grow and develop for 15 days, in the control treatment the number of 6 and 12 plants (K6 and K12) an increase in initial weight from 10.6 g to 21.2 g, initial root wet weight from 4.3 g to 12, 2 g, initial longest root length from 10.7 cm to 17.2 cm and some initial leaves from 18.2 to 44 strands.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, yang telah memberikan kita rahmat dan hidayah-Nya dalam kesempatan ini agar dapat memiliki kemampuan intelektual dalam perkembangan sains dan teknologi di muka bumi ini, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*)”**. Selawat dan salam juga tak lupa kita sanjung sajian terhadap junjungan kita yaitu baginda Nabi Muhammad saw yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan, seperti yang dapat dirasakan hingga saat ini.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Strata 1 Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak terkait, pertama-tama penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda (alm) Syafruddin Gade dan Ibunda Rusdiah yang telah memberikan kasih sayang, doa, nasehat, dukungan, semangat dan kesabarannya dalam setiap langkah hidup penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Maka pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah., MT., IPU, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, Banda Aceh
- 2) Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar- Raniry, Banda Aceh
- 3) Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., selaku Sekretaris Prodi Teknik Lingkungan dan juga sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membimbing selama perkuliahan berlangsung.

- 4) Bapak Ilham Zulfahmi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I selama proses penyelesaian penelitian ini yang telah banyak membimbing, mengarahkan, dan saran yang diberikan.
- 5) Bapak Arief Rahman, M.T. selaku Dosen Pembimbing II selama proses penyelesaian penelitian ini yang telah banyak membimbing, mengarahkan, dan saran yang diberikan.
- 6) Bapak-bapak dan Ibu-ibu serta Staf Pengajar di Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan informasi dan ilmu pengetahuan yang tak ternilai selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh.
- 7) Teman-teman seperjuangan Teknik Lingkungan Adinda, Silma, dan Vebri yang telah membantu, dukungan, motivasi dan semangat yang telah diberikan selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
- 8) Kepada sahabat seperjuangan sejak SMP, Arifah dan Dhiya yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
- 9) Kepada semua pihak-pihak yang berjasa lainnya yang telah membantu menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis harap kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan hanya dapat memanjatkan doa kepada-Nya, semoga Allah Swt selalu melimpahkan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, *Aamiin*.

Mengetahui, 20 Februari 2023

Penulis,

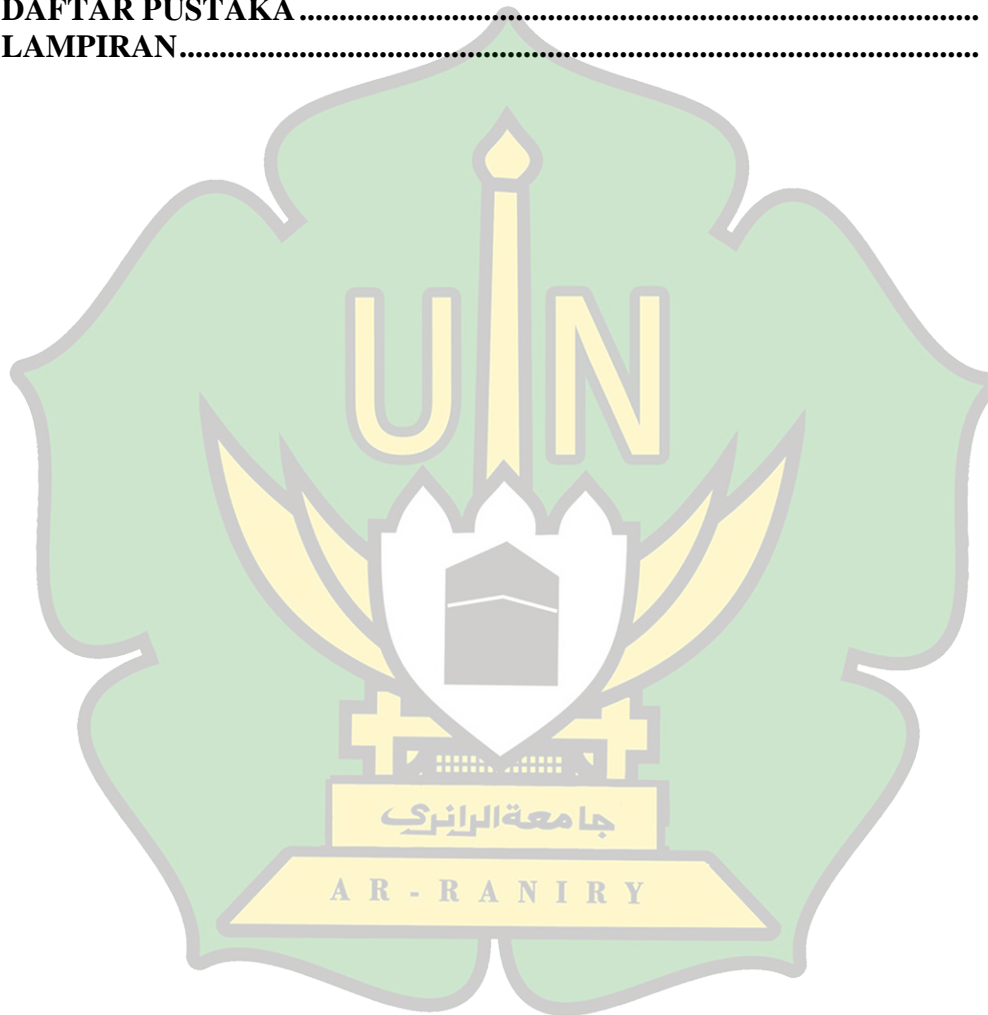
Sarah Nazila

NIM. 180702027

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Limbah	6
2.2 Limbah Industri Kelapa Sawit	6
2.2.1 Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit.....	7
2.2.2 Parameter Limbah.....	7
2.2.3 Dampak Pencemaran Limbah Cair Kelapa Sawit.....	9
2.3 Fitoremediasi	10
2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Fitoremediasi..	11
2.3.2 Aklimatisasi	12
2.4 Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>).....	13
2.5 Penelitian Terdahulu	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tahapan Penelitian.....	19
3.2 Lokasi.....	20
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	20
3.2.2 Lokasi Pengambilan Sampel.....	20
3.3 Teknik Pengambilan Sampel	21
3.4 Metode Penelitian	22
3.5 Variabel Penelitian.....	22
3.6 Tahap Persiapan	22
3.8 Prosedur Penelitian	25
3.9 Metode Pengukuran	26
3.9.1 Parameter Kimia	26
3.9.2 Pengukuran Pertumbuhan	27
3.10 Analisis Data.....	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hasil Eksperimen dan Pembahasan	30
4.2 Penurunan Konsentrasi COD.....	30
4.3 Penurunan Konsentrasi TSS (<i>Total Suspended Solid</i>).....	35
4.4 Pertumbuhan dan Morfologi Tanaman Kiambang	40
BAB V PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a)Bentuk Primer;(b)Sekunder;(c)Tersier.....	14
Gambar 2.2	Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>).....	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	Peta lokasi Pengambilan sampel.....	21
Gambar 3.3	Desain wadah perlakuan	23
Gambar 4.1	Grafik Persentase Penurunan Kadar COD oleh Jumlah Tanaman.....	31
Gambar 4.2	Grafik Persentase Penurunan Kadar TSS oleh Jumlah Tanaman.....	36
Gambar 4.3	Morfologi Akar Tanaman Menggunakan LKCS dan Air Hari 15. Skala Bar: 1 mm.	41



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit	7
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3.1 Alat dan bahan yang digunakan oleh peneliti.....	22
Tabel 3.2 Komposisi Pengenceran Pada Setiap Perlakuan.....	24
Tabel 3.3 Matriks perlakuan rangkaian percobaan.....	25
Tabel 4.1 Uji Pendahuluan Parameter 100% Limbah Cair Kelapa Sawit	29
Tabel 4.2 Uji Pendahuluan Parameter 50% Limbah Cair Kelapa Sawit	29
Tabel 4.3 Hasil Analisis Penurunan COD Pada Limbah Cair Kelapa Sawit...	30
Tabel 4.4 Penurunan Konsentrasi COD Berdasarkan Waktu Remediasi	33
Tabel 4.5 Hasil Analisis Penurunan TSS Pada Limbah Cair Kelapa Sawit	35
Tabel 4.6 Penurunan Konsentrasi TSS Terhadap Waktu Remediasi	38
Tabel 4.7 Hasil Analisis Pertumbuhan Kiambang pada Limbah Cair Kelapa Sawit dan pada Air (Tanpa Limbah).....	40



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	53
Lampiran 2 Surat Permohonan Penelitian.....	54
Lampiran 3 Surat Pengembalian Mahasiswa	55
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian.....	56
Lampiran 5 Hasil Analisis ANOVA Satu Arah.	62



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair kelapa sawit atau POME (*Palm oil mill effluent*) merupakan limbah organik agroindustri hasil samping pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit. Proses ini menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar (Raja dkk., 2021). Minyak kelapa sawit mentah diproduksi membutuhkan banyak air sebanyak 5-7,5 ton air, rata-rata lebih dari 50% air akan berakhir menjadi limbah cair kelapa sawit (David dkk., 2014).

Secara umum, limbah cair kelapa sawit dilakukan pengolahan menggunakan kolam *aerobik* dan *anaerobik* dimana pengolahan dengan metode tersebut membutuhkan lahan yang luas dan waktu tinggal cukup lama (Koto, 2021). Setiap pabrik kelapa sawit biasanya sudah memiliki IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) agar dapat mendegradasi bahan pencemar yang ada pada air limbahnya, di mana pengolahan air limbah kelapa sawit telah melalui beberapa tahapan yaitu tahapan fisik, kimia dan biologi. Meskipun telah dilakukan pengolahan, limbah cair kelapa sawit masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Mutmainah dkk., 2019).

Limbah cair kelapa sawit mengandung BOD sebesar 25.000 mg/L, COD sebesar 48.000 mg/L, TSS sebesar 31.170 ml/L, Nitrogen sebesar 41 ml/L dan minyak lemak sebanyak 3.075 ml/L dan pH sebesar 4.0 (Zulfahmi dkk., 2017). Limbah cair kelapa sawit mengandung TSS yang tinggi sebesar 20.000 mg/L, COD sebesar 25.000 mg/L, BOD sebesar 15.600 mg/L (Nasrullah dkk., 2017). Di mana kandungan limbah meliputi BOD, COD, TSS tersebut belum memenuhi standar baku mutu air limbah. berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. POME sering dianggap tidak beracun, namun keberadaan POME merupakan sumber utama terhadap pencemaran air yang mengandung tinggi unsur hara yang dapat menyebabkan *eutrofikasi* dan reduksi oksigen terlarut bila dibuang secara langsung ke badan air (Abd Kadir dkk., 2020).

Hal tersebut berpotensi terjadi pencemaran lingkungan karena akan mengganggu kehidupan biota air dan mikroorganismenya dalam perairan karena

keracunan. Jika limbah cair kelapa sawit dibuang langsung ke lingkungan, sebagian limbah akan mengalami pengendapan, terurai secara alami, penyerapan oksigen terlarut, menyebabkan kekeruhan dan mengeluarkan bau yang pekat sehingga dapat mengganggu ekosistem (Ilmannafian dkk., 2020).

Sebagaimana pada penelitian sebelumnya menyatakan adanya limbah cair kelapa sawit terungkap dapat menyebabkan perairan tercemar sehingga mengganggu kehidupan *fitoplankton* (Muliari & Zulfahmi, 2016). Selain itu, pencemaran akibat limbah cair kelapa sawit pada perairan juga dapat mengganggu daya pernapasan dan reproduksi ikan (Zulfahmi dkk., 2018).

Oleh karena itu, dalam menanggapi permasalahan tersebut, diperlukan suatu metode pengolahan dan pengendalian limbah yang memberikan hasil terbaik, dengan demikian dapat mengurangi dampak pencemaran. Ada banyak cara untuk meremediasi limbah kelapa sawit. Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi polutan pada limbah cair kelapa sawit dengan menggunakan teknik tradisional yang murah, efektif dan berkelanjutan.

Fitoremediasi yaitu metode yang digunakan untuk meremediasi kontaminan atau zat polutan dengan memanfaatkan tanaman yang tumbuh baik pada tanah maupun air permukaan. (Manzatu dkk., 2015). Fitoremediasi juga didasarkan pada kesanggupan tanaman dalam menstimulasi atau memaksimalkan aktivitas penurunan oleh mikroba yang berkaitan dengan akar tanaman (*phytostimulation*) dan aktivasi kontaminan yang terdapat didalam tanah atau air oleh eksudat melalui akar (Wuran dkk., 2018). Walaupun fitoremediasi lebih banyak terdapat keunggulannya, namun masih banyak dalam perindustrian tidak memanfaatkan fitoremediasi pada instalasi pengolahan air limbah karena belum banyak dikembangkan (Shrestha dkk., 2019).

Upaya remediasi limbah cair kelapa sawit telah dilakukan melalui berbagai macam metode dan tanaman. Fitoremediasi limbah cair kelapa sawit yang dilaporkan antara lain yaitu pada penelitian Baihaqi dkk., (2018) mengungkapkan bahwa fitoremediasi limbah cair menggunakan *Spirogya sp* mampu menurunkan kadar COD (63,6%). Pada penelitian Purwanti dkk., (2014) mengungkapkan bahwa tanaman *Typha latifolia* dan *Chlorella sp* efektif dalam menurunkan kadar COD (91,18% dan 77,8%) pada limbah cair kelapa sawit. Penelitian yang dilakukan

oleh Kandi, (2019) juga mengungkapkan bahwa fitoremediasi limbah cair kelapa sawit menggunakan kangkung mampu menurunkan kadar COD ($86,3 \pm 0,57\%$), nitrat ($21,5 \pm 1,50\%$) dan fosfat ($91,0 \pm 2,00\%$). Adapun tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi harus memiliki karakteristik yang khusus, seperti tingkat pertumbuhan dan produksi yang baik, memiliki ketahanan terhadap polusi yang tinggi, dan bersifat bioakumulator yang bagus (Febriani, 2018).

Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah tanaman kiambang (*Salvinia molesta*). Pemilihan tanaman ini didasarkan pada pertimbangan sifat hiperakumulasinya yang tinggi. Kiambang merupakan tanaman yang sangat baik dalam meremediasi limbah organik maupun anorganik karena tanaman kiambang ini bersifat hiperakumulator yang tinggi dan pertumbuhan yang sangat cepat. Selain dapat mendegradasi limbah organik tanaman kiambang juga dapat digunakan sebagai pendegradasi limbah anorganik karena kiambang memiliki sifat *absorpsi* yang tinggi (Wuran dkk., 2018).

Menurut penelitian sebelumnya Pribadi dkk., (2016), tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dengan reaktor sistem kontinu digunakan untuk mengolah limbah domestik mampu menghilangkan masing-masing 97%, 79%, 17% dan 34% dari amonia, COD, nitrit dan nitrat. Dalam penelitian Tangahu & Putri (2017), Tanaman kiambang mampu menurunkan kadar BOD dan COD yaitu 99% dalam limbah cair industri menggunakan sistem *Batch*. Pada penelitian Hibatullah (2019), dijelaskan bahwa tanaman kiambang mampu menghilangkan pada setiap kadar amoniak, COD dan BOD sebesar 100%, 58,00% dan 50,16% pada limbah domestik. Selain mampu menyisihkan berbagai zat polutan, laporan terkait fitoremediasi limbah cair kelapa sawit dan pengaruhnya terhadap kemampuan pertumbuhan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) masih belum diketahui.

Berdasarkan uraian masalah dan data di atas, penelitian ini diperlukan untuk mendapatkan efektivitas tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam menurunkan kadar COD, TSS dan laju pertumbuhan tanaman kiambang dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas variasi jumlah tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair kelapa sawit?
2. Bagaimana pengaruh waktu tinggal tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair kelapa sawit?
3. Bagaimana pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap pertumbuhan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*)?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mendapatkan efektivitas variasi jumlah tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair kelapa sawit.
2. Untuk mengetahui laju penyisihan kadar COD dan TSS oleh tanaman kiambang pada limbah cair kelapa sawit.
3. Untuk mengetahui pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap pertumbuhan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*)

1.4 Manfaat Penelitian

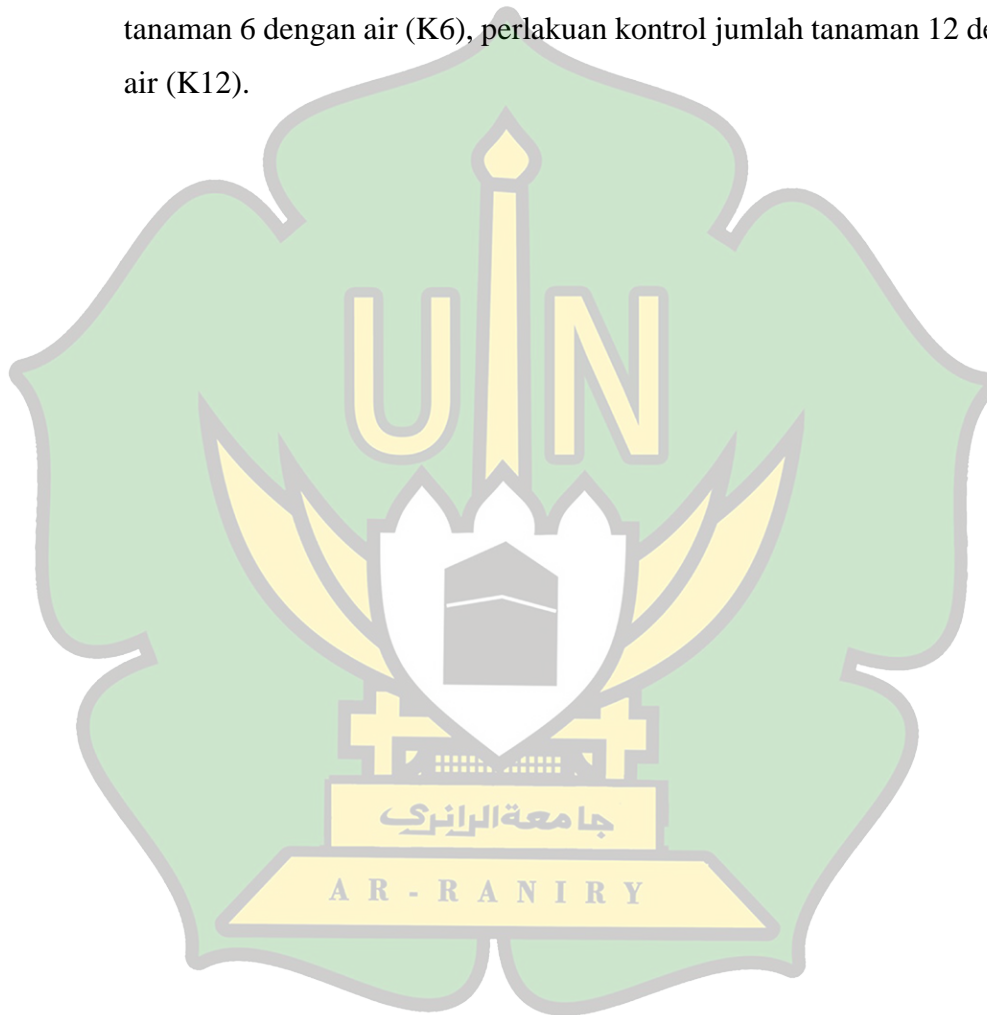
1. Menambah informasi mengenai kemampuan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meningkatkan kualitas limbah cair kelapa sawit
2. Diharapkan penelitian ini dapat memperoleh limbah cair kelapa sawit yang aman untuk dibuang pada lingkungan yang sesuai dengan standar baku mutu limbah cair kelapa sawit
3. Menjadi patokan dalam penelitian selanjutnya yang sejenis terkait pengolahan limbah cair kelapa sawit.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Konsentrasi limbah cair kelapa sawit yang digunakan yaitu sebesar 50%.
- 2) Penelitian hanya membahas pengukuran pada COD, TSS dan pertumbuhan tanaman kiambang, tidak dilakukan pengukuran parameter lainnya yang terdapat pada limbah cair kelapa sawit.

- 3) Parameter COD dan TSS hanya diukur pada wadah perlakuan yang menggunakan limbah cair kelapa sawit yaitu perlakuan kontrol tanpa tanaman (K0), perlakuan jumlah tanaman 6 (T6) dan perlakuan jumlah 12 tanaman (T12).
- 4) Parameter pertumbuhan diukur pada setiap wadah perlakuan yang menggunakan tanaman yaitu perlakuan jumlah tanaman 6 limbah (T6), perlakuan jumlah tanaman 12 limbah (T12), perlakuan kontrol jumlah tanaman 6 dengan air (K6), perlakuan kontrol jumlah tanaman 12 dengan air (K12).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Limbah

Limbah yaitu bahan yang dibuang atau tidak digunakan yang dapat menyebabkan dampak negatif bagi masyarakat apabila tidak dikelola dengan benar. Limbah merupakan hasil yang diperoleh dari aktivitas manusia baik dari hasil proses produksi dari kegiatan industri maupun kegiatan rumah tangga (Faizah dkk., 2021). Oleh sebab jumlah penduduk bumi yang bertambah hingga mencapai miliaran, sehingga menimbulkan jumlah limbah yang sudah cukup banyak. Limbah sudah jadi permasalahan di suatu daerah, khususnya di wilayah perkotaan. Sumber tumpukan limbah kota yang kian bertambah baik secara kuantitas ataupun ragamnya, sudah ikut menyumbangkan limbah yang signifikan pada kemunduran area atau pada suatu lingkungan. Kemunduran tersebut dapat dilihat berdasarkan aspek kebersihan area dan estetika serta pergantian ekologi (Sunarsih, 2018).

2.2 Limbah Industri Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit di Indonesia merupakan yang terbesar di dunia. Saat ini kelapa sawit telah diusahakan dalam bentuk perkebunan dan pabrik pengolahan kelapa sawit hingga menjadi minyak dan produk turunan (Fauzi dkk., 2012). Limbah industri kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan pada saat pengolahan kelapa sawit. Limbah jenis ini digolongkan dalam jenis yaitu limbah padat dan limbah cair (Sunarsih, 2018).

a) Limbah Padat

Limbah padat adalah hasil buangan industri yang berupa padatan, lumpur atau bubur yang berasal dari suatu proses pengelolaan industri. Limbah padat pasti akan berdampak negatif kepada lingkungan hidup jika tidak ada pengelolaan yang baik dan benar, dengan adanya limbah padat di dalam lingkungan hidup maka dapat menimbulkan pencemaran. Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit ialah tanda kosong, serat dan tempurung.

(b) Limbah Cair

Limbah cair adalah sisa-sisa yang diperoleh dari aktivitas rumah tangga, industri, air permukaan dan lain sebagainya dimana sisa-sisa tersebut menjadi limbah cair yang kemudian dibuang ke lingkungan sehingga dapat mengganggu

kualitas lingkungan. Limbah cair kelapa sawit memiliki karakteristik seperti kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solids*), Kandungan minyak dan lemak yang tinggi, kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang tinggi. Limbah cair kelapa sawit mengandung konsentrasi yang kental yang berwarna kecoklatan, dengan kandungan yang dimiliki meliputi air sebanyak 95-96%, minyak sebanyak 0,6-0,7%, dan total padatan sebanyak 4-5%, terutama limbah padat yang diperoleh dari buah kelapa sawit (Ilmannafian dkk., 2020). Selain kandungan di atas, limbah cair kelapa sawit juga terdapat kandungan berbagai senyawa *Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH)* adalah suatu kelas senyawa organik yang terdapat kandungan dua atau lebih cincin aromatik yang terdiri dari atom karbon dan hidrokarbon. Adapun salah satu jenis senyawa dari limbah cair kelapa sawit yang berhasil teridentifikasi yaitu *Naphthalene, Fluorene Phenanthrene, Pyrene dan Fluoranthene* (Kresnawaty dkk., 2017).

2.2.1 Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 Standar Baku Mutu Limbah cair kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Nitrogen Total (N)	50	0,125
pH	6,0-9,0	-
Debit limbah tertinggi	2,5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO)	-

(Sumber: Peraturan Pemerintah Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014)

2.2.2 Parameter Limbah

1. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengukuran air limbah dengan parameter COD adalah suatu cara yang berbeda untuk mengukur kebutuhan oksigen dalam air limbah. Pengukuran COD

menggunakan prinsip bahwa jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi tidak hanya bahan-bahan organik, namun juga bahan anorganik yang secara umum terdiri dari senyawa-senyawa yang tidak mampu dipecah dengan cara biokimia (Ethica, 2018).

Pada air limbah sering diperoleh bahan berupa racun atau logam tertentu yang membuat pertumbuhan bakteri terhambat. Sehingga kebutuhan oksigen yang dibutuhkan untuk menghancurkan bahan-bahan anorganik menggunakan pengukuran BOD menjadi tidak realistis. Maka dilakukan pengembangan metode yang lebih tepat yaitu pengukuran COD.

Definisi COD yaitu suatu jumlah oksigen yang dibutuhkan guna dapat mengoksidasi zat-zat berupa organik dan anorganik. Sehingga nilai COD dapat menjadi parameter dengan tingkat pencemaran air oleh zat anorganik.

2. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD merupakan ukuran jumlah bahan organik yang bisa didegradasi oleh bantuan bakteri *aerob* atau jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendegradasi sejumlah tertentu bahan organik secara *aerob*. BOD merupakan salah satu cara pengukuran pencemaran bahan organik yang terdapat dalam suatu perairan. Perairan yang memiliki nilai BOD tinggi dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar oleh bahan organik. Bahan organik dapat distabilkan secara biologi melalui bantuan mikroba melalui sistem oksidasi atau degradasi *aerobik* dan *anaerobik*. Proses oksidasi *aerobik* dapat menyebabkan kandungan oksigen terlarut menurun di perairan hingga pada tingkat terendah. Sehingga keadaan perairan menjadi *anaerobik* dapat menimbulkan kematian terhadap organisme akuatik (Ethica, 2018).

3. TSS (*Total suspended solids*)

TSS dapat didefinisikan sebagai suatu partikel yang berukuran lebih besar dari 2 mikron, yang bisa diperoleh dalam lingkungan akuatik. Partikel yang berukuran lebih kecil dari rata-rata ukuran filter yaitu 2 mikron diibaratkan sebagai padatan terlarut. TSS sebagian besar terdiri dari zat anorganik, meskipun bakteri dan gangga juga dapat berperan pada konsentrasi total padatan (Ethica, 2018).

4. PH (*Potential Hydrogen*)

Tingkat pH limbah dapat diukur menggunakan alat pH meter. Tingkat pH dapat ditentukan berdasarkan tinggi rendahnya suatu konsentrasi ion hidrogen yang terdapat dalam sampel limbah cair. Suatu limbah cair yang memiliki pH tinggi atau rendah dapat dijadikan stabil karena pH yang terlalu rendah atau tinggi dapat membunuh mikroorganisme air yang seharusnya menjadi sumber nutrisi bagi biota lainnya yang ada dalam air limbah (Ethica, 2018).

Limbah cair yang mengandung pH rendah bersifat korosif bagi bahan-bahan konstruksi terutama bahan yang terbuat dari besi yang terkena langsung limbah cair sehingga bahan-bahan konstruksi menjadi lebih cepat rusak.

5. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak adalah senyawa organik yang berasal dari alam dan tidak dapat larut di dalam air namun dapat larut dalam pelarut organik non-polar. Minyak dan lemak dapat larut karena memiliki polaritas yang sama dengan pelarut organik non-polar, misalnya adalah *dietil eter* ($C_2H_5OC_2H_5$), *Kloroform* ($CHCl_3$), dan *Benzene* (C_6H_6). Dilihat dari segi sifat fisiknya, minyak dan lemak merupakan senyawa yang tak larut dalam air yang diekstrak dari organisme hidup menggunakan pelarut yang kepolarannya lemah atau pelarut non-polar (Maharani, 2017).

2.2.3 Dampak Pencemaran Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit berpotensi sebagai zat pencemar bagi lingkungan sehingga dapat merusak dan menurunkan kesuburan suatu perairan. Salah satu organisme yang memiliki potensi terkena pengaruh atau dampak dari limbah cair kelapa sawit tersebut yaitu *fitoplankton* (Muliari & Zulfahmi, 2016). Limbah cair kelapa sawit juga dapat biota air dalam perairan yang dapat mengganggu daya pernapasan ikan dan reproduksi ikan (Zulfahmi dkk., 2018). Limbah cair kelapa sawit terdapat kandungan zat pencemar berupa *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), juga padatan tersuspensi yang tinggi sehingga dapat menurunkan tingkat kesuburan suatu perairan dan mengganggu kehidupan organisme yang hidup pada perairan tersebut, salah satunya yaitu *alga perifiton* (Chan dkk., 2013).

Adanya pencemaran akibat limbah cair kelapa sawit juga memiliki dampak terhadap kesehatan terutama yang bekerja dan tinggal didekat industri minyak kelapa sawit. Maka, diperlukan suatu pengolahan terhadap limbah cair kelapa sawit agar dapat mengontrol dan mengendalikan serta meminimalisir dampak yang akan ditimbulkan oleh limbah cair kelapa sawit (Nursanti, 2017).

2.3 Fitoremediasi

Menurut Novita dkk (2019) Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif dalam teknologi yang dapat mereduksi konsentrasi yang ada dalam limbah cair. Aplikasi fitoremediasi juga memerlukan biaya murah dan ekonomis jika dibandingkan dengan metode pengolahan limbah cair lainnya.

Proses fitoremediasi membutuhkan penambahan akan kadar oksigen yaitu melalui proses *aerasi* dan penetralan pH yang berfungsi agar dapat menambah ketersediaan oksigen terlarut oleh mikroba juga memenuhi kebutuhan dalam proses biokimia. Kata fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris yaitu *phytoremediation* yang terdiri dari dua kata yaitu "*phyto*" berasal dari bahasa Yunani dan "*phyton*" berarti tanaman dan "*remediation*" berasal dari kata Latin "*remediare*" yang berarti memperbaiki. Maka, fitoremediasi dapat diartikan suatu teknik atau sistem yang bekerjasama antara suatu jenis tanaman tertentu dengan mikroba yang ada di lingkungan sekitar tanaman atau tumbuhan (Novita dkk., 2019).

Dengan cara menghilangkan atau memperbaiki suatu polutan atau kontaminan yang terkandung didalam air atau tanah. Fitoremediasi adalah pembersihan kontaminan yang memanfaatkan tanaman hiperakumulator (Sungkowo, 2015).

Adapun kelebihan metode fitoremediasi dibandingkan dengan metode remediasi lainnya yaitu kemampuannya dalam menghasilkan buangan sekunder lebih rendah sifat toksik atau racunnya. Sedangkan kelemahan metode fitoremediasi ini yaitu dilihat dari segi waktu yang diperlukan cukup lama dan juga memungkinkan masuknya suatu polutan terhadap rantai makanan terhadap tanaman yang dikonsumsi oleh hewan (Hasyim, 2016).

Menurut Hasyim (2016), proses fitoremediasi dimulai dari akar tanaman melalui penyerapan zat kontaminan atau polutan yang terdapat dalam air, kemudian menuju proses transportasi tanaman, air yang terkandung kontaminan atau polutan

dialirkan ke seluruh tanaman atau tumbuhan sehingga berubah menjadi air yang lebih bersih dari suatu polutan. Menurut Waluyo (2018) Fitoremediasi tersebut terdiri dari beberapa konsep dasar antara lain sebagai berikut:

- a. *Fitoekstraksi* yaitu suatu proses yang dilakukan tanaman sebagai penyerap dan diakumulasi menuju daun, batang dan akar tanaman.
- b. *Fitodegradasi* merupakan proses penyerapan suatu polutan yang dilakukan oleh tanaman dan mengalami proses metabolisme didalam tanaman yang melibatkan beberapa enzim.
- c. *Fitovolatilisasi* yaitu proses penyerapan yang dilakukan oleh tanaman yang kemudian diubah menjadi *volatile* dan ditranspirasikan.
- d. *Fitostabilisasi* yaitu proses yang melakukan transformasi terhadap polutan yang berada dalam tanah menjadi suatu senyawa yang tidak beracun atau non-toksik.
- e. *Rizofiltrasi* adalah proses penyerapan suatu polutan yang dilakukan oleh tanaman pada medium cair.
- f. *Phytomining* yaitu hasil dari fitoekstraksi yang logam nya digunakan sebagai tujuan yang lain seperti penambangan nikel yang menggunakan hiperakumulator.

2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Fitoremediasi

Fitoremediasi Adapun kemampuan fitoremediasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah sebagai berikut:

a. Suhu

Pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada suhu lingkungan disekitarnya. Tanaman hidup dengan cara berfotosintesis dimana apabila suhu lingkungan tinggi, maka semakin baik dan optimal pula bagi tanaman untuk menyerap nutrisi atau zat-zat yang terkandung dalam air limbah. Secara umum, tanaman dapat tumbuh dengan baik dengan suhu lingkungan berkisar 25-30⁰C.

b. PH (Derajat Keasaman)

PH (Derajat Keasaman) adalah suatu ukuran derajat keasaman atau kebasaaan yang terdapat dalam suatu perairan. pH optimal dalam pertumbuhan tanaman biasanya berkisar antara 5,5-7. Hal tersebut dikarenakan, jika

pH dalam suatu perairan tinggi atau kurang maka pertumbuhan tanaman akan sulit hidup dan berkembang.

c. Jumlah Tanaman

Adapun salah satu hal yang mempengaruhi keberhasilan fitoremediasi yaitu jumlah tanaman. Hal tersebut dikarenakan keberadaan jumlah tanaman yang banyak pada suatu perairan akan memperoleh penyerapan zat-zat polutan lebih optimal dibandingkan yang jumlah tanaman sedikit.

d. Waktu

Dalam proses fitoremediasi, zat-zat polutan yang diserap oleh tanaman juga sangat dipengaruhi oleh waktu. Semakin lama waktu penyerapan yang dilakukan oleh tanaman maka semakin besar juga zat-zat polutan diserap oleh tanaman, akan tetapi faktor ini hanya berlaku jika tumbuhan air belum mencapai titik maksimal penyerapan atau titik jenuh. Jadi, tanaman akan berhenti menyerap zat-zat polutan jika sudah mencapai batas walaupun waktu kontak dilakukan selama mungkin.

e. Jenis Tumbuhan

Pada proses fitoremediasi, tumbuhan yang biasanya digunakan adalah tumbuhan air seperti tanaman kiambang, teratai, eceng gondok, genjer, kayu apu, rumput gajah, kangkung air dan lain sebagainya. Dipilihnya tanaman dalam fitoremediasi harus didasari sifatnya yang mampu tumbuh dengan cepat, dapat menyerap air dalam jumlah banyak pada waktu yang singkat, dapat meremediasi lebih dari satu zat polutan dan dapat hidup pada lingkungan yang toksik (Maria, 2021).

2.3.2 Aklimatisasi

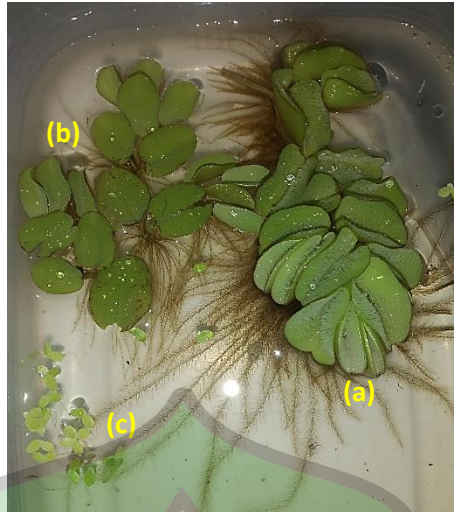
Tahapan aklimatisasi dilakukan agar tanaman yang digunakan dapat beradaptasi atau menyesuaikan diri terhadap lingkungan baru. Berdasarkan penelitian terdahulu, aklimatisasi tanaman kiambang dilakukan selama 7 hari (Yuliani, 2019). Aklimatisasi dilakukan hingga tanaman benar-benar stabil, tumbuh dan kuat. Ditandai dengan akar yang menjadi lebih bersih, tumbuhnya tunas tanaman baru dan batang berdiri dengan kokoh disertai dengan bertambahnya ukuran tinggi tanaman sehingga tanaman siap digunakan untuk penelitian (Charisma dkk., 2015).

2.4 Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Tanaman kiambang (yang berasal dari kata “*ki*” artinya pohon, tumbuhan dan kata “*Ambang*” artinya mengapung) merupakan sebuah nama umum bagi tumbuhan paku air dari genus *Salvinia* dimana biasa ditemukan mengapung di air menggenang, seperti kolam, sawah dan danau, atau di sungai yang mengalir tenang. Tanaman ini merupakan gulma air yang memiliki karakteristik dalam berkembangbiak sangat cepat dengan sifat adaptasi yang tinggi di berbagai kondisi lingkungan, terutama pada air buangan aktivitas industri, limbah domestik, limbah pertanian dan kehutanan (Yuliani, 2013).

Tanaman kiambang sering juga dinamai dengan *Giant Salvinia* yang mempunyai tiga lembar daun dua di atas air dan satu terendam air. Tanaman ini hidup di iklim tropis dengan pertumbuhan yang optimal pada suhu air 20 – 30 derajat celcius dan pH air sekitar 5-8.

Apabila berada pada suhu dibawah 30 atau di atas 43 derajat celcius. maka tunas tumbuhan akan mati. Tanaman kiambang dapat tumbuh dengan baik dalam air yang tenang (Maryana, 2020). Dengan aklimatisasi selama 7 hari, *Salvinia molesta* dapat melipatgandakan dan mengambang bebas. Pertumbuhan tanaman tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi ruang tumbuh; semakin sempit ruang tumbuhnya maka semakin lambat pula tanaman berkembang dan sebaliknya. Di samping itu, pertumbuhannya juga dipengaruhi oleh kedalaman air, kandungan hara air, intensitas penyinaran, suhu, dan pH air tempat tumbuhnya (Yuliani, 2013). Kandungan nutrisi yang terdapat pada tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) adalah protein kasar (15,9%), lemak kasar (2,1%), dan serat kasar (16,8%) kalsium 1,27 %, dan fosfor 0,798 %. Bentuk pertumbuhan kiambang (*Salvinia molesta*) terdiri dari beberapa bentuk yaitu bentuk primer, bentuk sekunder dan bentuk tersier (Warasto dkk, 2013). Adapun bentuk pertumbuhan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a)Bentuk Primer;(b)Sekunder;(c)Tersier

a. Bentuk Primer

Tahapan primer merupakan tahap awal berkembang kiambang, dengan ciri mempunyai daun yang kecil, halus dan oval, lebar daur sekitar 10- 15 mm di atas permukaan air. Bentuk pertumbuhan dapat dilihat dan diamati pada tanaman yang baru tumbuh dari kerusakan atau kondisi yang tidak padat dan tempat yang banyak nutrisi.

b. Bentuk Sekunder

Pada tahapan ini, beberapa waktu tanaman kiambang tumbuh dan berkembang di perairan yang luas atau terbuka, baik tumbuh secara bebas maupun di tepian. Tanaman kiambang memiliki ruas batang yang lebih panjang dan besar, daun sedikit dan menangkap namun tidak tumpang tindih dibandingkan dengan tahap primer. Ukuran daun bervariasi dari sekitar 20-50 mm. seluruh permukaan daun bawah kiambang menyentuh air.

c. Bentuk Tersier

Pada tahapan ini, tanaman kiambang sudah tumbuh dewasa dengan kondisi sudah padat. Bentuk batang kiambang kuat dengan ruas relatif pendek. Mempunyai daun yang besar berdiameter 60 mm, daun memiliki bentuk seperti hati atau lonjong dan terendam air. Kondisi tanaman saat dewasa ini dapat bertumbukan sehingga mencapai ketebalan 1 meter dari permukaan air (Warasto dkk, 2013).

Kiambang merupakan tanaman remediator yang sangat baik dalam meremediasi limbah organik maupun anorganik karena memiliki sifat hiperakumulator yang tinggi (Simatupang dkk., 2015).

Tanaman ini tumbuh di permukaan air dan mempunyai kecepatan tumbuh yang sangat cepat, karena sifat pertumbuhannya yang cepat jumlah tanaman kiambang sangat melimpah di lingkungan perairan tanpa pemanfaatan secara optimal. Selain itu, tanaman ini memiliki diameter daun yang relatif kecil tetapi memiliki perakaran yang lebat dan panjang, sehingga diharapkan dapat menyerap logam berat namun tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan (Yuliani, 2013).

Tanaman kiambang digunakan sebagai agen fitoremediator dalam penelitian dikarenakan tanaman tersebut dinilai dapat hidup dan tumbuh pada perairan yang mempunyai nutrisi yang kurang dan rendah (Pribadi, 2016). Selain itu, tanaman ini juga tidak memiliki nilai ekonomis tinggi dan pemanfaatan kiambang pun masih sangat jarang, kecuali sebagai bahan baku pupuk dan sering dipakai sebagai bagian dari dekorasi ruangan atau tanaman hias baik pada kolam maupun akuarium (Rahmawati, 2016).

1. Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Pada sistematika atau taksonomi tumbuh-tumbuhan, tanaman kiambang dapat diklasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Divisi	: <i>Pteridophyta</i>
Kelas	: <i>Filicopsida</i>
Ordo	: <i>Hydropteridales</i>
Familia	: <i>Salviniaceae</i>
Genus	: <i>Salvinia</i> Seg.
Spesies	: <i>Salvinia molesta</i> Mitchell

Secara morfologi *Salvinia molesta* berbentuk kecil, lonjong, memiliki daun di sepanjang batang, memiliki batang yang bercabang tumbuh mendatar, berkubukubu, ditumbuhi bulu dan panjangnya dapat mencapai 30 cm. Di setiap kubu terdapat sepasang daun yang mengapung dan sebuah daun yang tenggelam (Nurafifah, 2016).



Gambar 2.2 Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)

Daun kiambang berwarna hijau, berbentuk oval dan mengapung di atas air. rata-rata panjang daun sekitar 2-4 cm dan pada permukaan daun terdapat bulu-bulu halus atau rambut-rambut berwarna putih transparan. Rambut-rambut ini mencegah daun menjadi basah dan juga membantu kiambang mengapung (Rahmawati dkk., 2016). Pada daun yang tenggelam berbentuk seperti akar dan menjuntai dengan ukuran panjang 8 cm, berbelah atau terbagi-bagi dan memiliki bulu halus, serta tidak berklorofil yang berguna untuk menyerap unsur hara dari air seperti akar (Nurafifah, 2016).

Tanaman kiambang tidak mempunyai bunga. Tanaman ini berkembang secara vegetatif dimana melakukan produksi dengan cara vegetatif melalui batang rapuh yang mudah rampung. Pada setiap *sporocarps* (organ penyimpan buah) yang berada di sepanjang rimpang yang akan menghasilkan tunas dan akar baru (Yuliani, 2013).

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
1.	(Arnasih dkk., 2022)	Pengolahan Air Limbah Domestik Sistem Wetland Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i>) Dan Kiambang (<i>Salvinia Cucullata</i>) Di	mengetahui kinerja dan efektivitas tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) juga Kiambang (<i>Salvinia cucullata</i>) dalam menurunkan	Efektivitas penurunan konsentrasi pH, suhu, COD, BOD, dan Minyak Lemak tertinggi terjadi pada hari ke 28 dalam pengolahan air limbah menggunakan tanaman Kiambang yaitu berurut-turut 1,58%, 5,03%, 32,86%; 38,98% dan 93,75%. Dari 2 variasi

		Politeknik Negeri Cilacap	beban pencemar yang terkandung di air limbah domestik,	tanaman yang digunakan, Kiambang lebih efektif dalam menurunkan pH, suhu, COD, BOD, dan Minyak Lemak
2.	(Sartika dkk., 2021)	Efektivitas Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) dan Tanaman Coontail (<i>Ceratophyllum demersum</i>) Dalam Pengolahan Limbah Cair Pencucian Ikan	Mengetahui efektivitas dan waktu tinggal tanaman kiambang dan Coontail dalam menurunkan parameter BOD dan TSS pada limbah cair pencucian ikan	Tanaman efektif menurunkan parameter BOD (88,6%), TSS (77,4%). Dan waktu tinggal efektif dalam menurunkan BOD dan TSS yaitu pada hari ke-5.
3.	(Hibatullah, 2019)	Fitoremediasi Limbah Domestik (<i>Grey Water</i>) Menggunakan Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) Dengan Sistem Batch.	Mengetahui kemampuan jumlah tanaman kiambang dalam meremoval kadar ammonia, BOD, COD pada air limbah domestic	Nilai efisiensi tanaman tertinggi yaitu pada perlakuan 20 tanaman, dimana dapat removal BOD (50,16%), COD (58,00%), amonika (100%)
4.	(Norhidayah dkk., 2016)	Fitoremediasi Tumbuhan Air Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>), Purun Tikus (<i>Eleocharis dulcis</i>), dan Perupuk (<i>Phragmites karka</i>) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Karet	Mengetahui kemampuan tumbuhan air Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>), Purun Tikus (<i>Eleocharis dulcis</i>), dan Perupuk (<i>Phragmites karka</i>) dalam menurunkan bahan pencemar limbah cair, seng (Zn), Suhu, pH, TSS, Turbidity dan Amoniak pada limbah cair karet	Hasil penelitian diketahui bahwa tanaman kiambang mampu menurunkan seng (Zn) (49%), TSS (70%), ammonia (23%), suhu dan pH nilainya stabil.

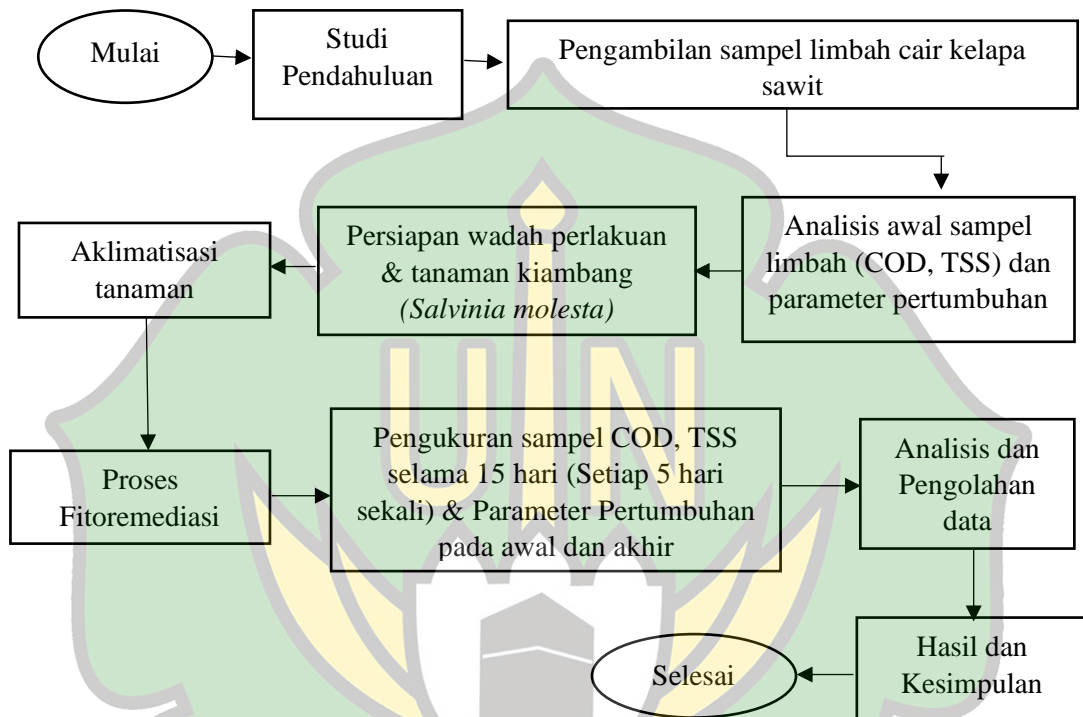
5.	(Pribadi dkk., 2016)	Pengaruh Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) Terhadap Penurunan COD, Ammonia, Nitrat, Nitrit pada Limbah Cair Domestik (<i>Grey Water</i>) dengan Sistem Kontinyu	Mengetahui kemampuan tumbuhan kiambang dalam menyisihkan kadar COD, Amonia, Nitrit, dan nitrat dalam limbah cair domestic	dapat removal COD (79%) hingga konsentrasi menjadi 27,7 mg/l, ammonia (97%) dengan konsentrasi akhir sebesar 0,02 mg/l, nitrit (17%) dengan konsentrasi akhir 5,96 mg/NO ₂ dan nitrat (34%) dengan konsentrasi akhir sebanyak 12,6 mg/NO ₃ .
----	----------------------	--	---	--



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

1. Studi pendahuluan, yaitu studi guna dapat informasi tentang proses penelitian yang dilaksanakan berdasarkan studi literatur dari skripsi, jurnal, thesis dan buku.
2. Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit, yaitu tahapan pengambilan sampel limbah pada PT Beurata Subur Persada, Gampong Babah Dua, Kec. Tadu Raya, Kab. Nagan Raya.
3. Analisis awal sampel limbah parameter COD dan TSS untuk mengetahui konsentrasi awal pencemar sebelum melakukan fitoremediasi. Dan parameter pertumbuhan untuk melihat laju pertumbuhan tanaman setelah 15 hari.
4. Persiapan wadah perlakuan & tanaman kiambang (*Salvinia molesta*), pada tahap ini disiapkan *box styrofoam* bekas berukuran 38x25x17cm dilengkapi

aerator sebagai reaktor fitoremediasi, dan tanaman kiambang sebanyak 72 tanaman dengan ukuran seragam yang nantinya digunakan sebagai fitoremediator.

5. Aklimatisasi, pada tahap ini tanaman dilakukan menggunakan limbah cair kelapa sawit dengan konsentrasi 50%. Aklimatisasi dilakukan selama 5 hari.
6. Proses Fitoremediasi, setelah melalui tahapan aklimatisasi dilanjutkan dengan proses fitoremediasi selama 15 hari.
7. Pengukuran sampel limbah (COD dan TSS). Pada tahap ini, parameter COD dan TSS diuji setiap 5 hari sekali selama 15 hari. Pada parameter pertumbuhan diukur pada awal (hari 0) dan akhir (hari 15).
8. Analisis dan pengolahan data, selanjutnya pada tahap ini dilakukan analisis dan pengolahan data dari hasil pengukuran parameter.
9. Hasil dan kesimpulan. Setelah dilakukan analisis dan olah data maka diperoleh hasil dan dapat dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian ini.

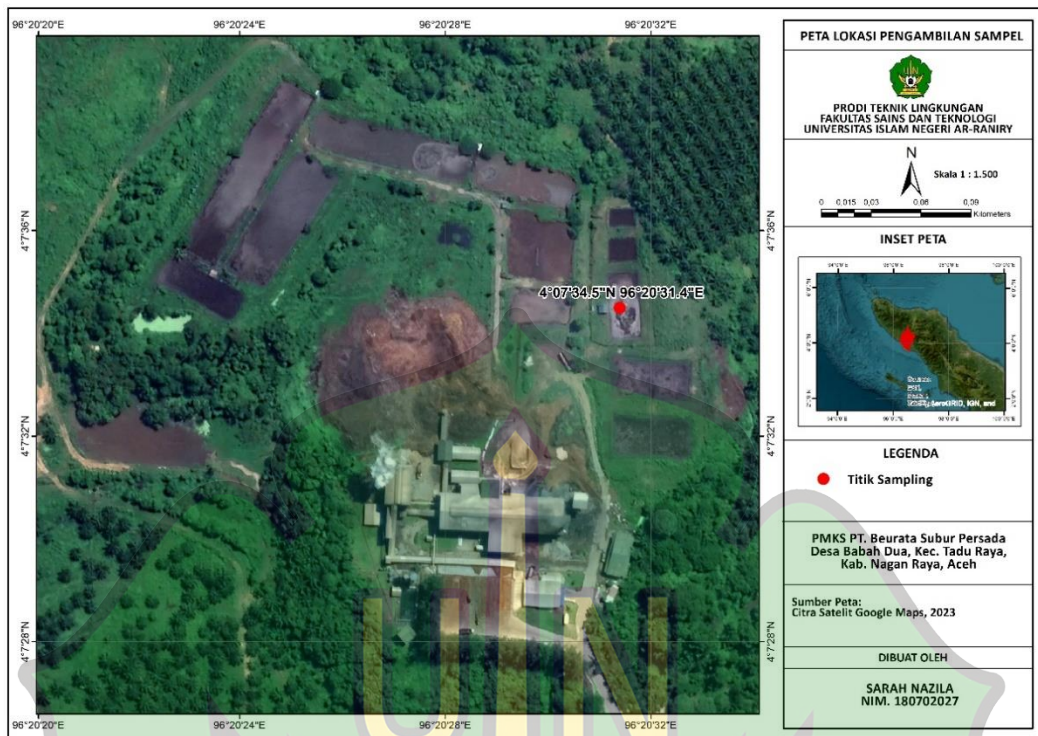
3.2 Lokasi

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dan pengujian parameter kimia serta parameter pertumbuhan tanaman dilakukan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-RANiry, Banda Aceh. Penelitian dilakukan kurang lebih 5 bulan yaitu dimulai dari Bulan Oktober Tahun 2022 sampai dengan Bulan Februari tahun 2023..

3.2.2 Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit diambil dari kolam kedelapan dari total sepuluh kolam limbah pada IPAL PT. Beurata Subur Persada, di Desa Babah Dua, Kecamatan Tadu Raya, Kabupaten Nagan Raya dengan titik koordinat yaitu 4°07'34.5''N 96°20'31.4''E. Adapun lokasi pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Peta lokasi Pengambilan sampel

Lokasi pengambilan sampel tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) diambil di salah satu garden yang berada di sekitaran Kota Banda Aceh yaitu Mawar Garden yang terletak di Pangoe Raya, Kec. Ulee Kareng, Kota Banda Aceh dengan titik koordinat yaitu $5^{\circ}32'09.73''\text{U}$ $95^{\circ}20'54.77''\text{T}$.

3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Adapun teknik pengambilan sampel pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan teknik sampling secara sesaat (*grab sampling*) pada daerah atau lokasi tertentu sebagaimana yang dicantumkan oleh Badan Standarisasi Nasional (2008) (SNI 6989.59:2008). Adapun langkah-langkah pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Limbah cair kelapa sawit diambil langsung dari IPAL PT. Beurata Subur Persada, Kecamatan Tadu Raya, Kabupaten Nagan Raya Sampel limbah cair kelapa sawit diambil dengan gayung plastik yang memiliki gagang dan dimasukkan ke dalam wadah yang memiliki kapasitas 30 liter sebanyak 2 jeriken yang sesuai dengan kriteria SNI 6989.59:2008.

2. Sampel pengujian limbah cair kelapa sawit diambil dengan botol plastik 1500 ml berdasarkan SNI 6989.59:2008.

3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu metode eksperimental dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) sebanyak 5 perlakuan 2 ulangan. Parameter laju penyisihan yang diukur meliputi: COD dan TSS. Parameter laju pertumbuhan meliputi berat awal tanaman, berat akhir tanaman, berat basah akar awal, berat basah akar akhir, panjang akar terpanjang awal, panjang akar terpanjang akhir, jumlah daun awal dan jumlah daun akhir.

3.5 Variabel Penelitian

Adapun variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas yaitu waktu remediasi dan variasi jumlah tanaman
- b. Variabel terikat yaitu parameter kimia (COD, TSS), dan parameter biologi (berat awal tanaman, berat akhir tanaman, berat akar awal, berat akar akhir, panjang akar terpanjang awal, panjang akar terpanjang akhir, jumlah daun awal dan jumlah daun akhir).

3.6 Tahap Persiapan

1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

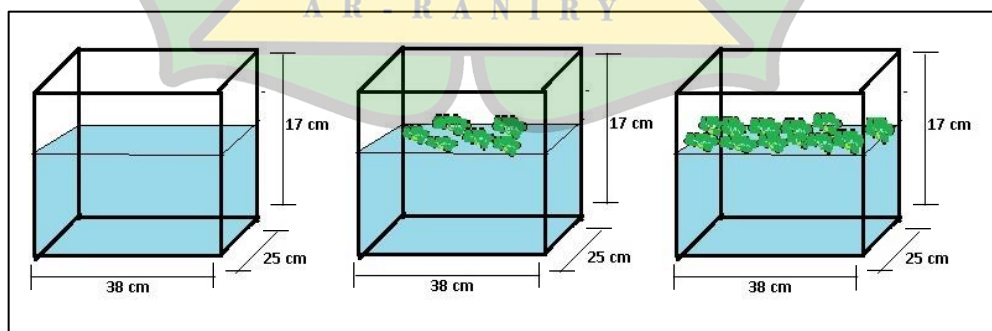
Tabel 3.1 Alat dan bahan yang digunakan oleh peneliti

Alat dan Bahan	Jumlah/Volume/ukuran	Fungsi
Jeriken sesuai dengan SNI 6989.59:2008	3 buah kapasitas 30 L	Menampung limbah cair kelapa sawit
<i>Box Styrofoam</i>	10 buah (38x25x17 cm)	Sebagai reaktor perlakuan
Baskom besar	1 buah	Wadah aklimatisasi
Gayung dan corong	1 buah	Untuk pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit

Masker dan sarung tangan	Secukupnya	Sebagai pelindung untuk kesehatan dan keselamatan
<i>Aerator</i>	Secukupnya	untuk menyuplai oksigen tambahan dalam reaktor
Limbah Cair kelapa Sawit	50 liter	Sampel untuk fitoremediasi
Tanaman kiambang	72 buah dengan ukuran seragam (berat 10-11 gram), panjang akar terpanjang 10-12 cm, diameter luas daun 3-5cm	Sebagai agen fitoremediasi
Kertas saring whatman	45 μm (10 lembar)	Sebagai penyaring residu dalam limbah cair kelapa sawit
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (<i>Kalium dikromat</i>)	50 ml	Sebagai oksidator untuk COD
H_2SO_4 (<i>Asam Sulfat</i>)	100 ml	Sebagai larutan pereaksi COD
Aquadest	Secukupnya	Untuk mensterilkan alat-alat laboratorium

2. Penyiapan Wadah Perlakuan

Rangkaian perlakuan menggunakan *Box Styrofoam* bekas sebanyak 10 wadah dengan dimensi PxLxT yang berukuran 38x25x17 cm dan berisikan volume air sebanyak 10 liter. Berikut merupakan desain wadah perlakuan yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain wadah perlakuan

3. Aklimatisasi

Tanaman kiambang dibersihkan dengan menggunakan air yang mengalir. Aklimatisasi bertujuan supaya tanaman dapat beradaptasi pada lingkungan baru. Aklimatisasi tanaman dilakukan selama lima hari dengan konsentrasi limbah 50:50 yang akan digunakan (Muryani & Widiarti, 2019). Tahapan aklimatisasi ini berguna untuk menguji kemampuan tanaman dalam beradaptasi dengan lingkungan baru sebelum dilakukan proses fitoremediasi (Imron dkk., 2019). Dalam proses aklimatisasi ini, menggunakan limbah cair kelapa sawit dan air biasa dengan konsentrasi 25% dari 10 liter pada tahap awal sebelum perlakuan. Metode pengenceran sebelum fitoremediasi dengan kiambang dilakukan supaya dapat menetralkan pH dan limbah menjadi aman yang sesuai dengan baku mutu limbah cair (Vidyawati & Fitrihidajati, 2019). Tahap aklimatisasi menggunakan konsentrasi limbah cair kelapa sawit secara berkala yaitu 0%, 25% hingga 50% supaya tanaman dapat beradaptasi dengan baik dan stabil. Untuk memaksimalkan hasil penelitian, sampel limbah perlu diencerkan. Pengenceran tersebut dilakukan karena kandungan asam dalam limbah sangat tinggi. Jika selesai tanpa pengenceran dapat dipastikan tanaman akan mati (Wimbaningrum dkk., 2020)

Aklimatisasi tanaman kiambang diletakkan di ruang yang mudah terkena sinar matahari. Hal tersebut dikarenakan pertumbuhan kiambang dipengaruhi oleh sinar matahari. Tanaman menyerap cahaya matahari untuk digunakan sebagai proses fotosintesis juga fotorespirasi (Hardiastuti, 2021). Adapun komposisi pengenceran limbah cair kelapa sawit dan air dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Komposisi Pengenceran Pada Setiap Perlakuan

Perlakuan	Rasio	LKCS (liter)	Air (Liter)
K ₀	50%	5	5
K ₆	100%	0	10
K ₁₂	100%	0	10
T ₆	50%	5	5
T ₁₂	50%	5	5

Keterangan:

- K₀ : Kontrol limbah cair kelapa sawit tanpa tanaman
- K₆ : Kontrol jumlah tanaman 6 dengan air

- K12 : Kontrol jumlah tanaman 12 dengan air
- T6 : Perlakuan jumlah tanaman 6 dengan limbah cair kelapa sawit
- T12 : Perlakuan jumlah tanaman 12 dengan limbah cair kelapa sawit

3.8 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur kerja dilakukan sebagai berikut:

1. Wadah perlakuan terdiri dari 10 wadah. Diisi limbah cair kelapa sawit sebesar 50% sebanyak 10 liter ke dalam 6 wadah perlakuan. Dan diisi 100% air sebanyak 10 liter ke dalam 4 wadah perlakuan.
2. Semua wadah perlakuan diberikan tambahan *aerasi* menggunakan *aerator*.
3. Tanaman kiambang yang telah diaklimatisasi dimasukkan kedalam wadah perlakuan. Akar tanaman dibiarkan menjuntai dan daun mengapung di atas air limbah kelapa sawit.
4. Fitoremediasi dilakukan dengan mengamati variasi jumlah tanaman kiambang dan lama waktu remediasi serta dilakukan pemeliharaan selama 15 hari Diukur parameter kimia meliputi COD dan TSS pada setiap 5 hari sekali yaitu hari 5, hari 10 dan hari 15.
5. Diukur parameter pertumbuhan pada saat sebelum fitoremediasi (hari 0) dan sesudah fitoremediasi (hari 15).
6. Selanjutnya, hasil yang didapat dianalisis statistik secara ANOVA menggunakan aplikasi SPSS 25.

Tabel 3.3 Matriks perlakuan rangkaian percobaan

Perlakuan	Hari			
	0	5	10	15
Ulangan I				
K0	K0U1	K0U1	K0U1	K0U1
K6	K6U1	K6U1	K6U1	K6U1
K12	K12U1	K12U1	K12U1	K12U1
T6	T6U1	T6U1	T6U1	T6U1
T12	T12U1	T12U1	T12U1	T12U1
Ulangan II				
K0	K0U2	K0U2	K0U2	K0U2
K6	K6U2	K6U2	K6U2	K6U2
K12	K12U2	K12U2	K12U2	K12U2
T6	T6U2	T6U2	T6U2	T6U2
T12	T12U2	T12U2	T12U2	T12U2

Keterangan:

- K0 : Kontrol limbah cair kelapa sawit tanpa tanaman
- K6 : Kontrol jumlah tanaman 6 dengan air
- K12 : Kontrol jumlah tanaman 12 dengan air
- T6 : Perlakuan jumlah tanaman 6 dengan limbah cair kelapa sawit
- T12 : Perlakuan jumlah tanaman 12 dengan limbah cair kelapa sawit

3.9 Metode Pengukuran

3.9.1 Parameter Kimia

1. Pengukuran COD

Pengukuran COD mengacu kepada SNI 06-6989.2:2019, adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Sampel limbah cair kelapa sawit dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 2,5 ml, lalu dimasukkan 1,5 ml larutan $K_2Cr_2O_2$ dan ditambahkan larutan H_2SO_4 sebanyak 3,5 ml
2. Tabung reaksi ditutup dan dihomogenkan.
3. Diambil tabung reaksi COD dan dilakukan *heating plate* atau reaktor COD, ditunggu hingga suhu naik $150\text{ }^{\circ}C$. Ditekan tombol start, lalu ditunggu selama 2 jam.
4. Selanjutnya, tabung reaksi berisikan COD didinginkan, lalu diukur dengan COD meter dan dicatat hasilnya.

2. Pengukuran TSS

Pengukuran TSS mengacu kepada SNI 06-6989.3-2019. Langkah-langkah pengukurannya adalah sebagai berikut:

A. Tahap Persiapan

1. Peralatan filtrasi terlebih dahulu dicuci dengan air suling.
2. Disiapkan kertas saring, lalu diletakkan pada alat filtrasi, setelah itu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $105\text{ }^{\circ}C$ selama 1 jam.
3. Kertas saring diambil dan didinginkan dalam desikator. Selanjutnya ditimbang sampai nilai berat yang diperoleh stabil.
4. dan dicatat hasilnya.

B. Tahap pengujian

1. Sampel limbah cair kelapa sawit diaduk dengan *magnetic stirrer* agar diperoleh sampel yang homogenya
2. sampel limbah cair kelapa sawit diambil dengan pipet, lalu diletakkan dan disaring menggunakan pompa vakum
3. Kemudian kertas saring dipindahkan dari alat filtrasi dan dikeringkan dalam oven dengan suhu sekitar 103⁰C hingga 105⁰C selama 1 jam.
4. Kertas saring lalu didinginkan ke dalam desikator agar suhu menjadi stabil sebelum ditimbang
5. Selanjutnya ditimbang kertas saring dan dicatat hasilnya.
6. Untuk mengukur TSS, maka dilakukan perhitungan berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 yaitu sebagai berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \left(\frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji (ml)}} \right)$$

Keterangan:

A= Berat kertas saring + residu kering (mg)

B= Berat kertas saring (mg)

3.9.2 Pengukuran Pertumbuhan

Adapun parameter pertumbuhan diukur pada sebelum fitoremediasi (hari 0) dan sesudah fitoremediasi (hari 15). Berikut merupakan metode pengukuran pertumbuhan tersebut

1. Jumlah daun

Jumlah daun dihitung berdasarkan banyaknya jumlah helai daun yang tumbuh pada setiap tanaman.

2. Panjang akar terpanjang (cm)

Panjang akar terpanjang diukur menggunakan penggaris pada sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan.

3. Berat awal tanaman (g)

Berat basah awal tanaman diukur sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan, kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik.

4. Berat basah akar (g)

Berat basah akar ditimbang menggunakan timbangan analitik yaitu sebelum dan sesudah perlakuan. Dipisahkan bagian akarnya. Penimbangan ini dilakukan ketika akar tanaman masih segar.

3.10 Analisis Data

Signifikansi nilai parameter COD dan TSS dalam laju penyisihan limbah dianalisis dengan ANOVA satu arah (*A one way analysis of variance*) menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical product and service solutions*). Sebelum dianalisis dilakukan transformasi arsin, setelah itu dilanjutkan analisis statistik secara ANOVA satu arah dengan tingkat kepercayaan 95% ($P < 0,05$) dan variasi asumsi dengan *Least Significant Difference* (LSD). Laju pertumbuhan tanaman kiambang juga dianalisis menggunakan ANOVA satu arah. Perbedaan morfologi akar kiambang antar perlakuan dianalisis secara deskriptif. Menurut Budijono & Hasbi (2014), Supaya mengetahui efisiensi dan persentase penurunan pencemar oleh tanaman dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$EP = \frac{C(in) - C(out)}{C(in)} \times 100\%$$

Keterangan:

EP : Nilai efektifitas penurunan dan peningkatan bahan pencemar,

C(in) : Konsentrasi pencemar sebelum diolah,

C(out) : Konsentrasi pencemar sesudah diolah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui efektivitas penurunan konsentrasi COD dan TSS yang terdapat pada limbah cair kelapa sawit. Proses fitoremediasi menggunakan fitoremediator tanaman kiambang (*Salvinia molesta*). Sebelum dilakukan proses fitoremediasi, limbah cair kelapa sawit dilakukan uji pendahuluan atau analisis konsentrasi COD dan TSS terlebih dahulu. Setelah mendapatkan data hasil analisis parameter, selanjutnya dilakukan proses fitoremediasi. Supaya dapat mengetahui tingkat efektivitas tanaman kiambang dalam menurunkan konsentrasi COD dan TSS terhadap limbah cair kelapa sawit maka perlu dilakukan perhitungan dengan cara melakukan analisis terhadap perbedaan antara konsentrasi awal parameter limbah cair kelapa sawit sebelum perlakuan dan konsentrasi akhir parameter limbah cair kelapa sawit sesudah perlakuan. Hasil uji pendahuluan sampel limbah cair kelapa sawit dengan parameter COD, dan TSS dengan konsentrasi 100% dan 50% dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4.1. Uji Pendahuluan Parameter 100% Limbah Cair Kelapa Sawit

No.	Parameter	Hasil Pengujian	Baku Mutu	Keterangan
1.	COD (mg/l)	531,19	350	Tidak memenuhi
2.	TSS (mg/l)	306	250	Tidak memenuhi

Sumber: PT Beurata Subur Persada

Tabel 4.2 Uji Pendahuluan Parameter 50% Limbah Cair Kelapa Sawit

No.	Parameter	Hasil Pengujian	Baku Mutu	Keterangan
1.	COD (mg/l)	380	350	Tidak memenuhi
2.	TSS (mg/l)	270	250	Tidak memenuhi

Sumber: Data Hasil Uji LTL dan Data Hasil LTPKL

Berdasarkan hasil awal pengujian parameter dapat diketahui bahwa kandungan COD dan TSS yang cukup tinggi pada limbah cair kelapa sawit sehingga hasil uji yang diperoleh belum memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair kelapa sawit. Sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah cair tersebut dan dapat menjadi alternatif pengolahan limbah agar dapat dibuang kepada lingkungan dengan aman dan tidak mengganggu atau merusak lingkungan.

Adapun metode pengolahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode fitoremediasi. Metode fitoremediasi yaitu metode yang memanfaatkan tanaman untuk mereduksi zat-zat polutan yang terkandung dalam limbah cair kelapa sawit

4.1 Hasil Eksperimen dan Pembahasan

4.2 Penurunan Konsentrasi COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah total oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi menjadi CO₂ dan H₂O. Konsentrasi COD yang tinggi dapat menyebabkan oksigen terlarut dalam badan air menjadi rendah, bahkan habis. Faktor ini dapat menyebabkan oksigen berkurang sebagai sumber kehidupan biota air seperti hewan air dan tumbuhan sehingga menyebabkan biota air tersebut mati dan gagal berkembang biak dengan baik (Fajri, 2020). Hasil pengukuran COD digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk tingkat pencemaran organik dalam air atau limbah. Hasil analisis penurunan COD dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

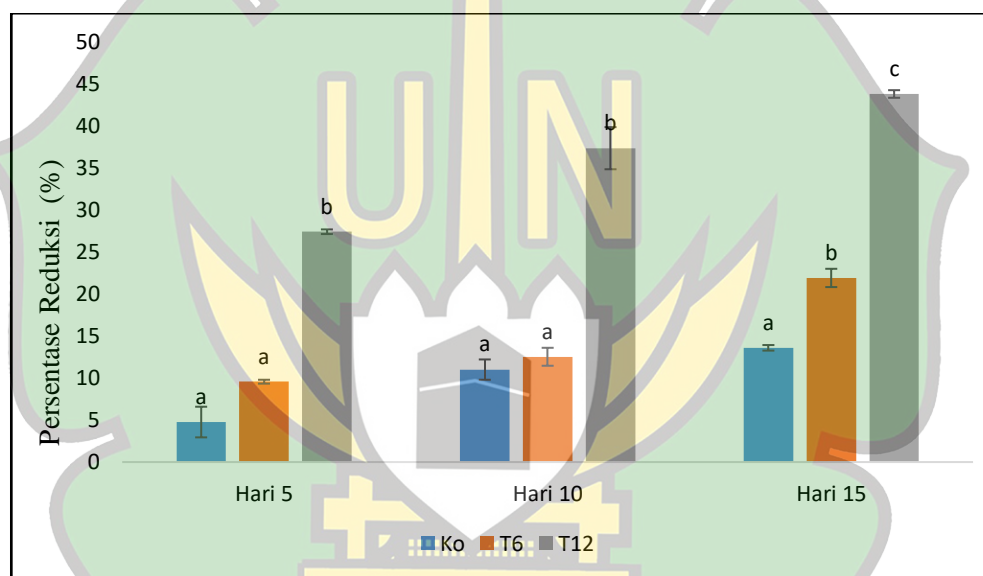
Tabel 4.3 Hasil Analisis Penurunan COD Pada Limbah Cair Kelapa Sawit

Perlakuan	Nilai Awal COD (mg/l)	Nilai Akhir COD (mg/l)	Baku Mutu (mg/l)
K0	380	359 ± 5,52	350
T6		327 ± 13,94	
T12		198 ± 47,89	

Berdasarkan Tabel di atas, dapat dilihat nilai awal konsentrasi COD yaitu 380 mg/L. setelah melalui proses fitoremediasi limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman kiambang selama 15 hari, konsentrasi COD mengalami penurunan. Nilai COD pada perlakuan kontrol yaitu sebesar 359 atau 5,52 %, nilai COD pada perlakuan tanaman 6 yaitu 327 atau 13,94% dan pada perlakuan tanaman 12 yaitu sebesar 198 atau 47,89%. Nilai yang diperoleh dari perlakuan tanaman 6 dan tanaman 12 sudah memenuhi baku mutu limbah cair kelapa sawit berdasarkan Peraturan Pemerintah No.5 Tahun 2014 untuk dibuang ke lingkungan. Sedangkan pada perlakuan kontrol, COD juga mengalami penurunan tetapi belum memenuhi baku mutu limbah cair kelapa sawit.

Tanaman kiambang tidak lebih baik dibandingkan dengan penelitian Kandi (2019), fitoremediasi limbah cair kelapa sawit 50% dengan tanaman kangkung air

selama 15 hari mampu menurunkan kadar COD mencapai $86,3 \pm 0,57\%$ dan penelitian Elystia (2014), bahwa *Typha latifolia* menurunkan COD dengan kadar limbah 20% selama 9 hari sebesar 97,18%. Pada penelitian ini tanaman kiambang lebih baik mereduksi COD dengan konsentrasi 50% limbah cair kelapa sawit dibandingkan dengan penelitian Ilmannafian dkk (2020), mengungkapkan bahwa tanaman eceng gondok pada minggu keempat belum mampu menurunkan kadar COD pada limbah cair kelapa sawit konsentrasi 50% nilai sebesar 440 mg/L. Wei dkk (2019), fitoremediasi menggunakan eceng gondok selama 14 hari mampu menurunkan COD sebesar 25,24%. Adapun hasil laju degradasi kemampuan tanaman kiambang dalam menurunkan konsentrasi COD dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi COD oleh Jumlah Tanaman

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat penurunan kadar COD tertinggi terjadi pada hari 15 di mana perlakuan kontrol mengalami penurunan kadar COD dengan nilai rata-rata sebesar $13,59 \pm 0,33\%$ pada perlakuan tanaman 6 diperoleh nilai sebesar $21,90 \pm 1,08\%$ dan pada perlakuan tanaman 12 yaitu sebesar $43,79 \pm 0,45\%$.

Penelitian serupa oleh Tampubolon dkk (2020), mengatakan bahwa perlakuan jumlah tanaman kayu apu 12 mampu menurunkan COD tertinggi sebesar 95,01%. Penelitian Ngirfani & Puspitarini (2020), tanaman kangkung air perlakuan jumlah 6 tanaman dapat menurunkan COD sebesar 72,42%. Penelitian Noviana

(2019), perlakuan tanaman melati air jumlah 6 tanaman mampu menurunkan COD sebesar 30.12%. Efisiensi penurunan COD terjadi diduga karena tanaman kiambang dapat menyerap konsentrasi COD melalui mekanisme *absorpsi* dimana tanaman memiliki permukaan daun luas dan banyak pori-pori kecil dan berperan besar dalam mengurangi zat atau polutan yang terdapat pada air limbah. Penurunan COD juga dapat melalui proses *fitostabilisasi*, yang mencakup pengikatan dan pengendapan zat-zat organik pada permukaan daunnya.

Tanaman kiambang memiliki perakaran yang lebat yang berbentuk seperti benang atau banyak rambut akar yang mampu menyerap zat-zat polutan dan unsur hara yang dibutuhkan. Tanaman kiambang juga dapat menyerap zat polutan sejauh atau sedalam akar tanaman dapat tumbuh. Kemudian akar mentranslokasikan kadar COD yang sudah terserap ke bagian batang dan daun tanaman, selanjutnya dibawa ke bagian sel tumbuhan agar metabolisme tidak terganggu. Keberadaan tanaman kiambang dapat menurunkan konsentrasi COD. Hal tersebut disebabkan pada limbah cair mengandung bahan organik diurai oleh mikroorganisme. Adanya bahan organik tersebut akan diurai menjadi senyawa yang secara alami dan digunakan sebagai nutrient oleh tanaman kiambang (Hapsari dkk., 2016).

Penurunan konsentrasi COD pada jumlah 12 tanaman diduga terjadi karena adanya pengaruh jumlah tanaman dan waktu fitoremediasi. Semakin banyak jumlah tanaman kiambang yang digunakan, maka semakin tinggi konsentrasi COD yang diserap oleh akar tanaman. Semakin lama waktu remediasi air limbah, maka semakin banyak pula konsentrasi COD yang didegradasikan oleh mikroorganisme dan yang diserap oleh tanaman kiambang.

Dari hasil uji parameter setelah perlakuan variasi jumlah tanaman pada konsentrasi di COD dapat dilakukan analisis statistik secara ANOVA. Kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BTN) yang berfungsi supaya mengetahui terdapat perbedaan yang nyata atau signifikan antara masing-masing perlakuan. Hasil uji statistik secara ANOVA dapat ditunjukkan dari nilai $P < 0,05$. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada Lampiran A

Hasil analisis uji beda nyata terkecil terdapat kontrol dan perlakuan.jumlah tanaman menunjukkan adanya perbedaan signifikan (beda nyata) dalam penurunan kadar COD antara perlakuan kontrol dengan perlakuan jumlah tanaman (tanaman 6

dan tanaman 12). Pada hari 5, perlakuan kontrol dengan perlakuan tanaman 6 tidak beda nyata ($p > 0,05$). Pada perlakuan tanaman 6 terhadap perlakuan tanaman 12 beda nyata ($p < 0,05$). Pada hari 10, perlakuan kontrol terhadap perlakuan tanaman 6 tidak beda nyata ($p > 0,05$). Pada perlakuan tanaman 6 terhadap perlakuan tanaman 12 beda nyata ($p < 0,05$). Penurunan COD secara signifikan terjadi pada hari 15 di mana perlakuan kontrol dengan perlakuan jumlah tanaman 6 beda nyata ($p < 0,05$). Pada perlakuan tanaman 6 dan tanaman 12 beda nyata ($p < 0,05$) dan kontrol terhadap tanaman 12 berbeda sangat nyata ($p < 0,05$).

Efektivitas tanaman kiambang dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit berdasarkan waktu tinggal selama 15 hari diperoleh nilai terbaik pada perlakuan tanaman 12 dengan nilai efektivitas yaitu $43,793 \pm 0,453\%$ yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Penurunan Konsentrasi COD Berdasarkan Waktu Remediasi

Penurunan Konsentrasi COD (%)			
Perlakuan	Hari 5	Hari 10	Hari 15
K0	$4,76 \pm 1,82^a$	$11,00 \pm 1,20^b$	$13,59 \pm 0,33^b$
T6	$9,56 \pm 0,23^a$	$12,52 \pm 1,06^a$	$21,90 \pm 1,08^b$
T12	$27,40 \pm 0,27^a$	$37,34 \pm 2,50^b$	$43,79 \pm 0,45^b$

Hasil analisis penurunan konsentrasi COD berdasarkan waktu remediasi. Berdasarkan Tabel di atas, dapat dilihat grafik penurunan konsentrasi COD dari ketiga perlakuan di atas (kontrol, 6 tanaman dan 12 tanaman), Perlakuan kontrol mengalami penurunan pada hari 10 dan hari 15 yaitu sebesar $11,00 \pm 1,20\%$ dan $13,59 \pm 0,33\%$. Penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan 12 tanaman dimana pada hari 5 diperoleh nilai sebesar $27,40 \pm 0,27\%$, pada hari 10 diperoleh nilai sebesar $37,34 \pm 2,50\%$ dan pada hari 15 diperoleh nilai sebesar $43,79 \pm 0,45\%$.

Sebagaimana penelitian Rahadian dkk (2017), tanaman kayu apu dapat menurunkan COD pada limbah laundry selama 14 hari fitoremediasi yaitu sebesar 53,22%. Pada penelitian Rahmawan dkk (2019), disebutkan bahwa tanaman akar wangi mampu menurunkan COD selama 7, 14 dan 21 hari proses fitoremediasi secara berturut-turut yaitu sebesar 9,52%; 34,63%; 50,66%. Penelitian Novita (2019), tanaman melati air dapat menurunkan COD hari 7, dan 14 yaitu sebesar 69% dan 30,12%.

Penurunan COD terjadi diduga karena tanaman kiambang menyerap banyak nutrisi yang ada dalam limbah cair kelapa sawit. Penurunan konsentrasi COD dalam suatu air limbah dikarenakan terjadinya proses penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme di sekitar zona akar yang disebut juga dengan istilah *rizodegradasi*. COD yang diserap oleh akar tanaman kiambang akan ditranslokasikan ke bagian tanaman (Ruhmawati dkk., 2017).

Pada perlakuan kontrol juga mengalami penurunan dari hari 10 sampai dengan hari 15, dimana penurunan konsentrasi COD tersebut terjadi karena alam memiliki kemampuan *self purification* yaitu mampu membersihkan zat polutan yang berlangsung secara alami (Pribadi dkk., 2016). Secara alami, pemurnian limbah dengan bantuan mikroba dapat bekerja bahkan tanpa perlakuan khusus. Hal ini karena di alam maupun di dalam limbah itu sendiri sudah mengandung mikroba pengurai yang baik. Namun di lingkungan sendiri, proses dekomposisi seringkali terhambat oleh penurunan oksigen. Hal ini disebabkan oleh pembuangan limbah yang melebihi kapasitas sehingga kemampuan pemurnian diri lingkungan mencapai batasnya (Suardana dkk., 2023).

Penurunan COD juga dipengaruhi oleh pengaruh jumlah tanaman dan waktu remediasi dimana semakin banyak jumlah tanaman kiambang yang digunakan sebagai fitoremediator maka semakin banyak pula akar yang mengeluarkan eksudat sehingga aktivitas mikroorganisme semakin banyak dalam proses penguraian dan penyerapan konsentrasi COD pada akar (Pribadi dkk., 2016).

Selain itu, penurunan COD juga dipengaruhi oleh waktu remediasi, semakin lama waktu remediasi yang digunakan selama proses fitoremediasi maka semakin banyak COD yang menurun akibat degradasi yang dilakukan oleh aktivitas mikroorganisme dan yang diserap oleh akar tanaman (Nono dkk., 2020).

Dari hasil uji parameter setelah perlakuan variasi jumlah tanaman pada konsentrasi COD dapat dilakukan analisis statistik secara ANOVA. Kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BTN) yang berfungsi supaya mengetahui terdapat perbedaan yang nyata atau signifikan antara masing-masing perlakuan. Hasil uji statistik secara ANOVA dapat ditunjukkan dari nilai $p < 0,05$. Hasil uji beda nyata terkecil didapat perbedaan selama waktu remediasi dalam menurunkan konsentrasi COD secara signifikan (beda nyata). Penurunan

berdasarkan waktu remediasi diperoleh pada perlakuan tanaman 12 di mana hari 5 terhadap hari 10 beda nyata ($p < 0,05$), hari 10 terhadap hari 5 beda nyata ($p < 0,05$) dan hari 5 terhadap hari 15 beda nyata ($P < 0,05$).

4.3 Penurunan Konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan padatan yang disebabkan oleh kekeruhan yang terdapat dalam air. Hal tersebut dikarenakan padatan tidak terlarut dan masih mengandung partikel-partikel yang lebih kecil daripada sedimen berupa zat-zat organik, tanah, sel-sel mikroorganisme dan lain sebagainya. (Simanjuntak, 2019). Adanya kandungan suatu zat padat tersuspensi yang tinggi dapat mengurangi penembusan cahaya matahari masuk ke dalam air, sehingga jumlah cahaya yang menembus air tidak optimal dalam proses fotosintesis (Simatupang dkk., 2015).

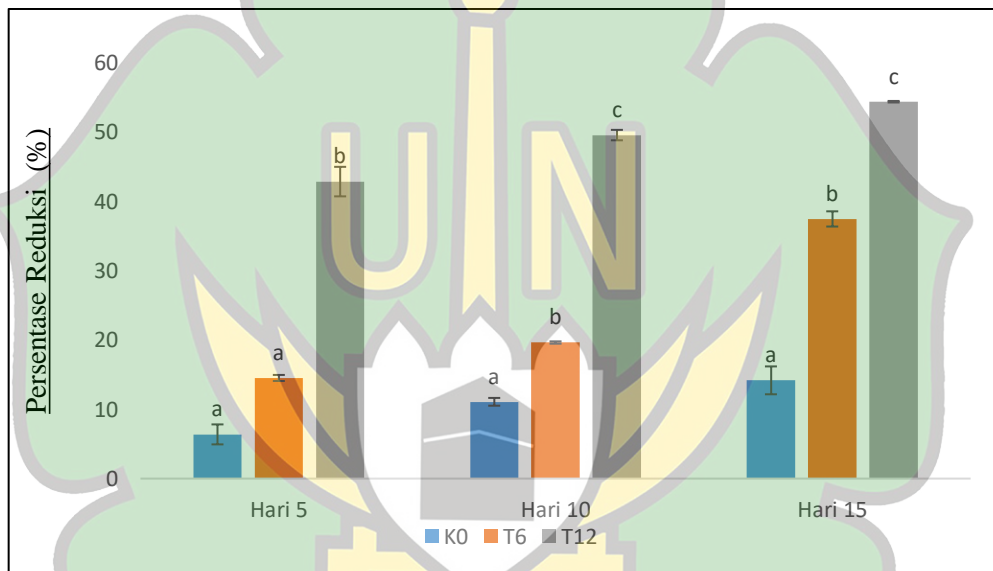
Tanaman kiambang merupakan tanaman remediator yang sangat baik dalam meremediasi limbah organik maupun anorganik karena memiliki sifat hiperakumulator yang tinggi. Proses *absorpsi* zat-zat yang terdapat dalam limbah cair dilakukan di sekitar akar tanaman. Penurunan parameter TSS terjadi karena proses penyerapan oleh tanaman kiambang dan juga bahan organik terdekomposisi mengalami pengendapan (Simatupang dkk., 2015). Hasil uji parameter TSS setelah proses fitoremediasi mengalami penurunan sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Penurunan TSS Pada Limbah Cair Kelapa Sawit

Perlakuan	Nilai Awal TSS (Mg/L)	Nilai Akhir TSS (Mg/L)	Baku Mutu (Mg/L)
K0	270	253 ± 6,11	250
T6		170 ± 37,03	
T12		91,5 ± 66,11	

Berdasarkan Tabel di atas didapat data yang menunjukkan nilai parameter TSS sebelum perlakuan yaitu 270 mg/l dan sesudah perlakuan proses fitoremediasi yaitu pada perlakuan kontrol nilai TSS masih belum memenuhi baku mutu yaitu 253 atau 6,11%. pada perlakuan jumlah tanaman 6 dan tanaman 12 sudah memenuhi baku mutu limbah cair kelapa sawit yaitu 170 atau 37,03% pada tanaman 6 dan 91,5 atau 66,11 % pada tanaman 12.

Penelitian menggunakan tanaman kiambang lebih baik dibandingkan dengan penelitian oleh Ilmannafian dkk (2020), bahwa fitoremediasi menggunakan eceng gondok pada minggu keempat diperoleh konsentrasi TSS pada air limbah 100% (400 mg/L), 75%(200 mg/L), dan 50% (0 mg/L) pada limbah cair kelapa sawit. Hasil penelitian ini tidak lebih baik dari penelitian Sisnayati dkk (2021), fitoremediasi selama 6 hari menggunakan aerasi pada limbah cair kelapa sawit 100% diperoleh penurunan TSS sebesar 23,7 mg/L. Wei dkk., (2019), Fitoremediasi menggunakan eceng gondok terhadap konsentrasi TSS meningkat secara berkala dari 200 mg/L menjadi 900 mg/L. Adapun grafik penurunan kadar TSS dapat dilihat pada grafik Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi TSS oleh Jumlah Tanaman

Berdasarkan gambar grafik di atas, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara perlakuan, konsentrasi TSS mulai mengalami penurunan dari hari 5 sampai dengan hari 15 secara berkala. Pada hari 5, perlakuan kontrol dan tanaman 6 tidak mengalami penurunan yang signifikan yaitu sebesar $6,379 \pm 1,442\%$ dan $14,526 \pm 0,437\%$, pada perlakuan tanaman 12 konsentrasi TSS mulai mengalami penurunan sebesar $42,870 \pm 2,130\%$. Pada hari 10, konsentrasi TSS pada perlakuan kontrol menurun sebesar $11,082 \pm 0,563\%$, perlakuan tanaman 6 sebesar $19,639 \pm 0,563\%$ dan perlakuan tanaman 12 sebesar $49,5484\%$. Pada hari 15, perlakuan kontrol diperoleh nilai sebesar $14,182 \pm 2,012\%$, pada perlakuan tanaman 6 diperoleh nilai sebesar $37,481 \pm 1,099\%$, dan pada perlakuan tanaman 12 diperoleh nilai sebesar $54,399 \pm 0,112\%$.

Hal ini sejalan dengan penelitian Tampubolon (2020), di mana tanaman kayu apu perlakuan jumlah 12 tanaman mampu menurunkan TSS sebesar 96,09%. Penelitian perlakuan tanaman eceng gondok jumlah 6 tanaman mampu menurunkan TSS sebesar 15.25 mg/L. Penelitian Taurisna (2020,) tanaman kayu apu perlakuan jumlah 10 dan 20 tanaman mampu menurunkan TSS yaitu sebesar 63,82%. Penurunan diduga terjadi karena tanaman kiambang menurunkan TSS secara *adsorpsi* dimana tanaman tersebut memiliki permukaan daun yang luas dan banyak pori-pori kecil. Hal ini memungkinkan tanaman untuk menyerap partikel-partikel padat, termasuk TSS, dalam proses ini partikel TSS menempel pada permukaan daun dan terjebak di dalam struktur tanaman. Penurunan nilai konsentrasi TSS terjadi akibat tanaman mulai berkembang biak dan memperoleh akar yang lebat dan memiliki permukaan daun berupa rambut-rambut halus seperti benang yang dapat menyerap zat-zat organik yang dalam limbah cair kelapa sawit sehingga banyak koloid yang melayang di air menempel pada akar tanaman kiambang tersebut. Sebagaimana semakin banyak bahan-bahan organik yang dihasilkan oleh tanaman dan akar tanaman, maka semakin banyak pula koloid yang menempel pada akar-akar tanaman tersebut (Simanjuntak, 2019).

Selain mekanisme *adsorpsi* tanaman kiambang juga dapat menurunkan konsentrasi TSS melalui proses sedimentasi. Tanaman ini mampu mengendapkan partikel-partikel padat, termasuk TSS ke dasar air. tanaman kiambang juga mampu mengurangi konsentrasi TSS melalui proses biofiltrasi. Tanaman ini dapat memanfaatkan mikroorganisme pada permukaan daunnya untuk membersihkan air dari TSS dan bahan organik lain yang terkandung dalam limbah (Han dkk., 2021).

Hasil analisis parameter kimia setelah dilakukan perlakuan pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman kiambang dapat dilihat hasil uji analisis statistik secara ANOVA. Analisis statistik secara ANOVA dapat dibaca dengan uji Beda Nyata Terkecil (BTN) supaya dapat mengetahui perbedaan yang nyata antara perlakuan dimana hasil uji secara ANOVA menunjukkan ada perbedaan terhadap variasi jumlah tanaman. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai $p < 0,05$. Adapun hasil analisis statistik penurunan nilai TSS pada perlakuan tanaman 6 dan tanaman 12 dapat dilihat pada lampiran A.

Hasil analisis uji beda nyata terkecil terdapat jumlah tanaman menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (beda nyata) antara penurunan parameter TSS pada kontrol dan perlakuan (tanaman 6 dan tanaman 12). Pada hari 15, perlakuan kontrol dengan perlakuan tanaman 6 beda nyata ($p < 0,05$), perlakuan tanaman 6 terhadap tanaman 12 berbeda nyata ($p < 0,05$). Sedangkan perlakuan kontrol terhadap tanaman 12 sangat berbeda nyata ($p < 0,05$).

Efektivitas tanaman kiambang terhadap laju penyisihan limbah cair kelapa sawit diperoleh perbedaan penurunan kadar TSS. Dimana jumlah tanaman 12 lebih efektif menurunkan kadar TSS dibandingkan tanaman 6. Efektivitas tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dalam meremediasi limbah cair kelapa sawit memperoleh perbedaan penurunan nilai konsentrasi TSS berdasarkan variasi jumlah tanaman 6 dan tanaman 12. Adapun penurunan konsentrasi TSS berdasarkan waktu remediasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut

Tabel 4.6 Penurunan Konsentrasi TSS Terhadap Waktu Remediasi

Penurunan Konsentrasi TSS (%)			
Perlakuan	Hari 5	Hari 10	Hari 15
K0	6,379 ± 1,44 ^a	11,08 ± 0,56 ^a	14,18 ± 2,01 ^b
T6	14,52 ± 0,43 ^a	19,63 ± 0,16 ^b	37,48 ± 1,09 ^c
T12	42,87 ± 2,13 ^a	49,58 ± 0,75 ^b	54,39 ± 0,11 ^b

Berdasarkan di atas, dapat dilihat bahwa waktu remediasi limbah cair kelapa sawit terhadap penurunan konsentrasi TSS. dari ketiga perlakuan di atas (kontrol, 6 dan 12 tanaman) didapat hasil penurunan TSS paling tinggi yaitu pada perlakuan tanaman 6, di mana pada hari 5 diperoleh nilai sebesar 14,52 ± 0,43%, pada hari 10 diperoleh nilai sebesar 19,639 ± 0,16%, dan pada hari 15 diperoleh nilai sebesar 37,48 ± 1,09%. Sebagaimana penelitian Tampubolon dkk., (2020), tanaman kayu apu signifikan menurunkan TSS pada hari 12 yaitu sebesar 96,09%). Dalam penelitian Rahadian dkk., (2017), tanaman kayu apu mampu menurunkan konsentrasi TSS selama 14 hari fitoremediasi limbah sebesar 46%. Penelitian serupa oleh Kasman dkk., (2018), tanaman melati air terbukti efektif menurunkan TSS sebesar 59-79% selama 15 hari fitoremediasi limbah

Penurunan konsentrasi TSS terjadi akibat pertumbuhan jumlah daun akar tanaman karena lama waktu remediasi yang dilakukan, tanaman kiambang memiliki akar yang lebar dan berambut halus sehingga partikel yang berada dalam

air limbah terjebak, lalu terjadi penumpukan dan selanjutnya mengendap secara gravitasi atau diurai oleh mikroorganisme (Ruhmawati dkk., 2017). Sedangkan pada perlakuan kontrol, TSS dapat menurun karena terjadinya proses *self purification* yang merupakan kemampuan alami dari limbah untuk membersihkan dirinya sendiri melalui interaksi antara faktor fisik, kimia, biologi yang berbeda sehingga dalam hal fitoremediasi limbah cair dapat memanfaatkan kemampuan *self purification* tersebut untuk mengurangi pencemaran limbah tersebut (Selvaraj & Velvizhi, 2021).

Pada perlakuan tanaman 12 nilai TSS didapat lebih rendah daripada perlakuan tanaman 6. Adapun kenaikan nilai TSS dapat dilihat dari warna limbah cair yang keruh. Hal tersebut terjadi dikarenakan sinar matahari yang terhalang masuk ke dalam air limbah yang sedang dilakukan pengolahan sehingga proses fitoremediasi menjadi terhambat dan kadar oksigen akan berkurang dalam air limbah. Apabila oksigen pada suatu limbah sedikit maka bakteri-bakteri aerobik di dalamnya akan mudah mati dan sebaliknya bakteri anaerobik mulai aktif. Bakteri tersebut akan membentuk gas yang mengeluarkan bau busuk juga berbahaya.

Selain itu, juga penurunan dipengaruhi oleh faktor kepadatan. Jumlah tanaman yang lebih banyak dapat mengakibatkan kepadatan tanaman yang tinggi, yang dapat menghambat penyerapan limbah dan mengurangi kontak antara tanaman dan air limbah. Dengan demikian, perlakuan jumlah tanaman yang lebih sedikit dapat meminimalkan kompetisi dan memungkinkan setiap tanaman untuk memperoleh sumber daya yang cukup untuk tumbuh dengan baik dan menyerap TSS (Azmi dkk., 2016).

Hasil uji beda nyata terkecil diperoleh perbedaan waktu remediasi terhadap penurunan konsentrasi TSS menunjukkan terdapat perbedaan yang nyata antara perbedaan waktu remediasi dalam penurunan TSS. Waktu remediasi diperoleh pada perlakuan tanaman 6 di mana pada hari 5 terhadap hari 10 beda nyata ($p < 0,05$), pada hari 10 terhadap hari 15 beda nyata ($P < 0,05$), pada hari 5 terhadap hari 15 berbeda sangat nyata ($P < 0,05$).

4.4 Pertumbuhan dan Morfologi Tanaman Kiambang

Pertumbuhan dan morfologi akar tanaman memainkan peran penting dalam fitoremediasi, yaitu proses penggunaan tanaman untuk membersihkan polutan dari lingkungan. Melalui studi pertumbuhan dan morfologi akar tersebut, dapat menentukan kemampuan tanaman untuk menghilangkan polutan tertentu dalam limbah. Dalam penelitian ini, faktor-faktor seperti berat tanaman, berat basah akar tanaman, jumlah daun tanaman, dan panjang akar terpanjang tanaman dapat diukur dan dianalisis untuk menentukan efektivitas fitoremediasi menggunakan tanaman.

Adapun hasil perhitungan pertumbuhan tanaman kiambang dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil Analisis Pertumbuhan Kiambang pada Limbah Cair Kelapa Sawit dan pada Air (Tanpa Limbah)

Parameter	Perlakuan			
	T6	K6	T12	K12
Berat awal	10,57 ± 0,21	10,38 ± 0,19	10,82 ± 0,20	10,64 ± 0,32
Berat akhir	21,20 ± 1,01	19,42 ± 3,41	20,55 ± 3,41	20,00 ± 3,57
Berat basah akar awal	4,30 ± 0,20	4,80 ± 0,10	4,65 ± 0,35	4,80 ± 0,20
Berat basah akar akhir	12,25 ± 0,25	13,50 ± 1,00	14,00 ± 0,50	14,50 ± 1,00
Panjang akar terpanjang awal (cm)	10,7 ± 0,6	10,6 ± 0,5	10,5 ± 0,4	10,9 ± 0,7
Panjang akar terpanjang akhir (cm)	17,2 ± 0,9	17,8 ± 1,2	17,5 ± 0,4	18,2 ± 1,7
Jumlah daun awal (helai)	26,3 ± 2,13	29,33 ± 3,20	29,3 ± 3,42	30,7 ± 2,98
Jumlah daun akhir (helai)	44,7 ± 2,73	48,7 ± 5,47 ^b	44,3 ± 3,20	45,0 ± 3,74

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa pertumbuhan pada hari 0 dengan hari 15, hasil analisis statistik mengungkapkan bahwa tidak didapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p > 0,05$). Pada perlakuan jumlah tanaman 6 menggunakan limbah didapat hasil berat akhir ($21,2 \pm 1,01\%$), berat basah akar akhir ($4,3 \pm 0,20\%$), panjang akar terpanjang akhir ($10,7 \pm 0,6\%$), dan jumlah daun akhir ($44,7 \pm 2,73\%$). Sedangkan pada perlakuan jumlah tanaman 6 menggunakan air didapat hasil berat akhir ($20,6 \pm 3,29\%$), berat basah akar akhir

($13,5 \pm 1,00\%$), panjang akar terpanjang akhir ($17,8 \pm 1,2\%$), dan jumlah daun akhir ($48,7 \pm 5,47\%$). Pada perlakuan jumlah tanaman 12 menggunakan limbah didapat hasil berat akhir ($19,4 \pm 3,41\%$), berat basah akar akhir ($14 \pm 0,50\%$), panjang akar terpanjang akhir ($17,5 \pm 0,4\%$), dan jumlah daun akhir ($44,3 \pm 3,20\%$). Sedangkan pada perlakuan jumlah tanaman 12 menggunakan air didapat hasil berat akhir ($10,6 \pm 0,32\%$), berat basah akar akhir ($14,5 \pm 1,00\%$), panjang akar terpanjang akhir ($18,2 \pm 1,7\%$), dan jumlah daun akhir ($45,0 \pm 3,74\%$).

Sebagaimana dalam penelitian Rahmawan dkk., (2019), laju pertumbuhan rumput vetiver yaitu berat akhir ($40,57 \pm 2,10$), panjang akar akhir ($9,62 \pm 1,09$). Laju pertumbuhan kangkung yaitu berat akhir ($36,90 \pm 1,19$), panjang akar akhir ($7,83 \pm 1,53$). Penelitian Kandi (2019) laju pertumbuhan kangkung yaitu tinggi akhir $40,10 \pm 4,91$, bobot basah akhir ($19,00 \pm 6,48$), jumlah daun akhir ($6,00 \pm 1,00$), panjang akar terpanjang ($16,53 \pm 1,69$). Penelitian Sari dkk., (2016), laju pertumbuhan melati air yaitu panjang akar akhir (17,5 cm), jumlah daun akhir (18 helai), berat basah akhir (226,9 gram). Pertumbuhan kayu apu yaitu panjang akar (6,4 cm), berat basah (71,6 gram). Pertumbuhan eceng gondok yaitu jumlah daun akhir (12 helai), panjang akar akhir (15,2 cm), berat basah akhir (267,5 gram).

Adapun gambar morfologi akar tanaman dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Morfologi Akar Tanaman Menggunakan LKCS dan Air Hari 15. Skala Bar: 1 mm.

Keterangan:

- T6 : Perlakuan jumlah tanaman menggunakan LKCS
- T12 : Perlakuan jumlah tanaman menggunakan LKCS
- K6 : Kontrol jumlah tanaman 6 menggunakan air
- K12 : Kontrol jumlah tanaman 12 menggunakan air

Gambar di atas merupakan morfologi akar tanaman kiambang yaitu saat sebelum proses fitoremediasi dan sesudah proses fitoremediasi dalam limbah cair kelapa sawit. Dapat dilihat pada morfologi akar pada perlakuan jumlah tanaman 6 (T6) dan jumlah tanaman 12 (T12) menggunakan limbah cair kelapa sawit akar tampak lebih tebal berwarna coklat kehitaman. Pada perlakuan kontrol jumlah tanaman 6 (K6) dan jumlah tanaman 12 (K12) merupakan gambar akar tanaman tanpa menggunakan limbah cair kelapa sawit, dimana pada gambar tersebut diperoleh akar tanaman tampak tipis berwarna coklat dan terlihat lebih bening daripada tanaman yang menggunakan limbah cair kelapa sawit.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh kandi (2019) yaitu morfologi akar tanaman kangkung pada limbah cair kelapa sawit berwarna lebih gelap daripada akar kangkung yang tidak menggunakan limbah cair kelapa sawit. Munawwaroh & Pangestuti (2018) menyebutkan bahwa terdapat perbedaan warna akar kayu apu (*Pistia stratiotes* L) dimana warna akar tampak lebih gelap dan rusak akibat limbah *cadmium* (Cd).

Akar merupakan salah satu bagian dari tanaman yang berfungsi sebagai alat untuk menyerap air dan unsur hara mineral dari medium habitatnya. Limbah cair kelapa sawit sebagai media pertumbuhan dalam penelitian ini, selain mengandung kandungan COD dan TSS yang tinggi serta logam berat, namun juga mengandung unsur hara seperti nitrogen dan fosfor yang dibutuhkan oleh tanaman sebagai nutrisi selama pertumbuhan (Mutmainah dkk., 2019). Keberadaan COD dan TSS yang tinggi diduga masih dapat ditolerir oleh tanaman kiambang tersebut sehingga tanaman tetap tumbuh beradaptasi dan berkembang dengan media tumbuh dari limbah cair kelapa sawit tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) adalah sebagai berikut:

1. Pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman kiambang efektif menurunkan konsentrasi COD dan TSS. Berdasarkan variasi jumlah tanaman, konsentrasi COD dan TSS mengalami penurunan tertinggi terjadi pada hari 15 yaitu pada perlakuan kontrol, perlakuan jumlah tanaman 6 dan tanaman 12 secara berturut-turut sebesar 5,52%; 13,94%; 47,89%, dan Nilai TSS secara berturut-turut yaitu 6,11%; 37,03%; 66,11%.
2. Berdasarkan waktu remediasi, konsentrasi COD signifikan terjadi pada perlakuan 12 tanaman pada hari 5, hari 10, hari 15 secara berturut-turut yaitu 0,27%; 2,50%; 0,45%. Pada konsentrasi TSS penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan jumlah tanaman 6 secara berturut-turut yaitu 0,43%; 0,16%; dan 1,09%.
3. Tanaman kiambang yang digunakan sebagai fitoremediator pada limbah cair kelapa sawit dapat hidup dan berkembang. Terbukti dengan bertambah berat awal dari 10,6 g menjadi 21,2 g, berat basah akar awal dari 4,3 g menjadi 12,2 g, panjang akar terpanjang awal dari 10,7 cm menjadi 17,2 cm dan jumlah daun awal dari 18,2 helai menjadi 44 helai.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dilakukan pada penelitian selanjutnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan antara lain yaitu

1. Dapat dilakukan variasi jumlah tanaman dengan variasi waktu yang berbeda untuk melihat kemampuan tanaman dalam meremediasi limbah cair kelapa sawit.
2. Fitoremediasi dengan parameter lain seperti BOD, fosfor, nitrogen dan minyak lemak yang terkandung dalam limbah cair kelapa sawit sesuai dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No.5 tahun 2014.

3. Dapat dilakukan variasi konsentrasi limbah cair kelapa sawit hingga 20%, 40%, 50% hingga 100% untuk melihat kemampuan tanaman hidup pada konsentrasi limbah tersebut.
4. Variasi fitoremediasi tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) dilihat pengaruh atau perbandingan terhadap perlakuan yang menggunakan aerasi dan yang tidak menggunakan aerasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Abd Kadir, A., Abdullah, S. R. S., Othman, B. A., Hasan, H. A., Othman, A. R., Imron, M. F., Ismail, N., & Kurniawan, S. B. (2020). Dual function of *Lemna minor* and *Azolla pinnata* as phytoremediator for Palm Oil Mill Effluent and as feedstock. *Chemosphere*, 259, 127468.
- Arnasih, A., Prasadi, O. T. O., & Fadlilah, I. (2022). *Tugas Akhir: Pengolahan Air Limbah Domestik Sistem Wetland Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Dan Kiambang (Salvinia Cucullata) Di Politeknik Negeri Cilacap*. Politeknik Negeri Cilacap.
- Azmi, M., HS, E., & Andrio, D. (2016). *Pengolahan limbah cair industri tahu menggunakan tanaman Typha latifolia dengan metode constructed wetland*. Riau University.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 6989.59:2008 Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. *Sni 6989.59:2008*, 59, 19.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 06-6989.2:2019. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan Refluks Tertutup. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 06-6989.3:2019. Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solid/TSS*) secara Gravimetri. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Baihaqi, B., Rahman, M., Zulfahmi, I., & Hidayat, M. (2018). Bioremediasi limbah cair kelapa sawit dengan menggunakan *Spirogyra sp.* *Biotik: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 5(2), 125–134.
- Bello, M. M., Nourouzi, M. M., Abdullah, L. C., Choong, T. S. Y., Koay, Y. S., & Keshani, S. (2013). POME is treated for removal of color from biologically treated POME in fixed bed column: applying wavelet neural network (WNN). *Journal of Hazardous Materials*, 262, 106–113.
- Budijono, B., & Hasbi, M. (2014). *Remediation of TSS and Ammonia in the Rubber Liquid Waste by the Filter Media and the Water Plants (Limnnocharis flava,*

Echinodorus palaefolius) For Live Fish Media. Riau University.

- Chan, Y.-J., Mei-Fong, C., & Chung-Lim, L. (2013). Optimization of palm oil mill effluent treatment in an integrated anaerobic-aerobic bioreactor. *Sustainable Environment Research*, 23(3), 153–170.
- Charisma widya, Badrus Zaman, S. (2015). Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L*) Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD Dan Warna Charisma Widya; Badrus Zaman; Syafrudin. *Universitas Diponegoro*, 024.
- David, B. J., Lalung, J., & Ismail, N. (2014). *Palm oil mill effluent (POME) treatment “Microbial communities in an anaerobic digester”*: A Review.
- Elystia, S. (2014). Pengolahan kandungan COD limbah cair pabrik kelapa sawit oleh *Typha latifolia* dengan metode fitoremediasi. *Jurnal Dampak*, 11(2), 88–95.
- Ethica, S. N. (2018). *Buku referensi bioremediasi limbah biomedik cair*. Deepublish.
- Faizah, I., Sagita, N & Dania, H. (2021). Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Cair Dari Limbah. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2).
- Fajri, J. A. (2020). *Degradasi Kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Tenun Oleh Bakteri Endofit*.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Satyawibawa, I., & Paeru, R. H. (2012). *Kelapa sawit*. Penebar Swadaya Grup.
- Febriani, I. K. (2018). Application of pesticide phytoremediation in irrigated rice fields system using Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Plants. *E3S Web of Conferences*, 31, 3019.
- Hapsari, S., Zaman, B., & Andarani, P. (2016). *Kemampuan Tumbuhan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Dalam Menyisihkan Kromium Total (Cr-T) Dan COD Limbah Elektroplating*. Diponegoro University.
- Hardiastuti, S. (2021). The study of *Salvinia molesta* growth with the variation of light intensity. *Agrivet*, 18(1), 1–8.

- Hasyim, N. A. (2016). *Potensi Fitoremediasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dalam mereduksi logam berat seng (Zn) dari perairan danau tempe kabupaten wajo*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Hibatullah, H. F. (2019). Fitoremediasi Limbah Domestik (*Grey Water*) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Dengan Sistem Batch. *NASPA Journal*, 42(4), 1.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Filtrasi Dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 1–10.
- Imron, I., Dermiyati, D., Sriyani, N., Yuwono, S. B., & Suroso, E. (2019). Perbaikan kualitas air limbah domestik dengan fitoremediasi menggunakan kombinasi beberapa gulma air: studi kasus kolam retensi talang aman Kota Palembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 51–60.
- Indonesia, M. L. H. R. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. *Jakarta: Kementrian LH*.
- Jubaidi, J., Maulana, I., & Saputra, A. I. (2022). Fitoremediasi Cod Dan Tss Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipess*) Dan Kiambang (*Salvinia Molesta*) Pada Limbah Laundry. *Jurnal Sanitasi Profesional Indonesia*, 3(2), 63–71.
- Kandi, R. N. (2019). *Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh 2019 M/1441 H*.
- Kasman, M., Riyanti, A., Sy, S., & Ridwan, M. (2018). *Jurnal Litbang Industri. Jurnal Litbang Industri-Vol, 8(1), 39–46*.
- Koto, I. (2021). *Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Memvariasikan Elektroda Melalui Proses Elektrokoagulasi*. 33.
- Kresnawaty, I., Putra, S. M., Budiani, A., & Darmono, T. W. (2017). *Konversi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi arang hayati dan asap cair*.

- Maharani, V. S. (2017). *Studi literatur: pengolahan minyak dan lemak limbah industri*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Manzatu, C., Nagy, B., Töröka, A., Silaghi-Dumitrescu, L., & Majdik, C. (2015). Crystal violet dye biosorption and phytoextraction using living *Salvinia natans* and *Salvinia natans* powder: a comparative study. *Stud U Babes-Bol Che*, 4, 289–304.
- Maria, S. H. (2021). *Pengolahan Limbah Restoran Menggunakan Grease Trap Dan Adsorpsi Media Karbon Aktif Dan Biji Kelor*. Upn Veteran Jawa Timur.
- Maryana, M. (2020). *Fitoremediasi menggunakan variasi kombinasi tanaman Kiambang (*Salvinia molesta* M) dan tanaman kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) dalam menurunkan besi (Fe) dengan sistem batch*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Muliari & Zulfahmi, I. (2016). Dampak Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Komunitas Fitoplankton di Sungai Krueng Mane Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 6(2), 137–146.
- 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), 72–86.
- Mutmainah, M., Basri, Z., & Laude, S. (2019). Efektivitas Dan Adaptasi Tumbuhan Eceng Gondok Dalam Menurunkan Kadar BOD Dan COD Dalam Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Mitra Sains*, 7(1), 22–35.
- Nasrullah, M., Singh, L., Mohamad, Z., Norsita, S., Krishnan, S., Wahida, N., & Zularisam, A. W. (2017). Treatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation with presence of hydrogen peroxide as oxidizing agent and polialuminum chloride as coagulant-aid. *Water Resources and Industry*, 17, 7–10.
- Ngirfani, M. N., & Puspitarini, R. (2020). Potensi Tanaman kangkung air dalam memperbaiki kualitas limbah cair rumah potong ayam. *Bioma: Jurnal Biologi Dan Pembelajaran Biologi*, 5(1), 66–79.

- Nono, K. M., Amalo, D., & Bakok, A. (2020). Pengaruh tumbuhan talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott var. *aquatilis* Hassk) sebagai fitoremediasi terhadap kualitas air limbah laundry. *Jurnal Biotropikal Sains*, 17(2), 37–47.
- Norhidayah, N., Sofarini, D., & Yunandar, Y. (2016). Fitoremediasi Tumbuhan Air Kiambang (*Salvinia molesta*) Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dan Perupuk (*Phragmites karka*) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Karet. *EnviroScienteeae*, 10(1), 18–26.
- Noviana, L. (2019). Efektivitas Melati Air Dalam Menurunkan Kadar BOD, COD Dan TSS Pada Air Limbah Laundry. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 1(2).
- Novita, E., Hermawan, A. A. G., & Wahyuningsih, S. (2019). Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air. *Jurnal Agroteknologi*, 13(01), 16–24.
- Nurafifah, S. (2016). *Pengaruh Kombinasi Kiambang (Salvinia Molesta) dan Zeolit Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)*. Universitas Airlangga.
- Nursanti, I. (2017). Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit pada proses pengolahan anaerob dan aerob. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 13(4), 67–73.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.*
- Pribadi, R. N., Zaman, B., & Purwono, P. (2016). *Pengaruh Luas Penutupan Kiambang (Salvinia Molesta) Terhadap Penurunan COD, Amonia, Nitrit, Dan Nitrat Pada Limbah Cair Domestik (Grey Water) Dengan Sistem Kontinyu*. Diponegoro University.
- Purwanti, P., Elystia, S., & Sasmita, A. (2014). *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Typha latifolia*. Riau University.
- Rahmawan, A. J., Effendi, H., & Suprihatin, S. (2019). Potensi rumput vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) dan kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) sebagai agen fitoremediasi limbah industri kayu. *Jurnal Pengelolaan*

Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management), 9(4), 904–919.

Rahmawati, A., Zaman, B., & Purwono, P. (2016). *Kemampuan Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta) dalam Menyisihkan Bod dan Fosfat pada Limbah Domestik (Grey Water) dengan Sistem Fitoremediasi secara Kontinyu*. Diponegoro University.

Raja, P. M., Giyanto, G., & Barus, S. (2021). Karakteristik Kandungan Unsur N, P Dan K Limbah Cair Kelapa Sawit Kolam Anaerob Dengan Kontak Kuantitas Bentonit. *Jurnal Agrium*, 18(2).

Ruhmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M., & Roni S, T. (2017). Penurunan kadar *total suspended solid* (tss) air limbah pabrik tahu dengan metode fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 25–35.

Sari, E., Jumiati, J., & Sari, M. (2016). Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Air Lokal Terhadap Air Lindi (*Leachate*). *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi*, 3(1), 77–89.

Sartika, S., Apriani, I., & Pramadita, S. (2021). Efektivitas Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) Dan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) Dalam Pengolahan Limbah Cair Pencucian Ikan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 5(1).

Selvaraj, D., & Velvizhi, G. (2021). Sustainable ecological engineering systems for the treatment of domestic wastewater using emerging, floating and submerged macrophytes. *Journal of Environmental Management*, 286, 112253.

Shrestha, P., Bellitürk, K., & Görres, J. H. (2019). Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil by switchgrass: A comparative study utilizing different composts and coir fiber on pollution remediation, plant productivity, and nutrient leaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1261.

Simanjuntak, D. S. (2019). Penurunan Kadar TSS Pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Rumput Vetiver (*Vetiveria Zizanioides L.*). *Ready Star*, 2(1), 70–73.

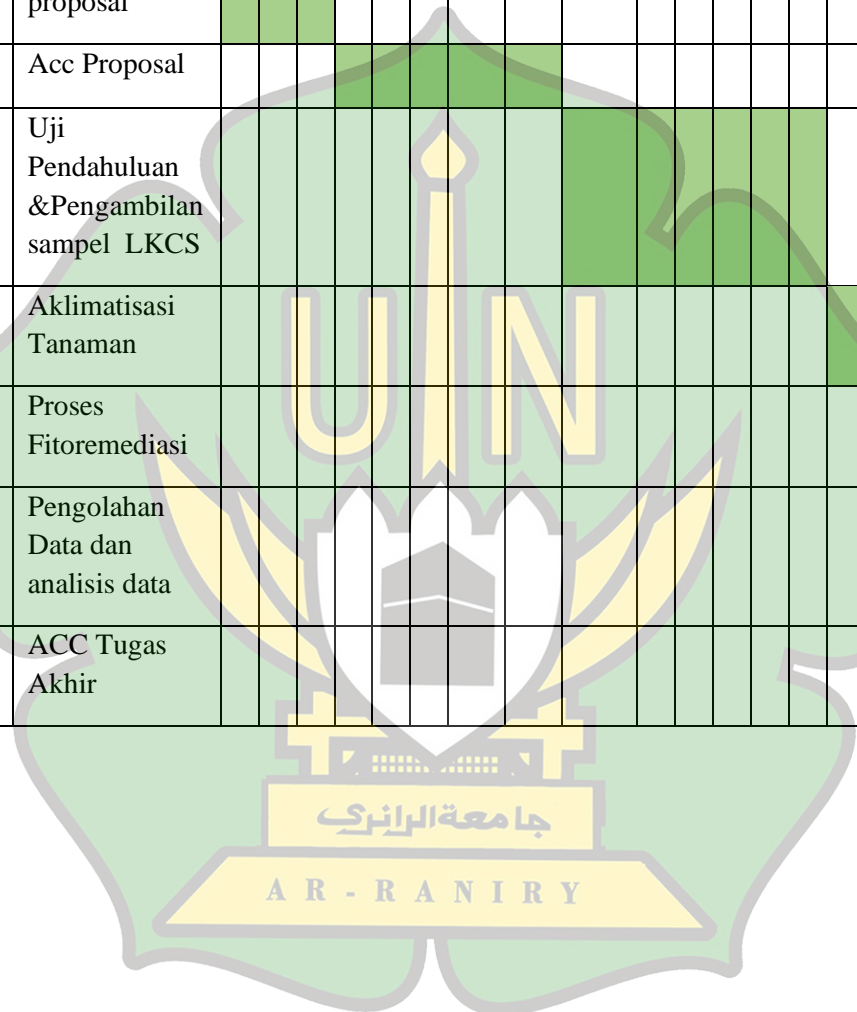
- Simatupang, I., Fatonah, S., & Iriani, D. (2015). *Pemanfaatan Kiambang (Salvinia molesta D. Mitch) untuk Fitoremediasi Limbah Organik Pulp dan Karats*. Riau University.
- Sisnayati, S., Dewi, D. S., Apriani, R., & Faizal, M. (2021). Penurunan BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair pabrik kelapa sawit menggunakan proses aerasi plat berlubang. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(2), 38–45.
- Soleimaninanadegani, M., & Manshad, S. (2014). Enhancement of biodegradation of palm oil mill effluents by local isolated microorganisms. *International Scholarly Research Notices*, 2014.
- Suardana, A. A. K., Wahyudi, I. W., & Ryanita, P. K. Y. (2023). Pengolahan Limbah Cair Domestik Dan Perhotelan Dengan Memanfaatkan Efective Microorganism (Em). *Jurnal Widya Biologi*, 125–136.
- Sunarsih, L. E. (2018). *Penanggulangan Limbah*. Deepublish.
- Sungkowo, T. H. (2015). *Pegolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman Typha Latifolia dan Eceng Gondok dengan Metode Fitoremediasi*. Riau University.
- Tampubolon, R. A., Febrina, L., & Mulyawati, I. (2020). Penurunan Kadar Bod, Cod Dan Tss Pada Air Limbah Domestik Dengan Sistem Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*). *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 2(1), 56–67.
- Tangahu, B. V., & Putri, A. P. (2017). the Degradation of BOD and COD of Batik Industry Wastewater Using *Egeria Densa* and *Salvinia Molesta*. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 9(2), 82–91.
- Taurisna, T. L. (2020). *Pemanfaatan tanaman kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) untuk menurunkan kadar COD, BOD, TSS pada limbah cair industri Tempe dengan menggunakan fitoremediasi sistem batch*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Vidyawati, D. S., & Fitrihidajati, H. (2019). Pengaruh Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) melalui Pengenceran terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 8(2).

- Waluyo, L. (2018). *Bioremediasi Limbah: Limbah* (Vol. 1). UMM Press.
- Warasto, Yulisman, & Mirna, F. (2013). Tepung kiambang (*Salvinia molesta*) Terfermentasi Sebagai Bahan Pakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 1(2), 173–183.
- Wei, I. T. A., Jamali, N. S., & Ting, W. H. T. (2019). Phytoremediation of palm Oil Mill Effluent (POME) Using *Eichhornia Crassipes*. *Journal Of Applied Science & Process Engineering*, 6(1), 340–354.
- Wimbaningrum, R., Arianti, I., & Sulistiyowati, H. (2020). Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia L.*) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri Laundry. *Berkala Sainstek*, 8(1), 25–28.
- Wuran, V., Febriani, H., & Subagiyono, S. (2018). Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Terhadap Penurunan Kadar Phospat Pada Air Limbah Usaha Binatu. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*, 5, 42.
- Yuliani, D. (2013). Analysis of *Salvinia Molesta* Capability For Reducing Cu (II) Concentration In Water Medium. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2).
- Yuliani, E. (2019). Fitoremediasi Limbah Pelumas Bekas Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Variasi Penambahan Pupuk. *UIN Sunan Ampel Surabaya*.
- Zulfahmi, I., Muliari, M., Akmal, Y., & Batubara, A. S. (2018). Reproductive performance and gonad histopathology of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus Linnaeus 1758*) exposed to palm oil mill effluent. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), 327–332.
- Zulfahmi, I., Muliari, M. I., & Mawaddah, I. (2017). Toksisitas limbah cair kelapa sawit terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus Linnaeus 1758*) dan ikan bandeng (*Chanos chanos Froskall 1755*). *Agricola*, 7(1), 44–55.


LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Oktober				November				Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Perbaikan proposal																				
2.	Acc Proposal																				
3.	Uji Pendahuluan & Pengambilan sampel LKCS																				
4.	Aklimatisasi Tanaman																				
5.	Proses Fitoremediasi																				
6.	Pengolahan Data dan analisis data																				
7.	ACC Tugas Akhir																				



Lampiran 2 Surat Permohonan Penelitian



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
PRODI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI
 Jl. Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
 Telepon : 0651-7552921 – 7551857 Fax. 0651-7552922
 E-mail: tekniklingkungan.fst@ar-raniry.ac.id | Web : www.fst.ar-raniry.ac.id

Nomor : B-642/Un.08/TL/PP.00.9/09/2022 Banda Aceh, 19 September 2022
 Sifat : Biasa
 Hal : Permohonan Penelitian

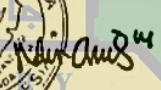
Yth.
 Pimpinan PT. BSP (Beurata Subur Persada)
 di-
 Tempat


Assalamualaikum Wr. Wb.

Sehubungan akan dilakukannya Penelitian sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, maka dengan ini kami memohon izin agar Mahasiswa kami dapat melakukan pengujian sampel untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Pengujian sampel akan dilakukan mulai tanggal 26 September s/d 26 Desember 2022. Adapun Mahasiswa yang akan melakukan penelitian:

Nama Mahasiswa : Sarah Nazila
 NIM : 180702027
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Ketinggian Tanaman Lembang (*Typha angustifolia*) Terhadap Performa Remediasi Limbah Cair Kelapa Sawit

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Wassalam,
 Ketua Prodi Teknik Lingkungan,

 Nur Aida



AR - R

Lampiran 3 Surat Pengembalian Mahasiswa

 **BSP PT. BEURATA SUBUR PERSADA**
Desa Babah Dua Kec. Tadu
Raya Kab. Nagan Raya
Aceh - Indonesia

Nagan Raya, 06 Oktober 2022

Nomor : 002.TU/PKS.BSP/X/2022
Perihal : Pengembalian Mahasiswa

Kepada Yth,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh
di -
Tempat

Dengan Hormat,

Berdasarkan Surat Nomor : B-642/Un.08/TL/PP.00.9/09/2022 Tanggal 19 September 2022 Perihal Permohonan Penelitian Pengujian Sampel untuk Keperluan Tugas Akhir. Bersama ini kami sampaikan Surat Pengembalian Mahasiswa berikut atas pelaksanaan penelitiannya sejak tanggal 03-06 Oktober 2022 di perusahaan kami, dengan data berikut.

Nama : Sarah Nazila
NIM : 180702027
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Ketinggian Tanaman Lembang (*Typha angustifolia*) terhadap Performa Remediasi Limbah Cair Kelapa Sawit

Demikian surat ini kami sampaikan. Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,
PT. BEURATA SUBUR PERSADA

BSP
PT BEURATA SUBUR PERSADA
Adriansyah Muktar Lubis
Mill Manager

جامعة الرانيري
AR - RANIRY

Cc :
- KTU
- HRD
- Arsip



Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit di PT. Beurata Subur Persada, Kec. Tadu Raya, Kab. Nagan Raya.



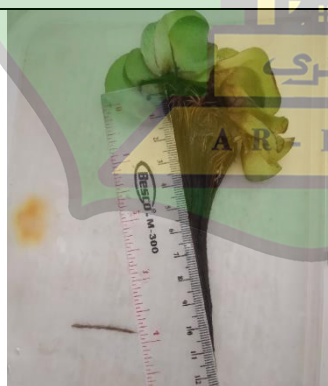
Pengambilan tanaman kiambang di Garden Mawar, Pangor Raya, Banda Aceh



Pengukuran berat tanaman kiambang



Hasil pengukuran tanaman kiambang



Pengukuran jumlah daun, panjang dan diameter tanaman seragam



pengukuran berat basah akar



aklimatisasi tanaman hari-1



aklimatisasi tanaman hari-2



Aklimatisasi tanaman hari-3



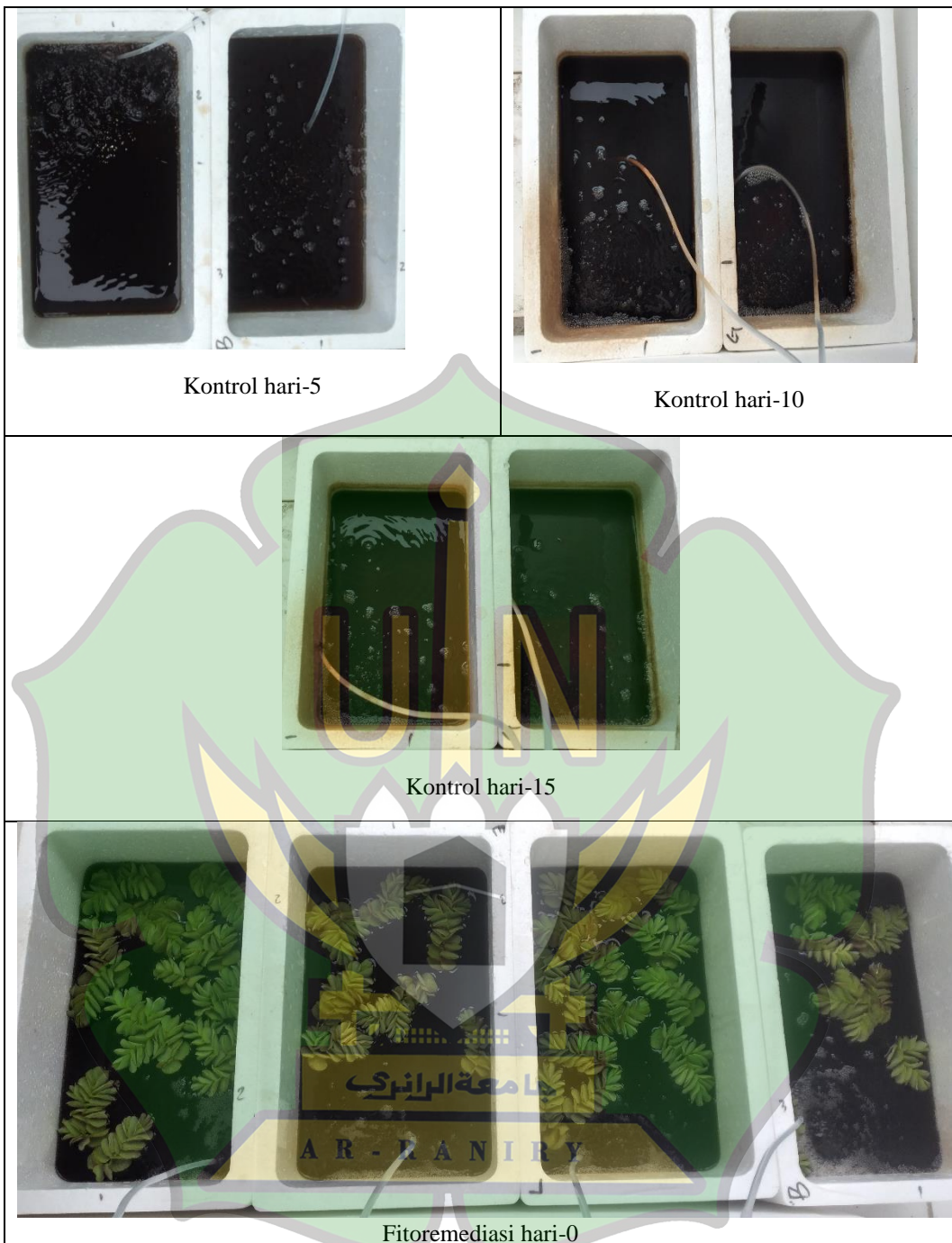
Aklimatisasi tanaman hari-4



Aklimatisasi tanaman hari-5



Fitoremediasi hari-0

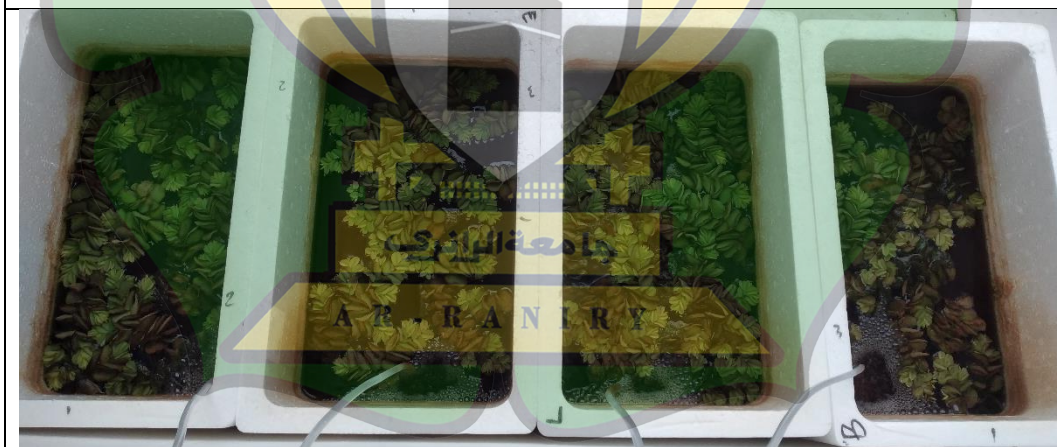




Fitoremediasi hari-5



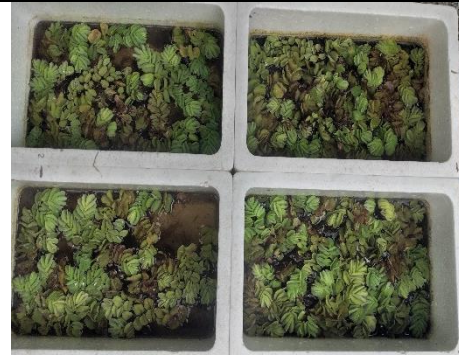
Fitoremediasi hari-10



Fitoremediasi hari-15



Kontrol tanaman dengan air hari-0



Kontrol tanaman dengan air hari-15



Pembuatan larutan COD



Pemanasan COD dengan Reaktor COD



COD setelah di panaskan dengan reaktor COD



Pengukuran COD



Filtrasi kertas saring TSS



Pengovenan TSS



Hasil Penimbangan kertas saring TSS



Lampiran 5 Hasil Analisis ANOVA Satu Arah.

❖ Analisis Statistik (SPSS) COD dan TSS Berdasarkan Jumlah Tanaman

• COD Hari 5

ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	569,250	2	284,625	123,976	,001
Within Groups	6,887	3	2,296		
Total	576,138	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	tanaman 6	-4,80000	1,51519	,051	-9,6220	,0220
	tanaman 12	-22,64000*	1,51519	,001	-27,4620	-17,8180
tanaman 6	Kontrol	4,80000	1,51519	,051	-,0220	9,6220
	tanaman 12	-17,84000*	1,51519	,001	-22,6620	-13,0180
tanaman 12	Kontrol	22,64000*	1,51519	,001	17,8180	27,4620
	tanaman 6	17,84000*	1,51519	,001	13,0180	22,6620

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- COD Hari 10

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	874,263	2	437,131	73,895	,003
Within Groups	17,747	3	5,916		
Total	892,009	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontrol	tanaman 6	-1,52500	2,43219	,575	-9,2653	6,2153
	tanaman 12	-26,33500*	2,43219	,002	-34,0753	-18,5947
tanaman 6	Kontrol	1,52500	2,43219	,575	-6,2153	9,2653
	tanaman 12	-24,81000*	2,43219	,002	-32,5503	-17,0697
tanaman 12	Kontrol	26,33500*	2,43219	,002	18,5947	34,0753
	tanaman 6	24,81000*	2,43219	,002	17,0697	32,5503

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- COD Hari 15

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	973,512	2	486,756	486,918	,000
Within Groups	2,999	3	1,000		
Total	976,511	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontrol	tanaman 6	-8,31000*	,99983	,004	-11,4919	-5,1281
	tanaman 12	-30,20000*	,99983	,000	-33,3819	-27,0181
tanaman 6	Kontrol	8,31000*	,99983	,004	5,1281	11,4919
	tanaman 12	-21,89000*	,99983	,000	-25,0719	-18,7081
tanaman 12	Kontrol	30,20000*	,99983	,000	27,0181	33,3819
	tanaman 6	21,89000*	,99983	,000	18,7081	25,0719

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

❖ Analisis Statistisk (SPSS) TSS Berdasarkan Jumlah Tanaman

• TSS Hari 5

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1467,966	2	733,983	161,468	,001
Within Groups	13,637	3	4,546		
Total	1481,603	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontrol	tanaman 6	-8,14500*	2,13206	,032	-14,9302	-1,3598
	tanaman 12	-36,49500*	2,13206	,000	-43,2802	-29,7098
tanaman 6	Kontrol	8,14500*	2,13206	,032	1,3598	14,9302
	tanaman 12	-28,35000*	2,13206	,001	-35,1352	-21,5648
tanaman 12	Kontrol	36,49500*	2,13206	,000	29,7098	43,2802
	tanaman 6	28,35000*	2,13206	,001	21,5648	35,1352

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- **TSS Hari 10**

ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1634,761	2	817,380	1357,286	,000
Within Groups	1,807	3	,602		
Total	1636,567	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontrol	tanaman 6	-8,55500*	,77603	,002	-11,0247	-6,0853
	tanaman 12	-38,50000*	,77603	,000	-40,9697	-36,0303
tanaman 6	Kontrol	8,55500*	,77603	,002	6,0853	11,0247
	tanaman 12	-29,94500*	,77603	,000	-32,4147	-27,4753
tanaman 12	Kontrol	38,50000*	,77603	,000	36,0303	40,9697
	tanaman 6	29,94500*	,77603	,000	27,4753	32,4147

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- TSS Hari 15

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1630,836	2	815,418	232,387	,001
Within Groups	10,527	3	3,509		
Total	1641,362	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kontrol	tanaman 6	-23,30000*	1,87320	,001	-29,2614	-17,3386
	tanaman 12	-40,21500*	1,87320	,000	-46,1764	-34,2536
tanaman 6	Kontrol	23,30000*	1,87320	,001	17,3386	29,2614
	tanaman 12	-16,91500*	1,87320	,003	-22,8764	-10,9536
tanaman 12	Kontrol	40,21500*	1,87320	,000	34,2536	46,1764
	tanaman 6	16,91500*	1,87320	,003	10,9536	22,8764

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

❖ Analisis Statistik (SPSS) COD Berdasarkan Waktu Remediasi

• COD Perlakuan Kontrol

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	82,410	2	41,205	12,651	,035
Within Groups	9,771	3	3,257		
Total	92,181	5			

Post Hoc Test

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-6,24000*	1,80470	,041	-11,9834	-,4966
	hari 15	-8,83000*	1,80470	,016	-14,5734	-3,0866
hari 10	hari 5	6,24000*	1,80470	,041	,4966	11,9834
	hari 15	-2,59000	1,80470	,247	-8,3334	3,1534
hari 15	hari 5	8,83000*	1,80470	,016	3,0866	14,5734
	hari 10	2,59000	1,80470	,247	-3,1534	8,3334

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- COD Perlakuan Tanaman 6

ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	165,972	2	82,986	52,407	,005
Within Groups	4,750	3	1,583		
Total	170,722	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-2,96500	1,25837	,100	-6,9697	1,0397
	hari 15	-12,34000*	1,25837	,002	-16,3447	-8,3353
hari 10	hari 5	2,96500	1,25837	,100	-1,0397	6,9697
	hari 15	-9,37500*	1,25837	,005	-13,3797	-5,3703
hari 15	hari 5	12,34000*	1,25837	,002	8,3353	16,3447
	hari 10	9,37500*	1,25837	,005	5,3703	13,3797

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- COD Perlakuan Tanaman 12

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	272,669	2	136,334	31,193	,010
Within Groups	13,112	3	4,371		
Total	285,781	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-9,93500*	2,09060	,018	-16,5882	-3,2818
	hari 15	-16,39000*	2,09060	,004	-23,0432	-9,7368
hari 10	hari 5	9,93500*	2,09060	,018	3,2818	16,5882
	hari 15	-6,45500	2,09060	,054	-13,1082	,1982
hari 15	hari 5	16,39000*	2,09060	,004	9,7368	23,0432
	hari 10	6,45500	2,09060	,054	-,1982	13,1082

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

❖ Analisis Statistik (SPSS) TSS Berdasarkan Waktu Remediasi

• TSS Perlakuan Kontrol

• ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	61,777	2	30,888	7,193	,072
Within Groups	12,883	3	4,294		
Total	74,660	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-4,70500	2,07231	,108	-11,3000	1,8900
	hari 15	-7,80500*	2,07231	,033	-14,4000	-1,2100
hari 10	hari 5	4,70500	2,07231	,108	-1,8900	11,3000
	hari 15	-3,10000	2,07231	,232	-9,6950	3,4950
hari 15	hari 5	7,80500*	2,07231	,033	1,2100	14,4000
	hari 10	3,10000	2,07231	,232	-3,4950	9,6950

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- TSS Perlakuan Tanaman 6

ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	589,479	2	294,740	343,887	,000
Within Groups	2,571	3	,857		
Total	592,050	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-5,33500*	,92579	,010	-8,2813	-2,3887
	hari 15	-23,18000*	,92579	,000	-26,1263	-20,2337
hari 10	hari 5	5,33500*	,92579	,010	2,3887	8,2813
	hari 15	-17,84500*	,92579	,000	-20,7913	-14,8987
hari 15	hari 5	23,18000*	,92579	,000	20,2337	26,1263
	hari 10	17,84500*	,92579	,000	14,8987	20,7913

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- TSS Perlakuan Tanaman 12

ANOVA					
Hasil					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	134,023	2	67,011	19,661	,019
Within Groups	10,225	3	3,408		
Total	144,248	5			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hari 5	hari 10	-6,71000*	1,84619	,036	-12,5854	-,8346
	hari 15	-11,52500*	1,84619	,008	-17,4004	-5,6496
hari 10	hari 5	6,71000*	1,84619	,036	,8346	12,5854
	hari 15	-4,81500	1,84619	,080	-10,6904	1,0604
hari 15	hari 5	11,52500*	1,84619	,008	5,6496	17,4004
	hari 10	4,81500	1,84619	,080	-1,0604	10,6904

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

❖ Analisis Statistik Laju Pertumbuhan Kiambang

• Berat Awal

Multiple Comparisons					
Dependent Variable: Hasil					
LSD					
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-.25000	,13804	,085	-,5380
	Tanaman 12 Limbah	,18333	,13804	,199	-,1046
	Tanaman 12 Air	-.06667	,13804	,634	-,3546
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	,25000	,13804	,085	-,0380
	Tanaman 12 Limbah	,43333*	,13804	,005	,1454
	Tanaman 12 Air	,18333	,13804	,199	-,1046
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	-,18333	,13804	,199	-,4713
	Tanaman 6 Air	-,43333*	,13804	,005	-,7213
	Tanaman 12 Air	-,25000	,13804	,085	-,5380
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	,06667	,13804	,634	-,2213
	Tanaman 6 Air	-,18333	,13804	,199	-,4713
	Tanaman 12 Limbah	,25000	,13804	,085	-,0380

• Berat Akhir

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	1,78333	1,73821	,317	-1,8425	5,4092
	Tanaman 12 Limbah	,65000	1,73821	,712	-2,9759	4,2759
	Tanaman 12 Air	1,20000	1,73821	,498	-2,4259	4,8259
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	-1,78333	1,73821	,317	-5,4092	1,8425
	Tanaman 12 Limbah	-1,13333	1,73821	,522	-4,7592	2,4925
	Tanaman 12 Air	-,58333	1,73821	,741	-4,2092	3,0425
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	-,65000	1,73821	,712	-4,2759	2,9759
	Tanaman 6 Air	1,13333	1,73821	,522	-2,4925	4,7592
	Tanaman 12 Air	,55000	1,73821	,755	-3,0759	4,1759
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	-1,20000	1,73821	,498	-4,8259	2,4259
	Tanaman 6 Air	,58333	1,73821	,741	-3,0425	4,2092
	Tanaman 12 Limbah	-,55000	1,73821	,755	-4,1759	3,0759

- Berat Basah Akar Awal

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-.50000	.32596	.200	-1,4050	
	Tanaman 12 Limbah	-.35000	.32596	.343	-1,2550	
	Tanaman 12 Air	-.50000	.32596	.200	-1,4050	
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	.50000	.32596	.200	-.4050	
	Tanaman 12 Limbah	.15000	.32596	.669	-.7550	
	Tanaman 12 Air	.00000	.32596	1,000	-.9050	
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	.35000	.32596	.343	-.5550	
	Tanaman 6 Air	-.15000	.32596	.669	-1,0550	
	Tanaman 12 Air	-.15000	.32596	.669	-1,0550	
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	.50000	.32596	.200	-.4050	
	Tanaman 6 Air	.00000	.32596	1,000	-.9050	
	Tanaman 12 Limbah	.15000	.32596	.669	-.7550	

- Berat Basah Akar Akhir

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-1,75000	1,07529	,179	-4,7355	
	Tanaman 12 Limbah	-1,25000	1,07529	,310	-4,2355	
	Tanaman 12 Air	-2,25000	1,07529	,105	-5,2355	
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	1,75000	1,07529	,179	-1,2355	
	Tanaman 12 Limbah	,50000	1,07529	,666	-2,4855	
	Tanaman 12 Air	-.50000	1,07529	,666	-3,4855	
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	1,25000	1,07529	,310	-1,7355	
	Tanaman 6 Air	-.50000	1,07529	,666	-3,4855	
	Tanaman 12 Air	-1,00000	1,07529	,405	-3,9855	
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	2,25000	1,07529	,105	-,7355	
	Tanaman 6 Air	,50000	1,07529	,666	-2,4855	
	Tanaman 12 Limbah	1,00000	1,07529	,405	-1,9855	

- **Panjang Akar Terpanjang Awal**

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-,30000	,36912	,462	-1,3248	,7248
	Tanaman 12 Limbah	,10000	,36912	,800	-,9248	1,1248
	Tanaman 12 Air	,35000	,36912	,397	-,6748	1,3748
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	,30000	,36912	,462	-,7248	1,3248
	Tanaman 12 Limbah	,40000	,36912	,339	-,6248	1,4248
	Tanaman 12 Air	,65000	,36912	,153	-,3748	1,6748
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	-,10000	,36912	,800	-1,1248	,9248
	Tanaman 6 Air	-,40000	,36912	,339	-1,4248	,6248
	Tanaman 12 Air	,25000	,36912	,535	-,7748	1,2748
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	-,35000	,36912	,397	-1,3748	,6748
	Tanaman 6 Air	-,65000	,36912	,153	-1,6748	,3748
	Tanaman 12 Limbah	-,25000	,36912	,535	-1,2748	,7748

- **Panjang Akar Terpanjang Akhir**

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-3,00000	1,50167	,116	-7,1693	1,1693
	Tanaman 12 Limbah	,10000	1,50167	,950	-4,0693	4,2693
	Tanaman 12 Air	-3,50000	1,50167	,080	-7,6693	,6693
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	3,00000	1,50167	,116	-1,1693	7,1693
	Tanaman 12 Limbah	3,10000	1,50167	,108	-1,0693	7,2693
	Tanaman 12 Air	-,50000	1,50167	,756	-4,6693	3,6693
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	-,10000	1,50167	,950	-4,2693	4,0693
	Tanaman 6 Air	-3,10000	1,50167	,108	-7,2693	1,0693
	Tanaman 12 Air	-3,60000	1,50167	,075	-7,7693	,5693
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	3,50000	1,50167	,080	-,6693	7,6693
	Tanaman 6 Air	,50000	1,50167	,756	-3,6693	4,6693
	Tanaman 12 Limbah	3,60000	1,50167	,075	-,5693	7,7693

- **Jumlah Daun Awal**

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-2,66667	1,84692	,164	-6,5193	1,1859
	Tanaman 12 Limbah	-3,00000	1,84692	,120	-6,8526	,8526
	Tanaman 12 Air	-4,66667*	1,84692	,020	-8,5193	-,8141
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	2,66667	1,84692	,164	-1,1859	6,5193
	Tanaman 12 Limbah	-,33333	1,84692	,859	-4,1859	3,5193
	Tanaman 12 Air	-2,00000	1,84692	,292	-5,8526	1,8526
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	3,00000	1,84692	,120	-,8526	6,8526
	Tanaman 6 Air	,33333	1,84692	,859	-3,5193	4,1859
	Tanaman 12 Air	-1,66667	1,84692	,378	-5,5193	2,1859
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	4,66667*	1,84692	,020	,8141	8,5193
	Tanaman 6 Air	2,00000	1,84692	,292	-1,8526	5,8526
	Tanaman 12 Limbah	1,66667	1,84692	,378	-2,1859	5,5193

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- **Jumlah Daun Akhir**

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Hasil						
LSD						
(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanaman 6 Limbah	Tanaman 6 Air	-4,00000	2,22361	,087	-8,6384	,6384
	Tanaman 12 Limbah	,66667	2,22361	,767	-3,9717	5,3050
	Tanaman 12 Air	-,33333	2,22361	,882	-4,9717	4,3050
Tanaman 6 Air	Tanaman 6 Limbah	4,00000	2,22361	,087	-,6384	8,6384
	Tanaman 12 Limbah	4,66667*	2,22361	,049	,0283	9,3050
	Tanaman 12 Air	3,66667	2,22361	,115	-,9717	8,3050
Tanaman 12 Limbah	Tanaman 6 Limbah	-,66667	2,22361	,767	-5,3050	3,9717
	Tanaman 6 Air	-4,66667*	2,22361	,049	-9,3050	-,0283
	Tanaman 12 Air	-1,00000	2,22361	,658	-5,6384	3,6384
Tanaman 12 Air	Tanaman 6 Limbah	,33333	2,22361	,882	-4,3050	4,9717
	Tanaman 6 Air	-3,66667	2,22361	,115	-8,3050	,9717
	Tanaman 12 Limbah	1,00000	2,22361	,658	-3,6384	5,6384

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.