

**KAJIAN KANDUNGAN LOGAM KADMIUM DAN TIMBAL
DALAM TANAH, SERABUT DAN INTI KELAPA SAWIT DI LAHAN
APLIKASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT**

S K R I P S I



FARAH AZZAHRA EFRIAN PUTRI

M1D119001

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA, DAN LINGKUNGAN**

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JAMBI

2024

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 04 Januari 2024

Yang menyatakan



Farah Azzahra Efrian Putri
MID119001

RINGKASAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri yang memiliki peran penting dalam meningkatkan perekonomian. Dalam pengembangannya industri kelapa sawit mengolah tandan buah segar menjadi *crude palm oil* (CPO) akan menghasilkan limbah, salah satunya yaitu limbah cair pabrik kelapa sawit. Limbah cair pabrik kelapa sawit mempunyai kandungan hara yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan kelapa sawit. Selain itu, dapat memberikan kelembaban tanah, meningkatkan sifat fisik-kimia tanah, serta dapat meningkatkan status hara tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap konsentrasi logam berat Cd dan Pb pada tanah, serabut, dan inti kelapa sawit. Metode penelitian ini yaitu metode *purposive sampling* yakni teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu, dengan pengambilan sampel tanah, serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman, untuk melakukan pengujian konsentrasi Cd dan Pb menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS).

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, konsentrasi Cd dan Pb pada tanah lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan antara areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dan tanaman didapatkan konsentrasi Cd tertinggi terdapat pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit di kedalaman 0-20 cm sebesar 1,460 mg/kg dan untuk konsentrasi Pb tertinggi terdapat pada aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit di kedalaman 0-20 cm sebesar 1,626 mg/kg. Konsentrasi logam berat Cd dan Pb pada serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di lahan kontrol dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit didapatkan konsentrasi Cd tertinggi pada serabut kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit sebesar 0,038 mg/kg dan untuk konsentrasi Pb tertinggi didapatkan pada serabut kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit sebesar 0,076 mg/kg. Konsentrasi Cd pada inti kelapa sawit tertinggi terdapat pada inti kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan nilai 0,021 mg/kg dan untuk konsentrasi Pb tertinggi terdapat pada inti kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan nilai 0,030 mg/kg.

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu kandungan Cd dan Pb pada tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) lebih tinggi dibandingkan dengan lahan kontrol dan areal antara rorak dan tanaman. Kandungan Cd dan Pb pada serabut dan inti kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa

sawit lebih besar dibandingkan dengan kandungan Cd dan Pb dalam serabut dan inti kelapa sawit di lahan kontrol.

SUMMARY

The palm oil industry is an industry that has an important role in improving the economy. In its development, the palm oil industry processes fresh fruit bunches into crude palm oil (CPO) which will produce waste, one of which is liquid waste from palm oil mills. Palm oil mill liquid waste contains nutrients that can be used for oil palm growth. In addition, it can provide soil moisture, improve the physical-chemical properties of the soil, and can improve the nutrient status of the soil. This research aims to study the influence of palm oil mill wastewater on the concentration of heavy metals Cd and Pb in the soil, fiber and kernels of palm oil. This research method is a purposive sampling method, namely a sampling technique with certain considerations, by taking samples of soil, palm fiber and palm kernel on control land, the area where liquid palm oil mill waste is applied (rorak), and the area between the rorak and the plant, to carried out Cd and Pb concentration testing using Atomic Absorption Spectrophotometers (AAS).

Based on the results of laboratory tests, the concentration of Cd and Pb in the soil of the control land, the application area of liquid palm oil mill waste (rorak), and between the application area of liquid palm oil mill waste (rorak) and the plants, it was found that the highest Cd concentration was found in the application area of liquid waste of the factory. palm oil at a depth of 0-20 cm was 1,460 mg/kg and the highest Pb concentration was found in the application of palm oil mill liquid waste at a depth of 0-20 cm at 1,626 mg/kg. Concentrations of the heavy metals Cd and Pb in palm fiber and palm kernel in the control land and palm oil mill liquid waste application areas found the highest Cd concentration in palm oil fibers in the palm oil mill liquid waste application area of 0.038 mg/kg and for Pb concentrations The highest was found in palm oil fiber in the palm oil mill liquid waste application area at 0.076 mg/kg. The highest concentration of Cd in palm kernel kernels is found in palm kernel kernels in the liquid waste application area of palm oil mills with a value of 0.021 mg/kg and the highest Pb concentration is found in palm kernel kernels in the liquid waste application area of palm oil mills with a value of 0.030 mg/kg.

The conclusion of this research is that the Cd and Pb content in the soil in the palm oil mill liquid waste application area (rorak) is higher compared to the control land and the area between the rorak and the plant. The Cd and Pb content in palm fiber and kernels in the palm oil mill wastewater application area is greater than the Cd and Pb content in palm fiber and kernels in the control area.

**KAJIAN KANDUNGAN LOGAM KADMIUM DAN TIMBAL DALAM
TANAH, SERABUT DAN INTI KELAPA SAWIT DI LAHAN
APLIKASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Lingkungan



FARAH AZZAHRA EFRIAN PUTRI

M1D119001

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA, DAN LINGKUNGAN**

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JAMBI

2024

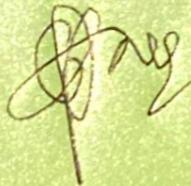
PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **KAJIAN KANDUNGAN LOGAM KADMIUM DAN TIMBAL DALAM TANAH, SERABUT DAN INTI KELAPA SAWIT DI LAHAN APLIKASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT** yang telah disusun oleh **FARAH AZZAHRA EFRIAN PUTRI, NIM: MID119001** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 21 Desember 2023 dan dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Ermadani, M.Sc.
Sekretaris : Shally Yanova, S.Si., M.Si., CCSME.
Anggota : 1. Dr. Ir. Jalius, M.S.
2. Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T.
3. Hariesty Viareco, B.Eng., M.Eng.

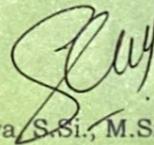
Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ermadani, M.Sc.
NIP 196501141992031001

Disetujui :

Pembimbing Pendamping



Shally Yanova, S.Si., M.Si., CCSME.
NIP 198908182019032021

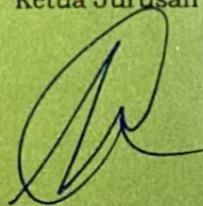
Diketahui :

Ketua Jurusan



Dekan
UNIVERSITAS JEMBER
NIP 196806021993031004

Drs. Jelm Marzal, M.Sc., D.I.T.
NIP 196806021993031004



Prof. Dr. Drs. M. Naswir, M.Si.
NIP 196605031991021001

RIWAYAT HIDUP



Farah Azzahra Efrian Putri adalah anak ketiga dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Efrianto dan Ibu Vivi Erviana. Penulis dilahirkan di Sungai Penuh pada tanggal 5 Juni 2001. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Pertiwi Tahun 2007 selesai pada Tahun 2013, dan pada Tahun yang sama penulis melanjutkan sekolah menengah pertama (SMP) di SMP Negeri 9 Sungai Penuh selesai pada Tahun 2016 dan pada Tahun yang sama melanjutkan Pendidikan di sekolah menengah atas (SMA) di SMA Negeri 2 Sungai Penuh dan selesai pada Tahun 2019. Pada Tahun 2019 penulis di terima oleh perguruan tinggi negeri yaitu Universitas Jambi pada Program Studi Teknik Lingkungan melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negri (SNMPTN). Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi.

Selama berkuliah di program Studi Teknik Lingkungan pernah menjadi bagian dari Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) tahun 2021 – 2022. Pada tanggal 16 Juni 2022 – 16 Agustus 2022 penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Bina Mitra Makmur di Kabupaten Bungo dengan mengambil topik kerja praktik yaitu pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Penulis akan mengakhiri masa studi di program studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi dengan menyelesaikan tugas akhir yang dibimbing oleh bapak Dr. Ir. Ermadani, M.Si. selaku dosen pembimbing 1 (satu) dan ibu Shally Yanova, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 2 (dua) dengan judul **“KAJIAN KANDUNGAN LOGAM KADMIUM DAN TIMBAL DALAM TANAH, SERABUT DAN INTI KELAPA SAWIT DI LAHAN APLIKASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT”**

PRAKATA

Assalamualaikum wr wb.

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Kajian Kandungan Logam Kadmium dan Timbal dalam Tanah, Serabut dan Inti Kelapa Sawit di Lahan Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit”**.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan Skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, nasehat dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, melalui halaman ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Ucapan tersebut penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. Bapak Prof. Dr. Drs. M. Naswir, Km. M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Kimia dan Lingkungan Universitas Jambi.
3. Bapak Dr. Ir. Jalius, M.S. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
4. Bapak Dr. Ir. Ermadani, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Shally Yanova, S.Si., M.Si., CCSME. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan bagi penulis dalam menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
5. Bapak Ibu Dosen Penguji yaitu Bapak Dr. Ir. Jalius, M.S., Ibu Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T., dan Bapak Hariestya Viareco, B.Eng., M.Eng. yang telah memberikan masukan dan saran terhadap penulisan Skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan pada saat perkuliahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini.
7. Kepada Manager, Ketua Tata Usaha, Staff, dan Karyawan PT Bina Mitra Makmur yang telah memberikan izin dan bantuan untuk melakukan penelitian dan pengambilan sampel.
8. Kepada keluarga penulis Papa, Mama, Opung, Eyang, Abang Jojo, Abang Atur, Adek Meme, dan Adek Naura yang telah memberikan semangat, dukungan dan doa yang tiada putus dari awal kuliah hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
9. Anggara, Syifa, Nassya, Indah, Fina, Farauq, Dimas, Fajar, Kak Nurul, Imel, Lusi, dan Sherly yang telah menyempatkan diri untuk meluangkan waktu, tenaga dan memberikan masukan dan semangat untuk penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

10. Seluruh teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2019 yang turut memberikan semangat dan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi.

11. Serta semua pihak yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan, dengan berbagai kekurangan yang ada penulis memohon maaf. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak sehingga apa yang telah disusun dalam laporan ini dapat bermanfaat. Akhir kata, penulis berharap semoga pembaca bisa mengerti dan mengambil manfaat dari Skripsi ini, dan bermanfaat bagi pembaca maupun penulis.

Jambi, 04 Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGESAHAN	i
RIWAYAT HIDUP	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tanah Ultisol	5
2.2 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	6
2.2.1 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	8
2.3 Serabut dan Inti Kelapa Sawit	10
2.4 Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit.....	10
2.5 Logam Berat	11
2.6 Penelitian Terdahulu	13
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
3.3 Skema Penelitian	19
3.4 Bahan dan Peralatan	20
3.5 Teknik Pengumpulan Data	20
3.6 Teknik Pengambilan Sampel.....	21
3.7 Pengujian Kadar Logam Berat	23
3.7.1 Pengujian Kadar Logam Berat Tanah.....	23
3.7.2 Pengujian Kadar Logam Berat Serabut dan Inti Kelapa Sawit	23
3.8 Analisis Data	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Konsentrasi Logam Berat pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit.....	25
4.2 Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb pada Tanah.....	27
4.3 Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb pada Serabut dan Inti Kelapa Sawit	31

4.4 Tingkat Pencemaran Logam Kadmium dan Timbal pada Tanah	34
V. PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan.....	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Limbah Cair Segar Kelapa Sawit.....	7
2. Baku Mutu Air Limbah	7
3. Penelitian Terdahulu	13
4. Tingkat C/P Berdasarkan Indeks.....	24
5. Logam Berat Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Kolam Anaerobik) PT Bina Mitra Makmur.....	26
6. Konsentrasi Logam Berat Pada Areal Aplikasi Limbah Cair dan Areal Tanpa Aplikasi Limbah Cair.....	28
7. Konsentrasi Logam Berat pada Serabut Kelapa Sawit dan Inti Kelapa Sawit	32
8. Tingkat C/P Logam Kadmium pada Tanah	35
9. Tingkat C/P Logam Timbal pada Tanah.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian	17
2. (a) Lahan Kontrol dan (b) Rorak	18
3. Skema Penelitian.....	19
4. Posisi Pengambilan Sampel Tanah di Rorak dan Tanah antara Rorak dengan Tanaman Kelapa Sawit	22
5. Tata Letak Pengambilan Sampel	22
6. Kolam Anaerobik pada PT. Bina Mitra Makmur.....	26
7. Konsentrasi Logam Berat Kadmium pada Lahan Kontrol dan Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	29
8. Konsentrasi Logam Berat Timbal pada Lahan Kontrol dan Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat pada Limbah Cair	43
2. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat pada Tanah, Serabut Kelapa Sawit, dan Inti Kelapa Sawit	44
3. Perhitungan Indeks Pencemaran <i>Contamination/Pollution (C/P)</i> Logam Kadmium dan Timbal pada Tanah	45
4. Kurva Kalibrasi Logam Cd dan Pb.....	47
5. Dokumentasi Selama Penelitian.....	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri yang memiliki peran penting dalam perekonomian nasional dimana sebagai penghasil devisa terbesar dan penyedia lapangan kerja serta pendapatan rumah tangga. Dalam pengembangannya industri kelapa sawit bergerak di bidang pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi *Crude Palm Oil* (CPO). Minyak mentah kelapa sawit sendiri diperoleh dari pengolahan tandan buah segar (TBS). Dimana TBS kelapa sawit sendiri terdiri dari serabut buah (*pericarp*) dan inti (kernel). Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (*testa*), *endosperm* dan *embrio*. Sedangkan serabut kelapa sawit (*pericarp*) terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*, lapisan sebelah dalam disebut dengan *mesocarp* atau pulp dan lapisan paling dalam disebut dengan *endocarp*. *Mesocarp* sendiri mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (kernel) mengandung minyak sebesar 44%, dan *endocarp* tidak mengandung minyak. Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati lainnya dimana senyawa yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah *trigliserida* dan *nontrigliserida* (Edyal & Putra, 2016). Prospek perkembangan industri kelapa sawit saat ini sangat pesat, karena terjadi peningkatan jumlah produksi kelapa sawit seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat. Seiring dengan pesatnya perkembangan industri kelapa sawit maka meningkat pula lahan perkebunan kelapa sawit.

Saat ini peningkatan pada lahan perkebunan kelapa sawit sering dikaitkan dengan peristiwa penggundulan hutan. Namun pada hakikatnya perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu peran penting dalam meningkatkan perekonomian. Pada budidaya tanaman kelapa sawit terdapat beberapa hal penting yang sangat perlu diperhatikan sebagai penunjang produktifitas tanaman kelapa sawit, salah satunya yaitu jenis tanah yang berguna sebagai media tanaman kelapa sawit. Umumnya jenis tanah pada perkebunan kelapa sawit adalah jenis tanah ultisol. Tanah ultisol mengandung karbon (C) tergolong sedang pada lapisan atas dan tergolong sangat rendah pada lapisan bawah, kandungan nitrogen (N) sangat rendah pada seluruh lapisan begitu juga fosfor tergolong sangat rendah. Pemberian bahan organik dan pemupukan yang optimal merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat fisik, biologi, dan kimia tanah, sehingga meningkatkan unsur hara di dalam tanah menjadi optimal. Salah satu pupuk organik yang dapat diberikan adalah dengan memanfaatkan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk.

Limbah cair pabrik kelapa sawit jika dibuang ke lingkungan akan berdampak negatif terhadap lingkungan itu sendiri karena berbau, berwarna, mengandung logam berat, mengandung nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD) serta padatan tersuspensi yang tinggi. Jika limbah tersebut langsung dibuang ke lingkungan maka akan merusak ekosistem (Nasution, 2004). Maka dari itu perlu adanya pengelolaan khusus terhadap limbah sebelum dibuang ke lingkungan dan perlu dilakukan pemanfaatan limbah untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Jika dilihat dari kandungan bahan organik dan unsur hara limbah cair pabrik kelapa sawit maka limbah ini dapat digunakan sebagai pupuk organik. Limbah cair pabrik kelapa sawit mempunyai kandungan hara yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan kelapa sawit. Selain itu, dapat memberikan kelembaban tanah, meningkatkan sifat fisik-kimia tanah, serta dapat meningkatkan status hara tanah (Retno Widhiastuti *et al*, 2006). Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) mengandung unsur-unsur hara sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber pupuk organik bagi tanaman. Unsur-unsur hara yang banyak terdapat dalam LCPKS adalah N (450-590 mg L⁻¹), P (92-104 mg L⁻¹), K (1,246-1,262 mg L⁻¹) dan Mg (249- 271 mg L⁻¹) (Ermadani & Muzar, 2011).

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (Kepmen LH) No. 28 Tahun 2003 tentang Pedoman Teknis Pengkajian Pemanfaatan Air Limbah Industri Minyak Sawit Pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit, limbah cair memiliki peluang agar dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik apabila *Biological Oxygen Demand* (BOD) limbah cair tidak melampaui 5000 mg/L. Selain mengandung unsur hara yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, limbah cair pabrik kelapa sawit juga mengandung logam berat yang akan terkontaminasi kedalam tanah. Logam berat pada limbah cair berasal dari peralatan yang digunakan untuk mengolah tandan buah segar menjadi minyak mentah kelapa sawit. Peralatan yang terbuat dari besi semakin lama akan mengalami korosi atau pengkaratan, hal ini yang menyebabkan adanya logam berat di dalam limbah cair pabrik kelapa sawit. Berdasarkan hasil pra-penelitian diperoleh hasil konsentrasi logam berat pada limbah cair pabrik kelapa sawit untuk logam berat kadmium (Cd) sebesar 1,83 mg/L, logam berat timbal (Pb) sebesar 1,10 mg/L, logam berat tembaga (Cu) sebesar 1,25 mg/L, dan logam berat seng (Zn) sebesar 1,78 mg/L. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dimana kadar untuk Cd 0,05 mg/L, Cu 2 mg/L, Pb 0,1 mg/L, dan Zn 5 mg/L. Sehingga konsentrasi logam berat pada limbah cair untuk logam berat Cd dan Pb telah melewati baku mutu yang telah ditetapkan dan untuk konsentrasi logam berat tembaga dan seng tidak melewati baku mutu yang

telah ditetapkan. Kandungan logam berat pada tanah biasanya dijumpai dalam jumlah yang kecil namun sangat sulit untuk terurai sehingga dalam jangka waktu tertentu akan terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup (Hatika, 2022).

PT Bina Mitra Makmur merupakan salah satu pabrik yang bergerak dibidang pengolahan tandan buah segar dimana serabut dan inti kelapa sawit diolah menjadi minyak kelapa sawit dan minyak inti kelapa sawit. Pabrik kelapa sawit ini sendiri memiliki perkebunan kelapa sawit di sekitar area pabrik. Pada proses pengolahan kelapa sawit pada pabrik ini akan menghasilkan limbah. Salah satu limbah yang dihasilkan yaitu limbah cair, limbah cair ini diaplikasikan ke perkebunan sekitar pabrik sejak tahun 2013, sehingga masih perlu dilakukan analisis pengaruh aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap kualitas tanah di perkebunan kelapa sawit dan pengaruhnya terhadap serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Limbah cair pabrik kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai pupuk di area perkebunan pabrik kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur mengandung logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap tanah, serabut dan inti kelapa sawit. Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kandungan Cd dan Pb pada tanah di lahan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit?
2. Bagaimana kandungan Cd dan Pb pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan membatasi permasalahan dalam perencanaan penelitian ini, maka diperlukan adanya batasan permasalahan. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di PT Bina Mitra Makmur yang berlokasi di Dusun Simpang Babeko, Kecamatan Bathin II Babeko, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi.
2. Parameter yang dianalisis adalah logam berat Cd dan Pb pada limbah cair, logam berat pada tanah di areal pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), lahan kontrol, dan areal antara rorak dan tanaman, dan logam berat pada serabut dan inti kelapa sawit.
3. Analisis konsentrasi logam berat pada limbah cair pabrik kelapa sawit, tanah, serabut dan inti kelapa sawit dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Andalas.

4. Pengambilan sampel limbah cair pabrik kelapa sawit hanya dilakukan di kolam *Anaerobik*.
5. Pengambilan sampel berondolan pada pohon yang terdapat di lahan kontrol dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis bagaimana kandungan Cd dan Pb pada tanah di lahan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit.
2. Untuk menganalisis bagaimana kandungan Cd dan Pb pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis, yaitu untuk mengembangkan wawasan dan kemampuan dalam menganalisa suatu permasalahan serta membuka kesempatan bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian lanjutan di masa yang akan datang. Terutama terkait kualitas tanah.
2. Bagi perusahaan, yaitu dapat menjadi referensi mengenai apa saja kandungan logam berat pada tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur konsentrasi logam berat dalam serabut kelapa sawit dan logam berat dalam inti kelapa sawit.
3. Bagi peneliti lain, untuk memberikan informasi terkait kandungan logam berat tanah pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dan konsentrasi logam berat dalam serabut kelapa sawit dan logam berat dalam inti kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ultisol

Tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang penting untuk menunjang kehidupan makhluk hidup di bumi yang berfungsi untuk menyuplai nutrisi didalamnya. Tanah merupakan bagian permukaan dari lapisan kerak bumi. Tanah memiliki beberapa struktur lapisan tanah atau sering disebut dengan horizon tanah. Lapisan horizon tanah terbagi atas empat lapisan utama, yaitu horizon O dan horizon A yang termasuk kedalam topsoil dan horizon B dan horizon C yang termasuk kedalam subsoil. *Topsoil* merupakan tanah permukaan atas yang mengandung unsur hara yang tinggi, berasal dari hasil pelapukan dan hasil metabolisme berbagai organisme. Jenis tanah ini dapat ditemukan pada 2-7 inci dipemukaan yang merupakan hasil dekomposisi dari material organik yang berasal dari jasad hidup. *Topsoil* yang subur juga mengandung potasium, fosfor, dan besi (Rizki & Novi, 2017). Sedangkan *Subsoil* merupakan tanah yang terletak di bawah lapisan *topsoil* (kedalaman 20 – 40 cm) berwarna lebih muda dan terang serta tingkat kesuburan tanahnya relatif rendah. *Subsoil* tidak sesubur *topsoil* karena bahan organik telah hilang dan tidak adanya mikroflora dan mikrofauna (Rosniawaty *et al.*, 2020).

Secara ekologis tanah tersusun oleh tiga kelompok material, yaitu material hidup (faktor biotik) berupa biota (jasad-jasad hayati), dan faktor abiotik berupa bahan organik dan faktor abiotik berupa pasir (*sand*), debu (*silt*) dan liat (*clay*) (Marwan *et al.*, 2015). Beberapa sifat-sifat penting dari tanah dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Permeabilitas (*permeability*), sifat ini untuk mengukur atau menentukan kemampuan tanah dilewati air melalui pori-porinya. Sifat ini penting dalam konstruksi bendung tanah urugan (*earth dam*) dan persoalan drainase.
- b) Konsolidasi (*consolidation*), pada konsolidasi dihitung dari perubahan isi pori tanah akibat beban. Sifat ini dipergunakan untuk menghitung penurunan (*settlement*) bangunan.
- c) Tegangan Geser (*shear strength*), untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan-tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Sifat ini dibutuhkan dalam perhitungan stabilitas pondasi/dasar yang dibebani, stabilitas tanah isian/timbunan di belakang bangunan penahan tanah dan stabilitas timbunan tanah.
- d) Pemadatan Tanah (*compaction*), tingkat kepadatan tanah dasar dapat mempengaruhi daya dukungnya. Tanah dengan tingkat kepadatan yang tinggi mengalami perubahan volume yang kecil jika terjadi perubahan

kadar air dan mempunyai daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang sejenis tetapi mempunyai tingkat kepadatan yang lebih rendah (Sutejo *et al.*, 2015).

Tanah yang digunakan pada bidang pertanian banyak jenisnya salah satunya yaitu tanah ultisol. Tanah ultisol merupakan salah satu ordo tanah dengan karakteristik mempunyai horison argilik atau kandik dengan kejenuhan basa <35%. Tanah ultisol banyak ditemukan pada wilayah dengan curah hujan yang tinggi dan pelapukan intensif, basa-basa yang ada didalamnya banyak mengalami pencucian dan terjadi iluviasi liat di lapisan bawah (Gito, 2012). Pada umumnya jenis tanah ultisol ini berwarna kuning kecoklatan hingga merah. Ultisol diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kuning (PMK). Warna tanah pada horizon argilik sangat bervariasi dengan *hue* dari 10YR hingga 10R, nilai 3–6 dan kroma 4–8. Tanah ultisol juga mempunyai kapasitas tukar kation (KTK), kandungan unsur hara seperti N dan P dan kation-kation basa seperti Ca, Mg, Na dan K yang rendah (Ermadani *et al.*, 2011).

Reaksi tanah ultisol pada umumnya masam hingga sangat masam (pH 5–3,10), kecuali tanah ultisol dari batu gamping yang mempunyai reaksi netral hingga agak masam (pH 6,80–6,50). Kapasitas tukar kation pada tanah ultisol dari granit, sedimen, dan tufa tergolong rendah masing-masing berkisar antara 2,90–7,50 cmol/kg, 6,11–13,68 cmol/kg, dan 6,10–6,80 cmol/kg, sedangkan yang dari bahan volkan andesitik dan batu gamping tergolong tinggi (>17 cmol/kg) (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

2.2 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah pada dasarnya merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang yang telah mengalami suatu proses produksi sebagai hasil dari aktivitas manusia, maupun proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi. Limbah industri kelapa sawit merupakan limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan kelapa sawit. Limbah jenis ini digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak mentah sawit (CPO) dan inti sawit (kernel) di pabrik kelapa sawit (PKS) termasuk limbah cair. Beberapa limbah yang digolongkan sebagai limbah padat yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang atau tempurung, serabut atau serat, *sludge* atau lumpur, dan bungkil. Limbah gas dapat berasal dari gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit (Prayitno *et al.*, 2008).

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) merupakan salah satu produk samping berupa buangan dari pabrik pengolahan kelapa sawit yang berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air

hydrocyclone (claybath), dan air pencucian. LCPKS ini tidak dapat langsung dibuang ke perairan karena memiliki konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi mencapai 50.000 mg/l, kandungan lemaknya mencapai 4000 mg/l dan Total Solid (TS) 40.500 mg/l (Yuniarti *et al.*, 2019). Karakteristik limbah cair segar kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Segar Kelapa Sawit

No	Parameter	Satuan	Kisaran
1	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/l	20.000-30.000
2	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/l	40.000-60.000
3	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	mg/l	15.000-40.000
4	<i>Total Solid</i> (TS)	mg/l	30.000-70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/l	5.000-7.000
6	NH ₃ -N	mg/l	30-40
7	Total N	mg/l	500-800
8	Suhu	°C	90-140
9	pH	-	4-5

Sumber: Irvan *et al.*, 2012.

Limbah cair pabrik kelapa sawit berwarna kecoklat-coklatan dengan pH 3,5–5 dan mengandung sekitar 95% air, 4–5% bahan terlarut dan tersuspensi. Serta 0,5–1,0% sisa minyak dan lemak yang sering terdapat dalam bentuk emulsi. Adapun baku mutu debit limbah cair maksimum pada setiap parameter berdasarkan PermenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/l)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD ₅	100	0.25
COD	350	0.88
TSS	250	0.63
Minyak dan Lemak	25	0.063
Nitrogen Total (Sebagai N)	50	1.125
pH		6.0-9.0
Debit limbah paling tinggi	2.5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO)	

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014.

2.2.1 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah pada dasarnya merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang yang berasal dari aktivitas manusia, maupun proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi. Aktivitas pengolahan pada pabrik kelapa sawit akan menghasilkan beberapa jenis limbah, salah satunya yaitu limbah cair. Limbah cair pabrik kelapa sawit berasal dari air kondensat, air *hidrocyclone* atau *claybath*, dan air cucian pabrik (Yuniarti *et al.*, 2019). Limbah cair akan diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

a) *Cooling Pond 1*

Cooling pond 1 merupakan unit penampungan limbah yang pertama setelah keluar dari bak *fit*. Kolam ini berfungsi sebagai tempat pengendapan *sludge* dan pendinginan limbah cair yang baru keluar dari pabrik. Umumnya limbah cair pada kolam ini masih panas sekitar 90°C dan masih perlu pendinginan. Pada proses ini pendinginan bertujuan untuk mengurangi kadar minyak, karena kelebihan kadar minyak dapat menyebabkan kesulitan dalam unit pengolahan selanjutnya. Limbah cair pabrik kelapa sawit pada *cooling pond 1* ini masih memiliki bau yang menyengat.

b) *Cooling Pond 2*

Cooling pond 2 merupakan kolam pendinginan yang bertujuan untuk mengendapkan *sludge* yang berfungsi untuk penurunan temperatur limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari *cooling pond 1*. Limbah yang berasal dari *cooling pond 2* kemudian akan dialirkan ke kolam *mixing pond 1*.

c) *Mixing Pond 1*

Mixing pond 1 juga merupakan kolam pendinginan sama halnya dengan kolam *cooling pond 1* dan *cooling pond 2*, pada kolam ini akan terjadi proses pengasaman sebelum dialirkan ke kolam *anaerobic* yang bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan limbah cair selanjutnya. Biasanya limbah cair pada kolam ini masih mengandung minyak dan terdapat scum (busa) di permukaan kolam.

d) *Mixing Pond 2*

Pada kolam *mixing pond 2* ini akan terjadi proses asidifikasi atau pengasaman, pada kolam ini dimaksudkan agar limbah cair yang akan mulai diproses pada unit berikutnya yaitu *anaerobic* mempunyai suasana keasaman yang sesuai dengan syarat pada kolam tersebut (sekitar netral atau pH dalam range 6 – 9) (Rahardjo, 2017). Pada kolam *mixing pond 2* juga akan terjadi proses menurunkan temperatur dan menaikkan pH. Setelah hidrolis sempurna, pH limbah cair dinetralkan sesuai dengan pH kolam ini.

e) *Primary Anaerobic Pond*

Pada kolam *primary anaerobic* ini berperan dalam proses perombakan pertama bersamaan dengan dialirkannya lumpur aktif dengan perbandingan yang sama. Reaksi biologis yang terjadi pada kolam ini yaitu proses dengan bakteri *anaerobic* yang diadaptasikan. Reaksi biologis segera berlangsung, dimana penguraian bahan-bahan organik majemuk dalam limbah cair menjadi asam-asam organik yang mudah menguap. Dengan terbentuknya asam-asam ini maka pH akan kembali menurun. Waktu penahan hidrolis pada kolam ini adalah sekitar 40 hari (Rahardjo, 2006).

f) *Secondary Anaerobic Pond*

Pada kolam *secondary anaerobic pond* akan terjadi proses penyempurnaan perombakan dari kolam *primary anaerobic* yang belum sempurna. Pada kolam ini akan terjadi proses penguraian atau perombakan kembali dari bahan-bahan organik majemuk menjadi asam-asam organik. Waktu penahanan hidrolis pada kolam ini juga selama 40 hari. Sehingga, total waktu penahan hidrolis selama 80 hari. Umumnya dalam kurun waktu ini proses perombakan sudah berlangsung secara optimal dan kadar BOD dan COD akan mengalami penurunan hingga 80% (Rahardjo, 2006). Pada kolam ini limbah cair akan disalurkan sebagai *land application* pada perkebunan kelapa sawit di sekitar pabrik.

g) *Aerobic Pond 1*

Pada kolam *aerobic pond 1* akan terjadi proses penguraian secara *aerobic* yaitu proses yang berlangsung dengan membutuhkan oksigen melalui udara. Oksigen dibutuhkan untuk proses pertumbuhan maupun respirasi, waktu penahanan hidrolis pada kolam ini sekitar 15 hari. Dengan menggunakan bantuan aerator, aerator yang digunakan berupa *blower* yang berfungsi untuk mengurangi senyawa organik, menurunkan temperatur dan menetralkan pH.

h) *Aerobic Pond 2*

Aerobic pond 2 merupakan kolam yang sama dengan *aerobic pond 1*, dimana akan terjadi proses penguraian senyawa-senyawa organik yang lebih sederhana. Dimana pengolahan pada *aerobic pond 2* dapat menggunakan aerator dengan tujuan agar terjadinya aerasi. Aerasi merupakan proses penambahan oksigen kedalam air agar oksigen terlarut di dalam kolam semakin tinggi. Penambahan oksigen dilakukan sebagai salah satu usaha pengambilan zat pencemar yang terkandung di dalam air, sehingga konsentrasi zat pencemar akan hilang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali.

i) *Polishing Pond*

Polishing pond merupakan kolam terakhir pada unit pengolahan limbah cair, kolam ini sebagai tempat penampungan akhir limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Pada kolam ini pH dan suhu sudah memenuhi baku mutu lingkungan untuk dibuang ke badan air.

2.3 Serabut dan Inti Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan jenis tanaman yang penting bagi bidang perkebunan dimana kelapa sawit dapat memberikan pendapatan bagi petani dan masyarakat. Hasil dari tanaman kelapa sawit berupa buah kelapa sawit atau tandan buah segar yang membentuk buah pada umur 2-3 tahun (Amriana et al., 2020). Buah kelapa sawit atau tandan buah segar sendiri mempunyai warna bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung dari bibit yang digunakan. Buah bergerombolan dalam tandan yang muncul dari tiap pelapah. Tandan buah segar terdiri dari tiga lapisan yaitu:

- a) *Eksoskarp*, bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin.
- b) *Mesoskarp*, serabut buah.
- c) *Endoskarp*, cangkang pelindung inti. Sedangkan inti sawit merupakan *endosperm* dan *embrio* dengan kandungan minyak inti yang berkualitas tinggi (Riyanto, 2014).

Serabut kelapa sawit (*pericarp*) terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*, lapisan sebelah dalam disebut dengan *mesocarp* atau pulp dan lapisan paling dalam disebut dengan *endocarp*. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (*testa*), *endosperm* dan *embrio*. *Mesocarp* mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44%, dan *endocarp* tidak mengandung minyak (Edyal & Putra, 2016).

2.4 Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah industri minyak kelapa sawit menghasilkan limbah berupa limbah padat, cair dan gas. Limbah fasa padat seperti pasir, tanah, tandan buah, ampas, dan batok/cangkang. Limbah fasa gas terjadi karena penguraian zat organik yang terkandung dalam limbah cair, dari hasil pembakaran bahan bakar pada ketel uap (*boiler*). Sedangkan limbah fasa cair sebagian besar dihasilkan dari unit proses yang berasal dari pengembunan uap air (Fitria et al., 2021). Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit merupakan limbah cair yang berupa *palm oil mill effluent* (POME) yang berasal dari air kondensat pada saat proses sterilisasi sebesar 15-20%, air dari proses klarifikasi & sentrifugasi sebesar 40-50%, dan air dari proses *hydrocyclone* (*claybath*) sebesar 9-11% (Ahmad et al., 2011).

Definisi pemanfaatan air limbah ke tanah (LA) merupakan kegiatan dimana air limbah atau sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair digunakan atau difungsikan sebagai *fertilizer* (penyuplai unsur hara) bagi tanah dan tanaman. Penggunaan air limbah untuk pertanian mempunyai fungsi ganda disamping menanggulangi pencemaran. Unsur-unsur hara yang terdapat dalam limbah cair berfungsi sebagai unsur pupuk yang dapat menyuburkan tanaman dengan demikian akan dapat memperbaiki struktur tanah. Karakteristik limbah cair industri kelapa sawit memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dari kualitas limbah cair pabrik kelapa sawit yang diperkenankan untuk dimanfaatkan sebagai suplemen pupuk dan air irigasi pada perkebunan kelapa sawit adalah pada kadar BOD < 5.000 mg/L atau COD < 10.000 mg/L dengan pH antara 6–9. Pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk/bahan pembenah tanah di perkebunan kelapa sawit sangat dimungkinkan atas dasar adanya kandungan hara dalam limbah tersebut. Pemanfaatan limbah ini disamping sebagai sumber pupuk/bahan organik juga dapat mengurangi biaya pengolahan limbah sebesar 50-60% (Fitria *et al*, 2021).

2.5 Logam Berat

Logam berat merupakan golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Hampir 75% dari unsur-unsur yang terdapat dalam tabel periodik unsur merupakan unsur logam. Unsur logam tersebut, ditemukan hampir pada setiap golongan kecuali pada golongan VII-A dan golongan VIII-A dari tabel periodik unsur. Unsur-unsur logam tersebut dikelompokkan pula atas golongan-golongan sesuai dengan karakteristiknya.

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen. Sedangkan unsur logam berat, baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh. Jika yang masuk ke dalam tubuh organisme hidup adalah unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum (Hg) atau disebut juga air raksa, maka dapat dipastikan bahwa organisme tersebut akan langsung keracunan.

Sifat logam yang dapat membahayakan lingkungan dan juga manusia yaitu sebagai berikut:

- a) Logam berat sulit didegradasi, cenderung akan terakumulasi pada lingkungan.
- b) Logam berat dapat bioakumulasi dan biomagnifikasi.
- c) Logam berat mudah terakumulasi pada sedimen, sehingga konsentrasi selalu tinggi daripada konsentrasi logam dalam air (Boymau, 2023).

Logam berat dapat memasuki tanah melalui sumber yang berbeda-beda sehingga menjadi polutan. Pupuk, pestisida, penambahan bahan organik dan anorganik, residu limbah dan lumpur aktif mengandung sejumlah logam berat (Chairiyah *et al*, 2013). Pada limbah industri juga mengandung sejumlah logam, umumnya limbah cair industri mengandung logam berat seperti Cd, Fe, Cu, Cr, Zn, Ni dan lain sebagainya (Wulandari *et al.*, 2016). Beberapa logam berat yang terakumulasi di dalam tanah antara lain:

- a) Logam Berat Cd

Cd ditemukan di kulit bumi ataupun hasil letusan gunung vulkanik. Selain itu cadmium dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, baik disengaja maupun tidak disengaja. Contoh penggunaan bahan bakar, kebakaran hutan, limbah industri maupun penggunaan pupuk dan pestisida (Agustina, 2014). Cd merupakan logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan Cd Oksida bila dipanaskan. Cd umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau belerang (Cd Sulfit). Cd membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Cd memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4, titik leleh $321^{\circ}C$, titik didih $767^{\circ}C$ dan memiliki masa jenis $8,65 \text{ g/cm}^3$. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2).

Logam Cd memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium dimana tahan panas dan tahan terhadap korosi. Cd digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Logam Cd biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng. Cd adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Logam berat Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Cd didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Istarani & Pandebesie, 2014).

- b) Logam Berat Pb

Pb merupakan logam berwarna abu-bau, dapat ditempa dan dapat dibentuk. Mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk

melapisi logam untuk mencegah perkaratan. Bila dicampur dengan logam lain, Pb dapat membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya. Selain itu Pb juga mempunyai kepadatan melebihi logam lain. Logam ini banyak digunakan pada industri baterai, kabel, cat (sebagai zat pewarna), penyepuhan, pestisida dan yang paling banyak digunakan sebagai zat antiletup pada bensin. Pb juga digunakan sebagai zat penyusun pateri dan sebagai formulasi penyambung pipa (Setyaningrum et al., 2018). Dalam pertambangan, logam ini berbentuk sulfida logam (PbS), yang sering disebut galena. Senyawa ini banyak ditemukan dalam pertambangan di seluruh dunia. Bahaya yang ditimbulkan oleh penggunaan Pb ini adalah sering menyebabkan keracunan (Agustina, 2014).

Pb juga merupakan sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Pb 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Selebihnya berbentuk Pb organik. Pb organik ditemukan dalam bentuk senyawa *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dan *Tetra Methyl Lead* (TML). Jenis senyawa ini hampir tidak larut dalam air, namun dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya dalam lipid. Waktu keberadaan Pb dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan. Pb tidak mengalami penguapan namun dapat ditemukan di udara sebagai partikel. Karena Pb merupakan sebuah unsur maka tidak mengalami degradasi (penguraian) dan tidak dapat dihancurkan (Tangio, 2013).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasari dari sebuah penelitian terdahulu, penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan sebagai acuan. Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Hafitrian Pratama, 2017.	Kandungan Logam Berat Tanah Pada Areal Aplikasi dan Tanpa Aplikasi limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	Penelitian dilakukan dengan Metode Survei Eksploratif-Deskriptif, dimana pemilihan areal perwakilan dengan menggunakan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kecendrungan peningkatan logam berat Pb dan Cd pada areal aplikasi

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
2	Desi Warni, Sofyatuddin Karina, Nurfadillah, 2017.	(Studi Kasus: PT. Persada Alam Jaya Desa Suban Kecamatan Batang Asam Kabupaten Tanjnung Jabung Barat)	Metoda Purposive Sampling yakni areal yang mendapatkan LCPKS dan areal tanpa aplikasi LCPKS dengan umur tanaman kelapa sawit dan ordo tanah yang sama yakni Ultisol.	dibandingkan areal tanpa aplikasi LCPKS. Logam berat Cu dan Zn sebagai unsur mikro esensial masih tergolong sedikit dan berada dibawah ambang batas pencemaran lingkungan pada areal aplikasi maupun areal tanpa aplikasi LCPKS.
		Analisis logam Pb, Mn, Cu, dan Cd Pada Sedimen di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat	Penelitian ini dilakukan pada Bulan Desember 2016 di sekitar Jetty pada pelabuhan Meulaboh Aceh Barat. Analisis sampel logam berat berupa Pb (Pb), mangan (Mn), tembaga (Cu) dan Cd (Cd) menggunakan AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>)	Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa Cd tidak terdeteksi pada sedimen di tiga Stasiun pengamatan. Logam Pb pada Stasiun 1 sebesar 112,76 mg/kg dan logam Cu pada Stasiun 3 sebesar 288,7 mg/kg telah melewati

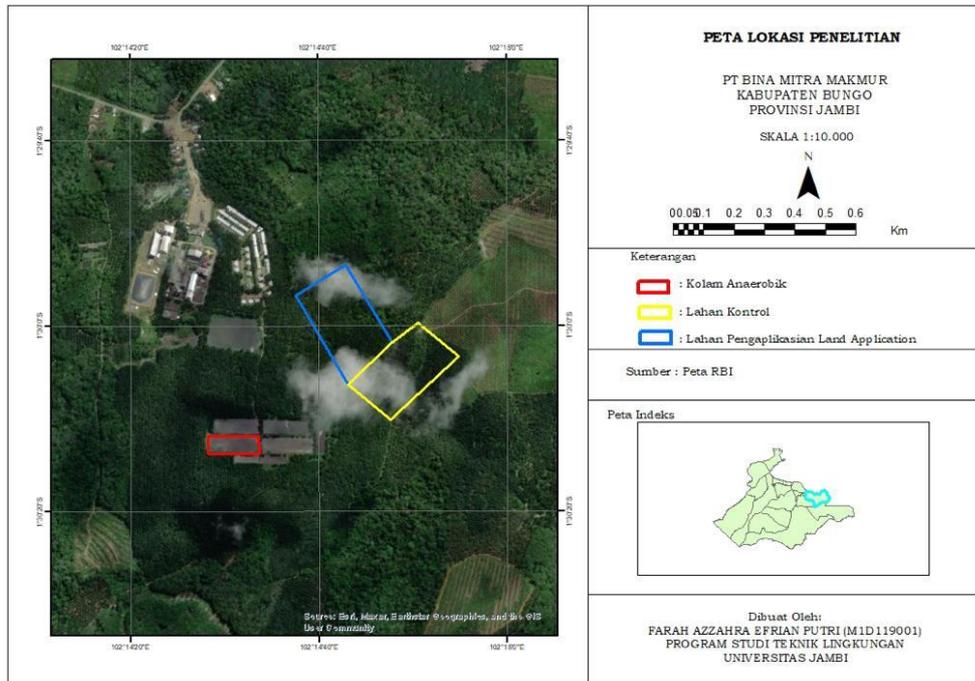
No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				ambang batas baku mutu. Sementara Logam Mn pada 3 Stasiun pengamatan telah melewati baku mutu yang ditetapkan oleh <i>Australian and New Zealand Environment and Conservation Council</i> (ANZECC, 2000).
3	Eri Hastati dan Mariyamah, 2022.	Analisa Kadar Logam Pb (Pb) Pada Tanah Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Metode penelitian secara kuantitatif dan pengujian kandungan logam berat menggunakan instrument yaitu spektrofotometer serapan atom (SSA). Kandungan logam berat Pb (Pb) yang didapatkan dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Daerah	Hasil analisis menunjukkan kandungan logam berat Pb dengan serapan atom 283,3 yaitu sampel A sebesar 0,0840 mg/L, sampel B sebesar 0,0629 mg/L dan sampel C sebesar 0,0418 mg/L. Maka dengan kandungan logam berat Pb tersebut didapatkan nilai

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			nomor 7 tahun 2015.	dibawah angka ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Bina Mitra Makmur yang berada di Dusun Simpang Babeko, Kecamatan Bathin II Babeko, Kabupaten Bungo, Jambi. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada $1^{\circ}29'57.51''\text{S}$ - $102^{\circ}14'39.10''\text{E}$, lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 30 Juli 2023.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Sumber: Google Earth, 2023.

Pengambilan sampel dilakukan di perkebunan yang memanfaatkan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk (rorak) dan perkebunan yang tidak memanfaatkan limbah cair pabrik kelapa sawit (lahan kontrol) yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini. Jarak antara kolam *anaerobik* dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) sekitar 10 m, sedangkan jarak antara kolam *anaerobik* dan areal tanpa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (lahan kontrol) 15 m.



(a)

(b)

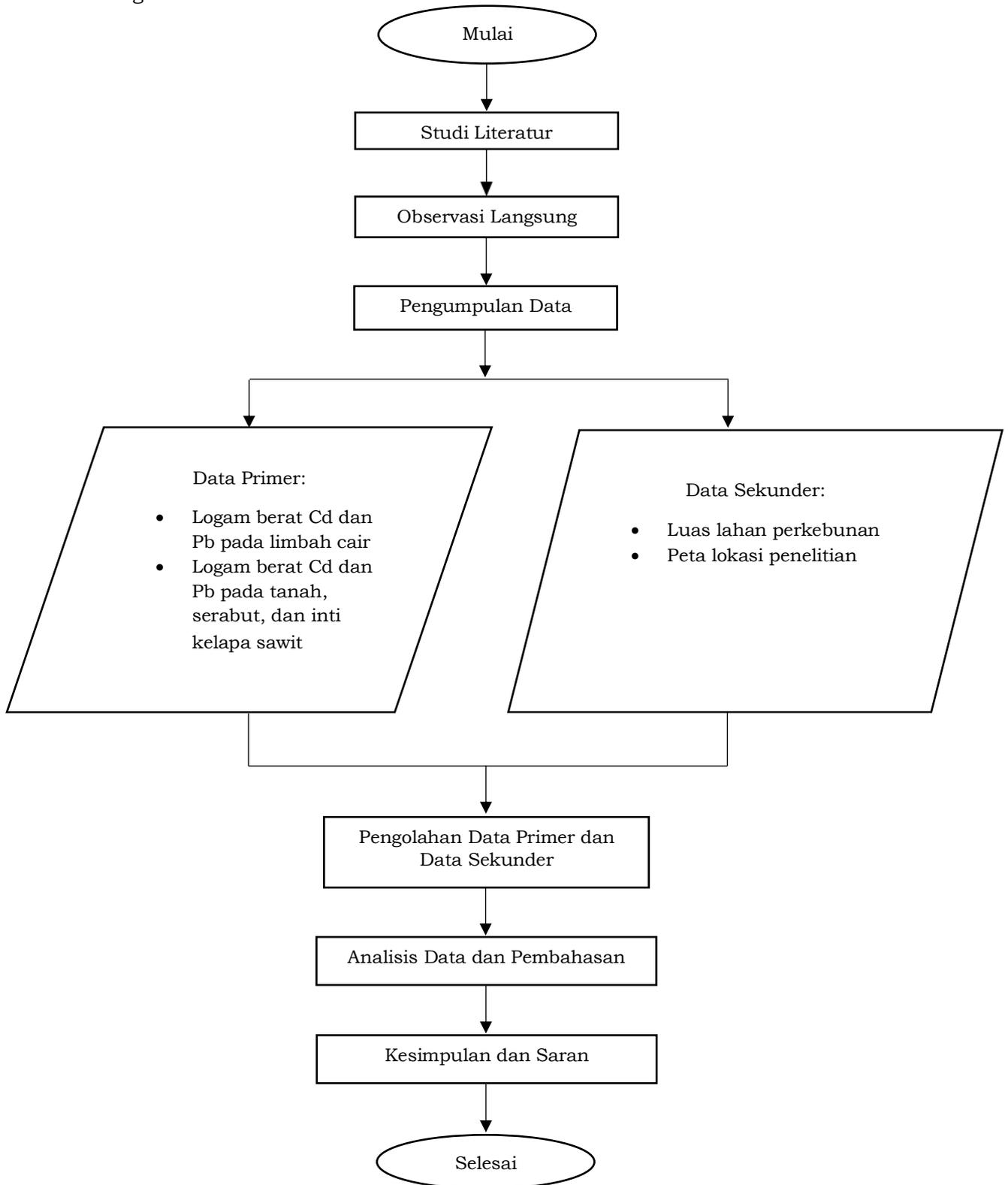
Gambar 2. (a) Lahan Kontrol dan (b) Rorak

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

Serabut dan inti kelapa sawit juga merupakan sampel pada penelitian kali ini, serabut dan inti kelapa sawit diambil dari tanaman kelapa sawit di lahan kontrol dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak). Tanaman kelapa sawit yang berada pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki umur 7 tahun. Untuk umur tanaman kelapa sawit yang berada pada lahan kontrol sama seperti tanaman di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) yaitu 7 tahun.

3.3 Skema Penelitian

Skema penelitian ini disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan penelitian. Skema penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 3. Skema Penelitian

3.4 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan:
 - a) HNO_3
 - b) HCl
 - c) Aquades
 - d) Sampel tanah di lahan kontrol
 - e) Sampel tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dan sampel tanah di areal antara rorak dan tanaman.
 - f) Sampel berondolan di lahan kontrol dan di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak).
2. Alat:
 - a) Bor tanah
 - b) Meteran
 - c) Botol plastik
 - d) Timbangan
 - e) Ember
 - f) Sekop
 - g) Plastic *ziplock*
 - h) Kertas label
 - i) Gelas *beaker* 100 ml
 - j) Labu ukur 25 ml
 - k) Labu ukur 50 ml
 - l) *Hotplate*
 - m) Corong gelas
 - n) Kertas saring whatman 40
 - o) Kamera
 - p) Alat tulis
 - q) *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS)

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1) Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung dan merupakan data utama yang dibutuhkan yaitu kandungan logam berat Cd dan Pb pada limbah cair, logam berat Cd dan Pb pada tanah, logam berat Cd dan Pb pada serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit.

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dari instansi terkait, jurnal, buku dokumen-dokumen yang berkaitan dengan penelitian. Dalam hal ini data yang diperlukan adalah luas perkebunan dan peta lokasi penelitian yang didapat dari PT Bina Mitra Makmur.

3.6 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

1) Pengambilan Sampel Limbah Cair

Pengambilan sampel limbah cair diambil dari kolam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dialirkan ke lahan perkebunan kelapa sawit yaitu kolam *anaerobik*. Prosedur pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Cara pengambilan sampel limbah cair sebagai berikut:

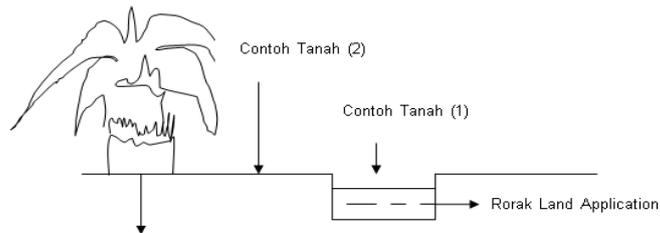
- a) Siapkan alat pengambil sampel sesuai dengan saluran pembuangan
- b) Bilas alat dengan sampel yang akan diambil, sebanyak 3 (tiga) kali
- c) Ambil sampel sesuai dengan peruntukan analisis dan campurkan dalam penampung sementara, kemudian homogenkan
- d) Masukkan ke dalam wadah yang sesuai peruntukkan analisis
- e) Lakukan segera pengujian untuk parameter suhu, kekeruhan dan daya hantar listrik, pH, dan oksigen terlarut yang dapat berubah dengan cepat dan tidak dapat diawetkan
- f) Hasil pengujian parameter lapangan dicatat dalam buku catatan
- g) Pengambilan sampel untuk parameter pengujian di laboratorium dilakukan pengawetan.

Pengawetan sampel limbah cair pabrik kelapa sawit dengan cara menambahkan asam nitrat (HNO_3) kedalam satu liter limbah cair pabrik kelapa sawit. Pengawetan langsung dilakukan di lapangan pada saat pengambilan sampel. Pengawetan dilakukan untuk mencegah terjadinya perubahan komposisi limbah cair yang diambil sebelum pengujian dilakukan.

2) Pengambilan Sampel Tanah, Serabut dan Inti Kelapa Sawit

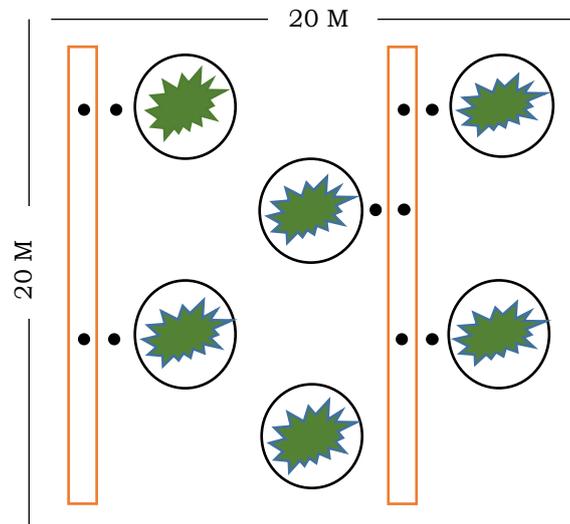
Pengambilan sampel tanah, serabut, dan inti kelapa sawit menggunakan metode *purposive sampling* yakni teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu. Pengambilan sampel dilakukan pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), tanah antara rorak dan tanaman kelapa sawit yang dapat dilihat pada Gambar 4, dan tanah di lahan kontrol (tanpa aplikasi) dengan menggunakan bor tanah pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40

cm di lima titik yang berbeda, disetiap titik akan diambil sampel tanah seberat 500 gram. Sampel tanah yang diambil pada setiap titik selanjutnya akan dikompositkan, dimana sampel tanah akan dicampur dan diaduk secara merata kemudian akan diambil sampel tanah sebanyak 1000 gram dan dimasukkan kedalam plastik *ziplock* menggunakan sekop dan kemudian diberi label. Sampel tanah akan didestruksi basah terlebih dahulu sebelum dianalisis di laboratorium menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometers (AAS)*.



Gambar 4. Posisi Pengambilan Sampel Tanah di Rorak dan Tanah antara Rorak dengan Tanaman Kelapa Sawit

Pengambilan sampel serabut dan inti kelapa sawit juga dilakukan di areal perkebunan yang menggunakan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk dan di lahan kontrol. Pengambilan sampel dilakukan pada enam titik lokasi yang telah ditentukan. Sampel serabut dan inti kelapa sawit akan di destruksi basah terlebih dahulu sebelum nantinya akan dianalisis di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Andalas.



Gambar 5. Tata Letak Pengambilan Sampel

Keterangan:

 : Rorak

 : Tanaman Kelapa Sawit

- : Titik Sampel

3.7 Pengujian Kadar Logam Berat

Pengujian kadar logam berat pada tanah, serabut, dan inti kelapa sawit pada penelitian ini menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Andalas. Sampel tanah, serabut dan inti kelapa sawit akan didestruksi basah terlebih dahulu sebelum dianalisis di laboratorium.

3.7.1 Pengujian Kadar Logam Berat Tanah

Sampel tanah akan di destruksi basah terlebih dahulu sebelum dianalisis di laboratorium. Menurut Asmorowati *et al* (2020), destruksi basah dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Sampel tanah ditimbang sebanyak 0,5 gram menggunakan timbangan analitik.
- 2) Selanjutnya sampel tanah dilarutkan dengan campuran HNO₃ dan HCl dengan perbandingan 5:2 di dalam gelas *beaker* 100ml.
- 3) Kemudian panaskan *hotplate* hingga sampel larut.
- 4) Pindahkan larutan ke dalam labu ukur 25 ml.
- 5) Kemudian tambahkan *aquades* hingga tanda batas.
- 6) Selanjutnya larutan siap dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS).

3.7.2 Pengujian Kadar Logam Berat Serabut dan Inti Kelapa Sawit

Serabut dan inti kelapa sawit merupakan bahan utama dalam pengolahan minyak mentah kelapa sawit. Serabut sendiri dapat diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan inti kelapa sawit atau sering disebut dengan kernel juga bisa diolah menjadi *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO). Serabut dan inti kelapa sawit akan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C dan dihaluskan, selanjutnya akan didestruksi basah sebelum dianalisis di laboratorium. Menurut Fajriah *et al* (2017), langkah-langkah destruksi basah sebagai berikut:

- 1) Sampel akan ditimbang sebanyak 2 gram dan dimasukkan kedalam gelas *beaker* 100 ml.
- 2) Tambahkan HNO₃ dan dipanaskan dengan menggunakan *hotplate* hingga berubah warna menjadi lebih terang.
- 3) Dinginkan selama 15 menit, lalu tambahkan kembali pelarut hingga larutan berubah warna menjadi kekuning-kuningan atau tidak berwarna dan diamkan kembali selama 15 menit.
- 4) Selanjutnya encerkan dengan *aquades* dan dikocok agar homogen, lalu saring dengan kertas saring *whatman* ukuran 40.

- 5) Selanjutnya larutan siap dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS).

3.8 Analisis Data

Pada penelitian ini analisis data yang digunakan adalah *Contamination/Pollution* dimana untuk melihat tingkat pencemaran logam berat Cd dan Pb pada lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman dilakukan berdasarkan indeks *contamination/pollution* (C/P). Penentuan tingkat pencemaran logam berat menggunakan rumus Yanova *et al.* (2020) sebagai berikut:

$$\text{Indeks C/P} = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 4. Tingkat C/P Berdasarkan Indeks

Indeks C/P	Tingkat C/P
<0,1	Sangat sedikit terkontaminasi
0,1 – 0,2	Sedikit terkontaminasi
0,26 – 0,50	Cukup terkontaminasi
0,51 – 0,75	Terkontaminasi berat
0,76 – 1,00	Sangat terkontaminasi
1,1 – 2,0	Sedikit tercemar
2,1 – 4,0	Cukup tercemar
4,1 – 8,0	Tercemar berat
8,1 – 16,0	Sangat tercemar
>16,0	Teramat sangat tercemar

Sumber: Lacatusu (1998).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi Logam Berat pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah cair pabrik kelapa sawit merupakan salah satu jenis limbah agroindustri berbentuk cairan yang berasal dari proses pengolahan tandan buah segar menjadi minyak mentah kelapa sawit atau biasa yang dikenal dengan *crude palm oil* (CPO). Limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pada perkebunan kelapa sawit karena limbah cair pabrik kelapa sawit mengandung unsur hara yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk yang dapat meningkatkan kelembaban tanah, juga dapat meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah, serta dapat meningkatkan status hara tanah. Menurut Phalakornkule *et al* (2010) dalam Ermadani & Muzar (2011), limbah cair pabrik kelapa sawit berasal dari air yang digunakan dalam proses sterilisasi (perebusan) tandan buah segar, klarifikasi (pemurnian) *crude palm oil* dan operasi *hydrocyclone* (pemisahan inti kelapa sawit dan cangkang). Limbah cair pabrik kelapa sawit yang akan diaplikasikan ke lahan perkebunan kelapa sawit akan diolah terlebih dahulu di Instalasi Pengelolaan Air Limbah dan melalui beberapa perlakuan sehingga memiliki standar baku mutu (BOD dan pH yang telah ditentukan) untuk diaplikasikan langsung ke lahan. Pada PT Bina Mitra Makmur sendiri memiliki 9 kolam pada Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL).

Pada penelitian kali ini limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan sebagai pupuk yaitu kolam anaerobik yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini. Berdasarkan hasil analisis limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari kolam 5 (kolam anaerobik) diketahui bahwa pH limbah cair yang digunakan untuk *land application* bersifat netral dimana berkisar 7,45. Hal ini sejalan dengan penelitian Nur (2014), dimana karakteristik limbah cair industri kelapa sawit yang digunakan sebagai pupuk memiliki pH sebesar 5,6. Pada kondisi pH tersebut limbah cair dapat digunakan untuk kegiatan *land application* karena telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 28 Tahun 2003 tentang Pedoman Teknis Pengkajian Pemanfaatan Air Limbah dari Industri Minyak Sawit pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit dimana nilai pH berkisar 6 sampai 9.



Gambar 6. Kolam Anaerobik pada PT. Bina Mitra Makmur

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

Analisis terhadap kandungan logam berat yang terdapat didalam limbah cair dilakukan untuk mengetahui kandungan logam berat apa saja yang terdapat didalam limbah cair yang berasal dari bahan ikutan selama proses pengolahan kelapa sawit. Kandungan logam berat yang terindikasi didalam limbah cair yang digunakan dalam kegiatan *land application* berupa kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn) yang dapat dilihat pada Tabel 5. Baku mutu untuk masing-masing parameter logam berat telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dimana kadar untuk Cd 0,05 mg/L, Cu 2 mg/L, Pb 0,1 mg/L, dan Zn 5 mg/L.

Tabel 5. Logam Berat Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Kolam Anaerobik) PT Bina Mitra Makmur

No	Parameter	Satuan	Hasil	Nilai Baku Mutu Maksimum (mg/L)*	Keterangan
1	Cd	mg/L	1,83	0,05	Melewati Baku Mutu
2	Cu	mg/L	1,25	2	Tidak Melewati Baku Mutu
3	Pb	mg/L	1,10	0,1	Melewati Baku Mutu
4	Zn	mg/L	1,78	5	Tidak Melewati Baku Mutu

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Keterangan: *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Dari hasil uji laboratorium didapatkan nilai logam berat pada limbah cair pabrik kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur pada kolam *anaerobik* untuk

parameter logam berat Cd dan Pb melebihi nilai baku mutu yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk parameter tembaga dan seng tidak melewati baku mutu yang telah ditentukan. Hal ini sejalan dengan penelitian Suci (2021), yang menyatakan bahwa diketahui konsentrasi logam berat tembaga pada sampel 1 sebesar 0,256 ppm dan pada sampel 2 sebesar 0,044 ppm hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat tembaga pada limbah cair pabrik kelapa sawit masih di bawah batas maksimum baku mutu yang ditentukan yaitu sebesar 2 ppm. Konsentrasi logam berat seng pada sampel 1 sebesar 0,300 ppm dan pada sampel 2 sebesar 0,073 ppm, sehingga konsentrasi logam berat seng pada limbah cair pabrik kelapa sawit masih dibawah baku mutu yang telah ditentukan yaitu sebesar 5 ppm. Penelitian ini juga sejalan dengan Pratama *et al* (2017), dimana konsentrasi logam berat tembaga dan konsentrasi logam berat seng yang terdapat di dalam limbah cair pabrik kelapa sawit tidak melebihi baku mutu maksimum yang ditentukan yaitu sebesar 0,042 mg/L dan 0,175 mg/L.

4.2 Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb pada Tanah

Pengembangan kelapa sawit diikuti dengan perluasan lahan perkebunan kelapa sawit, pada daerah-daerah luar Pulau Jawa sendiri umumnya jenis tanah didominasi oleh ordo ultisol, oxisol, dan inceptisol (Same, 2011). Jenis tanah pada perkebunan kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur yaitu tanah ultisol. Ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki tingkat kesuburan yang rendah karena memiliki kemasaman yang tinggi. Kandungan hara pada tanah ultisol umumnya rendah diakibatkan oleh pencucian basa yang berlangsung secara intensif, dan bahan organik yang rendah karena proses dekomposisi yang berjalan secara cepat. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan produktivitas tanah ultisol dengan melakukan perbaikan tanah (ameliorasi), pemupukan, dan pemberian bahan organik (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Salah satu cara untuk meningkatkan kandungan hara pada tanah ultisol yaitu pemberian bahan organik, limbah cair pabrik kelapa sawit mengandung unsur hara yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik bagi tanah dan tanaman pada perkebunan tersebut. Hasil penelitian Manik (2000) menunjukkan bahwa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dapat memperbaiki sifat kimia tanah dan meningkatkan produksi tandan buah segar.

Pabrik kelapa sawit umumnya akan menghasilkan limbah cair pabrik kelapa sawit, dimana limbah cair pabrik kelapa sawit ini nantinya akan dimanfaatkan sebagai pupuk pada perkebunana kelapa sawit. Limbah cair pabrik kelapa sawit selain mengandung usur hara yang dapat meningkatkan kesuburan tanah juga mengandung logam berat salah satunya yaitu Cd dan Pb. Logam-

logam berat tersebut kemudian akan terserap ke dalam tanah, sehingga akan terakumulasi langsung ke dalam tanah. Agustina (2014), menyatakan bahwa sumber utama kontaminan logam berat sesungguhnya berasal dari udara dan air yang mencemari tanah.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa logam berat Cd dan Pb pada tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) lebih tinggi dibandingkan pada tanah di areal tanpa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (lahan kontrol) dan areal antara rorak dan tanaman yang dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut. Hal ini dikarenakan areal aplikasi limbah cair (rorak) merupakan tempat penimbunan dan pengaliran limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan sebagai pupuk pada perkebunan kelapa sawit. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratama *et al* (2017) di PT Persada Alam Jaya, yang menyatakan bahwa konsentrasi logam berat Cd dan konsentrasi logam berat Pb diketahui lebih tinggi pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dari pada lahan kontrol dan areal antara rorak dan tanaman.

Tabel 6. Konsentrasi Logam Berat Pada Lahan Kontrol dan Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No	Parameter	Kedalaman	Areal Aplikasi		Areal Tanpa Aplikasi (Lahan Kontrol)	Nilai Baku Mutu Maksimum (mg/kg)*
			Rorak	Antara Rorak dan Tanaman		
1	Cd	0-20 cm	1,460	0,862	0,179	0,48
		20-40 cm	1,279	0,773	0,150	
2	Pb	0-20 cm	1,626	1,456	0,331	200
		20-40 cm	1,566	1,349	0,288	

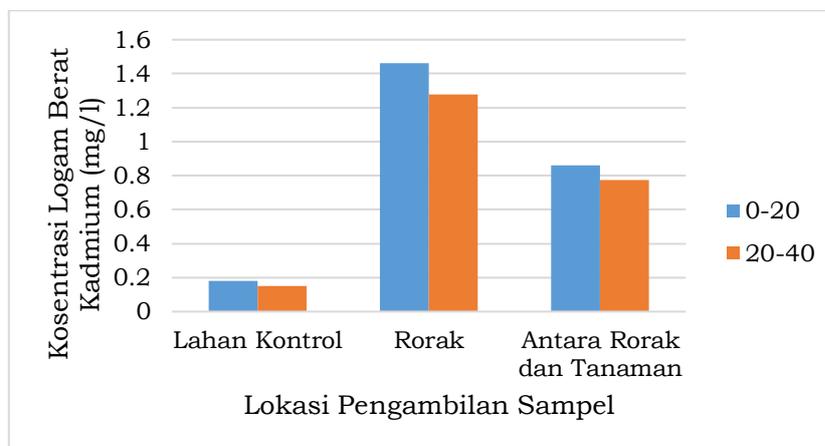
Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Keterangan: *US Environmental Protection Agency (EPA) tahun 2002.

Dari hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa konsentrasi logam berat pada kedalaman 0-20 cm lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada kedalaman 20-40 cm. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu air hujan. Maddusa *et al* (2017), menyebutkan bahwa konsentrasi logam berat cenderung akan mengalami pengenceran ketika ada air yang masuk seperti air hujan, sehingga mengakibatkan menurunnya konsentrasi logam berat pada tanah di kedalaman bawah.

Kadmium

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 6 diatas dapat diketahui bahwa konsentrasi logam Cd tertinggi terdapat pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm sebesar 1,460 mg/kg dan 1,279 mg/kg dibandingkan pada lahan kontrol dan areal antara rorak dan tanaman. Data konsentrasi logam Cd tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan konsentrasi logam Cd mulai dari lahan kontrol, antara rorak dan tanaman, dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) yang dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini. Kandungan logam Cd pada limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan sebagai *land application* sudah melewati baku mutu yang telah ditentukan, sehingga aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dikatakan meningkatkan konsentrasi logam Cd pada tanah. Konsentrasi logam Cd pada lahan kontrol dapat dikatakan rendah pada kedua kedalaman, hal ini karena jarak antara lahan kontrol dengan lokasi pembuangan limbah cukup jauh. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratama *et al.* (2017), dimana kandungan logam berat Cd pada areal aplikasi lebih tinggi dibandingkan areal tanpa aplikasi yaitu sebesar 1,98 ppm dan nilai konsentrasi logam Cd pada areal tanpa aplikasi yaitu sebesar 1,43 ppm.



Gambar 7. Konsentrasi Logam Berat Kadmium pada Lahan Kontrol dan Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

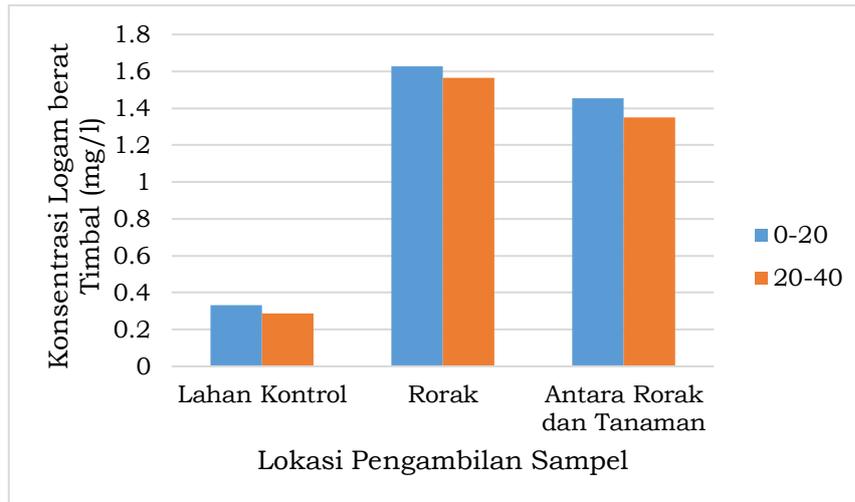
Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan baku mutu US *Environmental Protection Agency* (EPA) tahun 2002 untuk konsentrasi logam Cd sendiri sebesar 0,48 mg/kg. Sehingga konsentrasi logam Cd pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dan areal antara rorak dan tanaman di kedua kedalaman telah melewati baku mutu yang ditentukan. Konsentrasi logam Cd pada lahan kontrol di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 tidak melewati baku mutu yang telah ditentukan.

Peresapan logam Cd dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi pH tanah, suhu tanah, kandungan bahan organik tanah, ukuran partikel tanah, dan kemampuan pertukaran ion (Hadi & Purnomo, 2022). Konsentrasi logam Cd pada tanah juga dipengaruhi oleh tekstur tanah. Saat pH tanah rendah dan kandungan liat tinggi maka akan meningkatkan konsentrasi logam Cd di tanah (Pratama *et al.*, 2017). Soepardi (1983) dalam Pratama *et al.* (2017), menyatakan bahwa unsur logam Cd dalam tanah akan mengalami pengurangan apabila pH tanah meningkat. Selanjutnya tekstur tanah dengan kandungan fraksi liat yang tinggi akan mempengaruhi kuatnya serapan koloid liat terhadap logam Cd. Unsur Cd akan meningkat jumlahnya seiring dengan meningkatnya kandungan liat dalam tanah.

Timbal

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 6 diatas dapat diketahui bahwa konsentrasi logam Pb pada lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman tidak mengalami peningkatan pada kedalaman 20-40 cm jika dibandingkan dengan kedalaman 0-20 cm. Konsentrasi logam Pb pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit lebih tinggi dibandingkan pada lahan kontrol dan areal antara rorak dan tanaman yaitu di kedalaman 0-20 cm sebesar 1,626 mg/kg dan di kedalaman 20-40 cm sebesar 1,566 mg/kg. Terdapat kecenderungan peningkatan konsentrasi logam berat Pb mulai dari lahan kontrol, areal antara rorak dan tanaman, dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit yang dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini. Kandungan logam Pb pada limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan sebagai *land application* sudah melewati baku mutu yang telah ditentukan, sehingga aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dikatakan meningkatkan konsentrasi logam Pb pada tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Pratama *et al.* (2017), bahwa kandungan logam berat Pb tanah pada areal aplikasi lebih tinggi dibandingkan dengan areal tanpa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu sebesar 36,88 ppm.



Gambar 8. Konsentrasi Logam Berat Timbal pada Lahan Kontrol dan Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan baku mutu US *Environmental Protection Agency* (EPA) tahun 2002 untuk konsentrasi logam Pb sendiri sebesar 200 mg/kg. Sehingga dapat dikatakan bahwa konsentrasi logam Pb di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm pada lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman tidak melewati baku mutu yang telah ditentukan. Alloway (1970) dalam Pratama *et al.* (2017), mengatakan bahwa kisaran normal logam Pb didalam tanah adalah 2-200 ppm.

Salah satu faktor yang mempengaruhi konsentrasi Pb dalam tanah yaitu pH. Menurut Pratama *et al.* (2017), bahwa salah satu faktor utama yang mempengaruhi logam berat dalam tanah adalah pH, dimana tanah dengan pH masam akan meningkatkan logam berat dalam tanah. Tingginya konsentrasi logam berat dalam areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dikarenakan sifat unsur logam berat sehingga akan terakumulasi di dalam tanah areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak). Hal lain yang mempengaruhi tingginya konsentrasi logam berat dalam tanah yaitu tekstur tanah, dimana tingginya kandungan fraksi liat didalam rorak akan berpengaruh terhadap kuatnya serapan koloid liat terhadap logam berat. Logam Pb tidak akan larut ke dalam tanah jika tanah tersebut tidak masam.

4.3 Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb pada Serabut dan Inti Kelapa Sawit

Konsentrasi logam berat dalam tanah sangat mempengaruhi konsentrasi logam berat pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali saat terjadi interaksi diantara logam tersebut maka akan terjadi hambatan penyerapan logam oleh tanaman. Akumulasi logam yang berada pada tanaman tidak hanya tergantung

pada kandungan logam di dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Fitrianah & Purnama, 2019).

Konsentrasi logam berat pada tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain konsentrasi logam berat dalam larutan tanah, mobilitas ion logam berat ke zona perakaran, pergerakan logam berat dari permukaan akar ke dalam akar tanaman dan pergerakan logam berat dalam tanaman lainnya (Hayati, 2010). Menurut Agustina (2014), pencemaran logam berat Cd pada tanaman berasal dari penggunaan pupuk, air yang digunakan untuk menyiram tanaman tersebut dan udara sekitar.

Salah satu mekanisme penyerapan logam berat kedalam jaringan tanaman dan siklus rantai makanan yaitu melalui akar. Penyerapan oleh tanaman dipengaruhi oleh beberapa sifat tanah itu sendiri, salah satunya yaitu kandungan bahan organik yang memiliki kemampuan untuk mengikat logam (Mulyani *et al.*, 2023). Menurut Hayati (2010), Secara umum terdapat 2 mekanisme masuknya logam berat Cd dan Pb ke dalam tanaman, yaitu pengambilan melalui akar dan pengambilan melalui daun, dimana setelah masuk ke dalam sistem, logam berat Cd dan Pb akan diikat oleh membran sel, mitokondria, dan kloroplas. Logam berat Cd dan Pb sendiri secara cepat akan diserap pada saat zat itu dipindahkan atau jika akarnya mati. Hasil konsentrasi Cd dan Pb pada serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dan lahan kontrol dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Konsentrasi Logam Berat pada Serabut Kelapa Sawit dan Inti Kelapa Sawit

No	Parameter	Sampel Penelitian	Areal Aplikasi	Areal Tanpa Aplikasi (Lahan Kontrol)
1	Cd	Serabut	0,038	0,032
		Inti	0,021	0,019
2	Pb	Serabut	0,076	0,056
		Inti	0,030	0,020

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa konsentrasi logam berat Cd dan konsentrasi Pb pada serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di lahan kontrol dan di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit tergolong rendah. Ariyani (2019), menyatakan bahwa hal ini dikarenakan pada serabut sendiri memiliki sifat yang keras dan kuat. Dimana senyawa yang banyak terkandung didalamnya yaitu selulosa, lignin, hemiselulosa, dan holoselulosa. Selulosa dan lignin sendiri memiliki gugus fungsi yang dapat

melakukan pengikatan dengan ion logam sehingga dapat mengurangi kadar logam berat. Faktor lain yang menyebabkan rendahnya konsentrasi logam berat pada serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit disebabkan oleh akar tanaman kelapa sawit itu sendiri. Menurut Hayati (2010), bahwa umumnya konsentrasi logam berat pada tanaman lebih banyak terakumulasi kedalam jaringan akar tanaman dibandingkan pada bagian lainnya.

Kadmium

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapat hasil bahwa konsentrasi logam berat Cd pada serabut kelapa sawit di lahan kontrol sebesar 0,032 mg/kg dan konsentrasi logam berat Cd pada inti kelapa sawit di lahan kontrol didapatkan hasil sebesar 0,019 mg/kg. Sedangkan pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit didapatkan hasil untuk serabut kelapa sawit sebesar 0,038 mg/kg dan inti kelapa sawit sebesar 0,021 mg/kg. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa konsentrasi logam Cd pada serabut dan inti kelapa sawit tertinggi terdapat pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit. Kandungan logam berat pada limbah cair pabrik kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai pupuk akan terakumulasi ke dalam tanah dan tanaman yang di tanam pada tanah tersebut. Sehingga kandungan logam berat akan terakumulasi ke dalam tanaman kelapa sawit walaupun dalam jumlah yang rendah.

Konsentrasi logam Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan kontrol dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) tergolong rendah. Menurut Lin dan Aart (2012) dalam Tampubolon *et al.* (2020), menyatakan bahwa penyerapan logam Cd dari tanah oleh tanaman disebabkan oleh beberapa faktor total pemasukan Cd di dalam tanah, pH tanah, keberadaan logam Zn, jenis tanaman dan kultivar. Dimana penyerapan logam Cd semakin tinggi apabila pH tanah rendah (asam) dan semakin menurun apabila pH tanah tinggi (basa). Keberadaan logam Zn yang tinggi dapat mengurangi tingkat penyerapan logam berat Cd.

Timbal

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapat hasil bahwa konsentrasi logam berat Pb pada serabut kelapa sawit di lahan kontrol sebesar 0,056 mg/kg dan konsentrasi logam berat Cd pada inti kelapa sawit di lahan kontrol didapatkan hasil sebesar 0,020 mg/kg. Sedangkan pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit didapatkan hasil untuk serabut kelapa sawit sebesar 0,076 mg/kg dan inti kelapa sawit sebesar 0,030 mg/kg. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa konsentrasi logam Pb pada serabut dan inti kelapa sawit tertinggi terdapat pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa

sawit. Adanya kandungan logam berat Pb pada tanah akibat aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit akan terakumulasi ke dalam akar tanaman yang di tanam pada tanah tersebut sehingga akan terakumulasi ke jaringan tanaman lainnya walaupun dalam jumlah yang rendah.

Konsentrasi logam Pb pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan kontrol dan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit tergolong rendah. Menurut Hayati (2010), bahwa logam berat yang diserap oleh tanaman lebih banyak terakumulasi ke dalam jaringan akar tanaman dibandingkan dengan bagian tanaman lainnya. Hal ini karena bahan organik secara nyata mampu menghentikan serapan logam berat oleh tanaman. Logam berat Pb di dalam tanah hampir selalu terikat kuat oleh bahan organik atau koloid terpresipitasi, hal ini yang menjadi pembatas penyerapan logam berat Pb tersebut oleh tanaman.

Logam berat Pb yang diserap oleh tanaman dapat terjadi melalui suatu proses pada tanaman itu sendiri misalnya yaitu proses transpirasi air dan hara, dengan akar yang akan membentuk suatu ikatan kompleks dengan nutrient didalam tanah karena mengalami kontak secara langsung dengan logam dan mineral yang berada di dalam tanah (Dewi *et al.*, 2022). Menurut Haryati *et al.* (2012), bahwa prinsip penyerapan logam Pb pada tumbuhan yaitu apabila semakin besar konsentrasi logam Pb terhadap media tanam tanaman akan semakin besar pula logam Pb yang diserap.

4.4 Tingkat Pencemaran Logam Kadmium dan Timbal pada Tanah

Tingkat pencemaran logam berat Cd dan Pb dalam tanah pada lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada nilai ambang batas Cd sebesar 0,48 mg/kg dan nilai ambang batas Pb sebesar 200 mg/kg.

Kadmium

Hasil pengukuran logam Cd yang telah dilakukan pada ketiga lahan didapatkan bahwa areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dan areal antara rorak dan tanaman telah melewati baku mutu yang ditentukan oleh US *Environmental Protection Agency* (EPA) tahun 2002 sebesar 0,48 mg/kg dan untuk lahan kontrol tidak melewati baku mutu yang telah ditentukan. Hasil perhitungan logam berat Cd berdasarkan indeks *contamination/pollution* pada masing-masing sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Tingkat C/P Logam Kadmium pada Tanah

Sampel	Kedalaman	Indeks C/P	Tingkat C/P
Lahan Kontrol	0-20	0,37	Cukup terkontaminasi
	20-40	0,31	
Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	0-20	3,04	Cukup tercemar
	20-40	2,66	
Areal antara Rorak dan Tanaman	0-20	1,79	Sedikit tercemar
	20-40	1,61	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Konsentrasi logam berat Cd pada sampel akan berbanding lurus dengan indeks C/P yang artinya bahwa semakin tinggi konsentrasi logam Cd dalam suatu sampel, maka akan semakin tinggi pula indeks C/P pada sampel tersebut. Sebaliknya, jika semakin rendah konsentrasi logam Cd pada suatu sampel, maka indeks C/P nya akan semakin rendah juga. Perhitungan nilai indeks C/P logam Cd pada tanah di lahan kontrol pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

- Lahan Kontrol (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,179}{0,48} \\ &= 0,37\end{aligned}$$

- Lahan Kontrol (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,150}{0,48} \\ &= 0,31\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 8 diatas, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan tingkat pencemaran menggunakan indeks C/P pada logam Cd dengan baku mutu US *Environmental Protection Agency* (EPA) pada lahan kontrol di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm mendapati kondisi cukup terkontaminasi yang mengindikasikan keberadaan logam Cd pada tanah, hal ini dikarenakan pada lahan kontrol tidak menggunakan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk dan pada dasarnya tanah secara alami sudah mengandung logam berat dengan kadar yang rendah. Nilai indeks C/P pada areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm mendapati kondisi cukup tercemar

dan pada areal antara rorak dan tanaman di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm mendapati kondisi sedikit tercemar, dikarenakan pada kedua areal tersebut merupakan areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit yang mempengaruhi konsentrasi logam Cd dalam tanah. Konsentrasi logam Cd pada tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit tergolong tinggi dan telah melewati baku mutu yang ditentukan.

Kandungan logam berat Cd secara umum yang berada pada tanah bebas polusi yaitu 0,06 ppm. Sumber logam berat Cd di dalam tanah berasal dari pelapukan bahan mineral tanah endapan, udara, aktivitas vulkanik, emisi dari industri peleburan, dan pembakaran batu bara. Logam Cd dalam tanah akan meningkat apabila terjadi aktivitas manusia. Salah satu aktivitas manusia yang dapat meningkatkan logam Cd dalam tanah yaitu pemberian pupuk yang berasal dari limbah industri (Wangge *et al.*, 2021).

Timbal

Hasil pengukuran logam Pb yang telah dilakukan pada ketiga lahan didapatkan bahwa lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) dan areal antara rorak dan tanaman tidak melewati baku mutu yang ditentukan oleh US *Environmental Protection Agency* (EPA) tahun 2002 sebesar 200 mg/kg. Hasil perhitungan logam berat Pb berdasarkan indeks *contamination/pollution* pada masing-masing sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Tingkat C/P Logam Timbal pada Tanah

Sampel	Kedalaman	Indeks C/P	Tingkat C/P
Lahan Kontrol	0-20	0,0016	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	0,0014	
Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	0-20	0,0081	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	0,0078	
Areal antara Rorak dan Tanaman	0-20	0,0072	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	0,0067	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Perhitungan nilai indeks C/P logam Cd pada tanah di lahan kontrol pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

- Lahan Kontrol (0-20)

$$\text{Indeks C/P} = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}}$$

$$= \frac{0,331}{200}$$

$$= 0,0016$$

- Lahan Kontrol (20-40)

$$\text{Indeks C/P} = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}}$$

$$= \frac{0,288}{200}$$

$$= 0,0014$$

Berdasarkan Tabel 9 diatas, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan tingkat pencemaran menggunakan indeks C/P logam Pb dengan baku mutu US *Environmental Protection Agency* (EPA) pada lahan kontrol, areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak), dan areal antara rorak dan tanaman di kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm mendapati kondisi sangat sedikit terkontaminasi yang artinya bahwa adanya keberadaan logam Pb pada tanah walaupun dalam jumlah yang sedikit. Hal ini dikarenakan konsentrasi logam Pb pada ketiga lahan tersebut masih dalam jumlah yang cukup rendah dan masih dalam ambang batas yakni di bawah 200 ppm. Menurut Darmono (1995) dalam Yulius & Afdal (2014), mengatakan bahwa batas kandungan logam berat Pb di dalam tanah yaitu 10 ppm.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap konsentrasi logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada tanah, serabut kelapa sawit, dan inti kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan Cd dan Pb pada tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak) lebih tinggi dibandingkan dengan lahan kontrol dan areal antara rorak dan tanaman.
2. Kandungan Cd dan Pb pada serabut dan inti kelapa sawit di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit lebih besar dibandingkan dengan kandungan Cd dan Pb dalam serabut dan inti kelapa sawit di lahan kontrol.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk melakukan pengujian kandungan logam berat pada kedalaman tanah yang lebih dalam dan kandungan logam berat dalam minyak mentah kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan. *Teknobuga*, 1(1), 53–65.
- Ahmad, A., Syarfi, & Atikalidia, M. (2011). Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* A03-1-A03-8.
- Amriana, A., Kasim, A. A., & Maghfirat, M. (2020). Penentuan Harga Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komunikasi*, 12(3), 236–244. h
- Ariyani, S. B. (2019). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bioadsorben Logam Berat Mangan (Mn). *Ejournal Kementrian Perindustrian*, 50–55.
- Boymau, I. (2023). *Distribusi Logam Berat pada Tanah*. 2(3), 927–932.
- Chairiyah, R. R., Guchi, H., & Rauf, A. (2013). Bioremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Cd, Cu, dan Pb dengan Menggunakan Endomikoriza. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(1), 349–361.
- Dewi, I. G. A. K. S. P., Sunariani, N. L. G. A., & Suprihatin, I. E. (2022). Penyerapan Kadar Timbal (Pb) Tanah Tercemar dan Akumulasinya Pada Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta* L.) dengan Remediasi. *Journal Of Chemistry*, 16(2), 162–167.
- Edyal, R., & Putra, B. E. (2016). Aplikasi Penjualan Kelapa Sawit Berbasis Web pada KUD di Kab. Dharmasraya. *Multinetics*, 2(2), 30–33.
- Ermadani, & Muzar, A. (2011). Pengaruh Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit terhadap Hasil Kedelai dan Perubahan Sifat Kimia Tanah Ultisol. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 39(3), 160–167.
- Ermadani, Muzar, A., & Mahbub, I. A. (2011). Pengaruh Residu Kompos Tandan Buah Koaong Kelapa Sawit Terhadap Beberapa Sifat Kimia Ultisol Dan Hasil Kedelai. *Jurnal Penelitian Universitas Jambi Seri Sains*, 13(2), 11–18.
- Fajriah, N., Zulfadi, & Nasir, M. (2017). Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia*, 2(3), 162–171.
- Fitria, A. N., Gunawan, V. S., & Mardiah, M. (2021). Study of the Utilization of Palm Oil Industry Liquid Waste. *Konversi*, 10(1), 31–40.
- Fitriana, L., & Purnama, A. R. (2019). Sebaran Timbal Pada Tanah Di Areal Persawahan Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Research and Technology*, 5(2), 106–116.
- Gito, S. (2012). Pemberdayaan Sumberdaya Hayati Tanah Untuk Rehabilitasi

- Tanah Ultisol Terdegradasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 6(2), 79–88.
- Hadi, A. N. K. R., & Purnomo, T. (2022). Potensi *Cordyline fruticosa* dan *Sansevieria trifasciata* Sebagai Agen Penyerapan Logam Berat Cd Pada Tanah. *LenteraBio*, 11(3), 359–368.
- Haryati, M., Purnomo, T., & Sunu, K. (2012). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *Lentera Biologi*, 1(3), 131–138.
- Hastati, E., & Mariyamah, M. (2022). Analisa Kadar Logam Timbal (Pb) pada Tanah menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 5, 348–352.
- Hatika, R. G. (2022). Kandungan Logam Berat dalam Tanah pada Daerah Sekitar Penambangan Emas di Sungai Kuantan Assessment of Heavy Metal Content in Soil in Gold Mining Area. *Sainsmat*, XI(1), 95–103.
- Hayati, E. (2010). Pengaruh Pupuk Organik Dan Anorganik Terhadap Kandungan Logam Berat Dalam Tanah Dan Jaringan Tanaman Selada. *Jurnal Floratek*, 5, 113–123.
- Irvan, Trisakti, B., Vincent, M., & Tandean, Y. (2012). Pengolahan Lanjut Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Aerobik Menggunakan Effective Microorganism Guna Mengurangi Nilai TSS. *Teknik Kimia USU*, 1(2), 27–30.
- Istarani, F., & Pandebesie, E. S. (2014). Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), D-53-D-58.
- Lacatusu, R. (1998). Appraising Levels of Soil Contamination and Pollution with Heavy Metals. *European Soil Bureau Research Report*, 3(2), 393–399.
- Maddusa, S. S., Paputungan, M. G., Syarifuddin, A. R., Maambuat, J., & Alla, G. (2017). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Zink (Zn), dan Arsen (As) Pada Ikan dan Air Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Al-Sihah: Public Health Science Journal*, 9(2), 153–159.
- Marwan, M., Yusran, Y., & Umar, H. (2015). Sifat Fisik Tanah di Bawah Tegakan Eboni (*Diospyros celebica* Bakh.) Di Desa Kasimbar Barat Kecamatan Kasimbar Kabupaten Parigi Moutong. *Warta Rimba*, 3(2), 111–117.
- Mulyani, O., Machfud, Y., & Solihin, M. A. (2023). Fungsi Hubungan Sifat Kimia Tanah dan Penggunaan Pestisida dengan Kandungan Kadmium Pada Lahan Sawah. *Jurnal Agrikultura*, 34(2), 315–324.
- Nasution, D. Y. (2004). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Yang Berasal Dari Kolam akhir (Final Pond) Dengan Proses Koagulasi Melalui Elektrolisis. *Jurnal Sains Kimia* 8(2).

- Nur, M. (2014). *Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Untuk Land Application*. 2–10.
- Prasetyo, B. H., & Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik Potensi dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Litbang Pertanian*, 25(2), 39–47.
- Pratama, H., Mahbub, I. A., & Suryanto. (2017). *Kandungan Logam Berat Tanah Pada Areal Aplikasi Dan tanpa Aplikasi Limbah Cair Kelapa Sawit (studi Kasus: PT. Persada Alam Jaya Desa Suban Kecamatan Batang Asam Kabupaten Tanjung Jabung Barat)*. 1–12.
- Prayitno, S., Indradewa, D., & Sunarminto, B. H. (2008). Produktivitas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Yang Dipupuk Dengan Tandan Kosong dan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Ilmu Pertanian*, 15(1), 37–48.
- Rahardjo, P. N. (2006). Teknologi Pengelolaan Limbah Cair Yang Ideal Untuk Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 66–71.
- Rahardjo, P. N. (2017). Evaluasi dan Perencanaan Awal untuk Meningkatkan Efektifitas IPAL Sistem Anaerobik PKS PT . Deli Muda Perkasa. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(1), 19–28.
- Retno Widhiastuti, Suryanto, D., Mukhlis, & Wahyuningsih, H. (2006). Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit sebagai Pupuk terhadap Biodiversitas Tanah. *Jurnal Ilmiah Pertanian KULTURA*, 41(1), 1–8.
- Riyanto, R. (2014). Observasi Produksi Tandan Buah Segar Pada Perkebunan Sawit Rakyat. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 1(1), 40–47. h
- Rizki, & Novi. (2017). Respon Pertumbuhan Bibit Mangrove *Rhizophora Apiculata* B1 pada Media Tanah Topsoil. *Jurnal Bioconcetta*, 3(2), 41–54.
- Rosniawaty, S., Maulina, A., Suherman, C., Soleh, M. A., & Sudirja, R. (2020). Modifikasi Penggunaan Subsoil Melalui Penambahan Bahan Organik Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (*Coffea Arabica* L.). *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 8(1), 37–45.
- Same, M. (2011). Serapan Phospat dan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit pada Tanah Ultisol Akibat Cendawan Mikoriza Abuskula. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 11(2), 69–76.
- Setyaningrum, E. W., Dewi, A. T. K., Yuniartik, M., & Masithah, E. D. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Cu, Pb, Hg, dan Sn Terlarut di Pesisir Kabupaten Banyuwangi. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan IV*, 144–153.
- Sri Asmorowati, D., Susilogati Sumarti, S., & Kristanti, I. I. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam

- Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 169–173.
- Suci, A. (2021). Penentuan Kandungan Logam Berat Cu dan Zn Pada Sampel Air Limbah Kelapa Sawit dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Fakultas Sains Dan Teknologi*, 8–9.
- Tampubolon, K., Zulkifli, T. B. H., & Alridiwirsa, A. (2020). Kajian Gulma *Eleusine indica* Sebagai Fitoremediator Logam Berat. *AGRINULA: Jurnal Agroteknologi Dan Perkebunan*, 3(1), 1–9.
- Tangio, J. S. (2013). Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(1), 500–506.
- Wangge, E. S. A., Sito, E., & Mutiara, C. (2021). Uji Kadar Cemar Kadmium Dalam Tanah Sawah dan Beras di Kelurahan Lape Kecamatan Aesesa Kabupaten Nagekeo. *Journal of Sustainable Dryland Agriculture*, 14(2), 152–157.
- Warni, D., Karina, S., & Nurfadillah, N. (2017). Analisis Logam Pb, Mn, Cu, dan Cd Pada sedimen di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah*, 2(2), 246–253.
- Wulandari, J., Asrizal, & Zuhendri. (2016). Analisis Kadar Logam Berat Pada Limbah Industri Kelapa Sawit Berdasarkan Hasil Pengukuran Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Pillar of Physics*, 8, 57–64.
- Yanova, S., Siagian, K. A. M., & Gusanti, R. (2020). Tingkat Cemar Logam Berat Pada Air Sungai Batanghari Provinsi Jambi berdasarkan Indeks C/P (Contamination/Pollution). *Jurnal Daur Lingkungan*, 3(2), 62–65.
- Yulius, U., & Afdal. (2014). Identifikasi Sebaran Logam Berat Pada Tanah Lapisan Atas dan Hubungannya dengan Suseptibilitas Magnetik di Beberapa Ruas Jalan di Sekitar Pelabuhan Teluk Bayur Padang. *Jurnal Fisika Universitas Andalas*, 3(4), 198–204.
- Yuniarti, D. P., Komala, R., & Aziz, S. (2019). Pengaruh Proses Aerasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Di PTPN VII Secara Aerobik. *Teknik Lingkungan*, 4(2), 7–16.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat pada Limbah Cair



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ANDALAS
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
LABORATORIUM AIR

Alamat: Kampus Limau Manis, Padang – Sumatera Barat, Kode Pos 25163

HASIL ANALISIS

No :078/VIII/LA-HA/2023
Sampel : Limbah

No	Parameter	Satuan	Hasil
1	Kadmium(Cd)	mg/L	1,83
2	Tembaga (Cu)	mg/L	1,25
3	Timbal(Pb)	mg/L	1,10
4	Seng(Zn)	mg/L	1,78



Tembusan :
1.Arsip



Prodi Sarjana Terakreditasi "Unggul"
SK No. 6093/SK/BAN-PT/Akred-Itnl/S/IX/2020
Prodi Magister Terakreditasi "B"
SK No. 3116/SK/BAN-PT/Akred/M/VIII/2019



Engineering
Accreditation
Commission

Terakreditasi ABET (Prodi Sarjana)



Prodi Sarjana
Terakreditasi
IABEE
Sertifikat Akreditasi
No. 00072 A

Lampiran 2. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Berat pada Tanah, Serabut Kelapa Sawit, dan Inti Kelapa Sawit



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ANDALAS
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
LABORATORIUM AIR
Alamat: Kampus Limau Manis, Padang – Sumatera Barat, Kode Pos 25163

HASIL ANALISIS

No : 086/VIII/LA-IA/2023
Sampel : Tanah, Serabut dan Inti Sawit

No	Sampel	Satuan	Timbal(Pb)	Kadmium(Cd)
1	Lahan kontrol 0 -20 cm	mg/kg	0,331	0,179
2	lahan kontrol 20 -40 cm	mg/kg	0,288	0,150
3	Rorak 0 -20 cm	mg/kg	1,626	1,460
4	Rorak 20 -40 cm	mg/kg	1,566	1,279
5	Antara Rorak dan Tanaman 0 -20 cm	mg/kg	1,456	0,862
6	Antara Rorak dan Tanaman 20 -40 cm	mg/kg	1,349	0,773
7	Lahan kontrol serabut kelapa sawit	mg/kg	0,056	0,032
8	Lahan kontrol inti kelapa sawit	mg/kg	0,020	0,019
9	Rorak serabut kelapa sawit	mg/kg	0,076	0,038
10	Rorak inti kelapa sawit	mg/kg	0,030	0,021



Tembusan :
1. Arsip



Prodi Sarjana Terakreditasi "Unggul"
SK No. 6093/SK/BAN-PT/Akred-Itni/S/IX/2020
Prodi Magister Terakreditasi "B"
SK No. 3116/SK/BAN-PT/Akred/M/VIII/2019



Engineering
Accreditation
Commission

Terakreditasi ABET (Prodi Sarjana)



Prodi Sarjana
Terakreditasi
IABEE
Sertifikat Akreditasi
No. 00072 A

Lampiran 3. Perhitungan Indeks Pencemaran Contamination/Pollution (C/P)
Logam Kadmium dan Timbal pada Tanah

1. Logam Kadmium

Baku mutu US EPA = 0,48 mg/kg

- Lahan Kontrol (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,179}{0,48} \\ &= 0,37\end{aligned}$$

- Lahan Kontrol (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,150}{0,48} \\ &= 0,31\end{aligned}$$

- Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,460}{0,48} \\ &= 3,04\end{aligned}$$

- Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,279}{0,48} \\ &= 2,66\end{aligned}$$

- Areal antara Rorak dan Tanaman (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,862}{0,48} \\ &= 1,79\end{aligned}$$

- Areal antara Rorak dan Tanaman (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,773}{0,48} \\ &= 1,61\end{aligned}$$

2. Logam Timbal

Baku mutu US EPA = 200 mg/kg

- Lahan Kontrol (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,331}{200} \\ &= 0,0016\end{aligned}$$

- Lahan Kontrol (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{0,288}{200} \\ &= 0,0014\end{aligned}$$

- Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,626}{200} \\ &= 0,0081\end{aligned}$$

- Areal Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,566}{200} \\ &= 0,0078\end{aligned}$$

- Areal antara Rorak dan Tanaman (0-20)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,456}{200} \\ &= 0,0072\end{aligned}$$

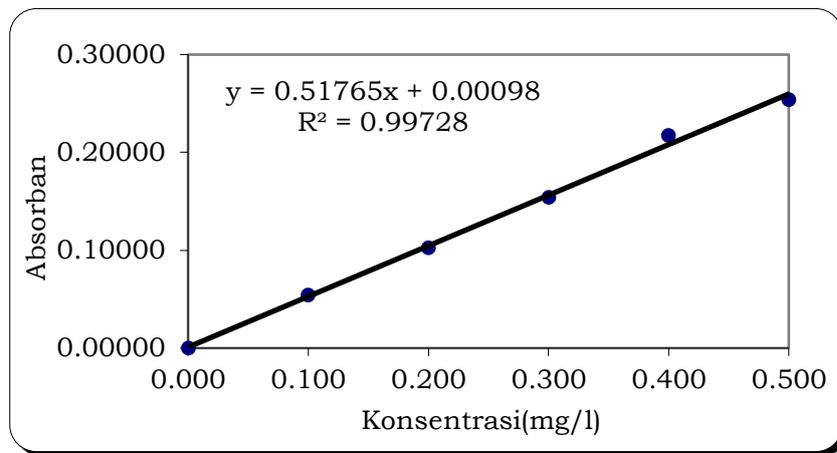
- Areal antara Rorak dan Tanaman (20-40)

$$\begin{aligned}\text{Indeks C/P} &= \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada Sampel}}{\text{Nilai Ambang Batas Logam Berat}} \\ &= \frac{1,349}{200} \\ &= 0,0067\end{aligned}$$

Lampiran 4. Kurva Kalibrasi Logam Cd dan Pb

a) Logam Cd

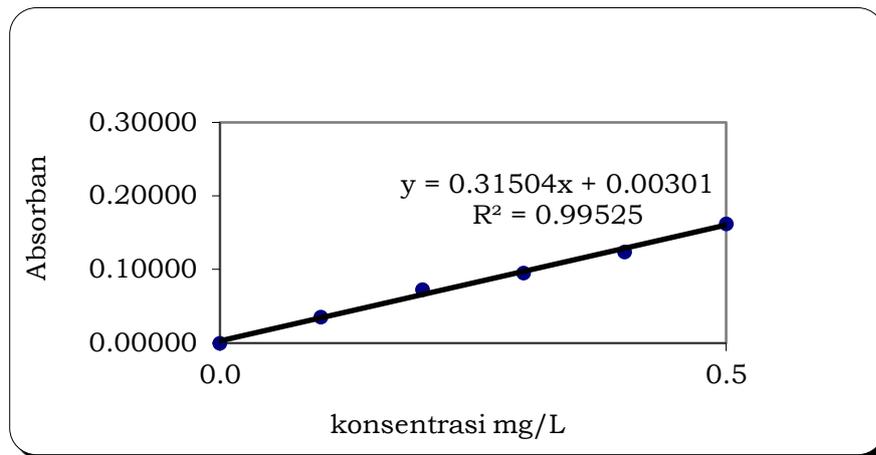
Konsentrasi (mg/l)	Absorban
0	0,00000
0,10	0,05415
0,20	0,10256
0,30	0,15425
0,40	0,21726
0,50	0,25415



Sampel	Absorban	C out(mg/l)	Berat sampel(gr)	Vol sampel(ml)	Kadar Cd(mg/kg)
Lahan kontrol 0 -20 cm	0,01023	0,01788	5	50	0,179
lahan kontrol 20 -40 cm	0,00876	0,01503	5	50	0,150
Rorak 0 -20 cm	0,07656	0,14601	5	50	1,460
Rorak 20 -40 cm	0,06720	0,12792	5	50	1,279
Antara Rorak dan Tanaman 0 -20 cm	0,04560	0,08620	5	50	0,862
Antara Rorak dan Tanaman 20 -40 cm	0,04100	0,07731	5	50	0,773
Lahan kontrol serabut kelapa sawit	0,00334	0,00321	5	50	0,032
Lahan kontrol inti kelapa sawit	0,00287	0,00187	5	50	0,019
Rorak serabut kelapa sawit	0,00398	0,00380	5	50	0,038
Rorak inti kelapa sawit	0,00311	0,00211	5	50	0,021

b) Logam Pb

Konsentrasi (mg/L)	Absorban
0,0	0,00000
0,1	0,03542
0,2	0,07265
0,3	0,09560
0,4	0,12442
0,5	0,16254



Sampel	Absorban	C (mg/L)	Berat sampel(gr)	Vol (ml)	Kadar Pb(mg/kg)
Lahan kontrol 0 -20 cm	0,01343	0,03306	5	50	0,331
lahan kontrol 20 -40 cm	0,01210	0,02885	5	50	0,288
Rorak 0 -20 cm	0,05425	0,16265	5	50	1,626
Rorak 20 -40 cm	0,05234	0,15658	5	50	1,566
Antara Rorak dan Tanaman 0 -20 cm	0,04887	0,14557	5	50	1,456
Antara Rorak dan Tanaman 20 -40 cm	0,04550	0,13487	5	50	1,349
Lahan kontrol serabut kelapa sawit	0,00563	0,00555	5	50	0,056
Lahan kontrol inti kelapa sawit	0,00435	0,00200	5	50	0,020
Rorak serabut kelapa sawit	0,00378	0,00756	5	50	0,076
Rorak inti kelapa sawit	0,00362	0,00300	5	50	0,030

Lampiran 5. Dokumentasi Selama Penelitian



Lokasi penelitian lahan kontrol



Lokasi penelitian areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak)



Pengambilan sampel tanah di lahan kontrol menggunakan bor tanah



Pengambilan sampel tanah di antara rorak dan tanaman menggunakan bor tanah



Sampel tanah pada kedalaman 0-20 cm



Sampel tanah pada kedalaman 20-40 cm



Sampel tanah di lahan kontrol



Sampel tanah di areal aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit (rorak)



Pengambilan sampel limbah cair di kolam anaerobik



Pengukuran suhu pada limbah cair



Pengukuran pH pada limbah cair



Pengawetan pada limbah cair menggunakan HNO_3 hingga pH turun <2