KAJIAN KANDUNGAN TIMBAL DAN KADMIUM DALAM TANAH, SERABUT, DAN INTI KELAPA SAWIT PADA LAHAN APLIKASI MULSA DAN PUPUK ANORGANIK DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

S K R I P S I

SYIFA DIVANDA WINARKO
M1D119008

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

Syifa Divanda Winarko
M1D119008

Dipindai dengan CamScanner

RINGKASAN

Limbah padat di pabrik kelapa sawit merupakan limbah yang berpotensi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan apabila tidak dimanfaatkan dengan baik. Salah satu limbah padat pabrik kelapa sawit yaitu tandan kosong kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan menjadi mulsa tandan kosong kelapa sawit di lahan kelapa sawit. Lahan kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur menggunakan mulsa dan pupuk anorganik sebagai sumber unsur hara. Mulsa dan pupuk anorganik yang digunakan dapat mengandung logam berat, seperti Pb dan Cd. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kandungan logam Pb dan Cd dalam tanah, serabut, dan inti kelapa sawit. Penelitian ini melakukan pengujian kandungan Pb dan Cd dalam tanah di lokasi penelitian pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm, serabut kelapa sawit, dan inti kelapa sawit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Pb dan Cd kandungan Pb dan Cd tanah pada lahan yang diaplikasi pupuk anorganik lebih besar dibandingkan dengan kandungan Pb dan Cd tanah pada lahan diaplikasi mulsa, dimana pada lahan yang diaplikasi mulsa tingkat pencemaran Pb termasuk kategori sangar sedikit terkontaminasi, sedangkan Cd termasuk kategori cukup tercemar, sedangkan pada lahan pupuk anorganik termasuk tercemar berat. Pada lahan yang diaplikasikan mulsa kandungan Pb dan Cd serabut dan inti kelapa sawit lebih kecil dibandingkan dengan kandungan Pb dan Cd serabut dan inti kelapa sawit pada lahan yang diaplikasi pupuk anorganik.

SUMMARY

Solid waste in palm oil mills is waste that has the potential to have a negative impact on the environment if not used properly. One of the solid wastes from palm oil mills is empty palm fruit bunches which can be used as mulch for empty palm fruit bunches on palm oil fields. PT Bina Mitra Makmur's oil palm fields use mulch and inorganic fertilizer as a source of nutrients. The mulch and inorganic fertilizer used can contain heavy metals, such as Pb and Cd. This research aims to study the metal content of Pb and Cd in the soil, fibers and kernels of palm oil. This research tested the Pb and Cd content in the soil at the research location at depths of 0 – 20 cm and 20 – 40 cm, palm fiber and palm kernel.

The results of the research show that the Pb and Cd content of soil Pb and Cd content on land applied with inorganic fertilizer is greater than the Pb and Cd content of soil on land applied with mulch, where on land applied with mulch the level of Pb contamination is in the very slightly contaminated category, while Cd included in the moderately polluted category, while inorganic fertilizer land was categorized as heavily polluted. On land where mulch was applied, the Pb and Cd content of palm fiber and kernels was smaller than the Pb and Cd content of palm fiber and kernels on land where inorganic fertilizer was applied.

KAJIAN KANDUNGAN TIMBAL DAN KADMIUM DALAM TANAH, SERABUT, DAN INTI KELAPA SAWIT PADA LAHAN APLIKASI MULSA DAN PUPUK ANORGANIK DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

S K R I P S I

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

SYIFA DIVANDA WINARKO

M1D119008

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA, DAN LINGKUNGAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JAMBI

2024

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **KAJIAN KANDUNGAN LOGAM TIMBAL DAN KADMIUM DALAM TANAH, SERABUT, DAN INTI KELAPA SAWIT PADA LAHAN APLIKASI MULSA DAN PUPUK ANORGANIK DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT** yang telah disusun oleh **SYIFA DIVANDA WINARKO, NIM: M1D119008** 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. Ir. Rinaldi, M.Si.
2. Febri Jiuta Anggraini, S.T., M.T.
3. Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T.

Disetujui :

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

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

Diketahui :

Dekan

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

Ketua Jurusan

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

Dipindai dengan CamScanner

RIWAYAT HIDUP

Syifa Divanda Winarko adalah anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Sigit Winarko dan Ibu Minda Lusiana. Penulis dilahirkan di Kota Jambi pada tanggal 7 Agustus 2002. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN 47 Kota Jambi Tahun 2008 selesai pada Tahun 2013, dan pada Tahun sama penulis melanjutkan sekolah menengah pertama (SMP) di SMPN 7 Kota Jambi selesai pada Tahun 2016 dan pada Tahun yang sama melanjutkan Pendidikan di sekolah menengah atas (SMA) di SMAN 5 Kota Jambi dan selesai pada Tahun 2019. Pada Tahun 2019 penulis diterima di perguruan tinggi negeri yaitu Universitas Jambi pada Program Studi Teknik Lingkungan melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi negeri (SNMPTN).

Selama berkuliah di Program Studi Teknik Lingkungan penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Bina Mitra Makmur di Kabupaten Bungo pada 16 Juni 2022 – 16 Agustus 2022 dengan mengambil topik kerja praktik yaitu pengelolaan limbah padat kelapa sawit. Setelah itu penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan mengambil fokus penelitian pada logam berat yang berjudul berjudul **"Kajian Kandungan Timbal dan Kadmium dalam Tanah, Serabut, dan Inti Kelapa Sawit pada Lahan Aplikasi Mulsa dan Pupuk Anorganik di Perkebunan Kelapa Sawit".**

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "Kajian Kandungan Timbal dan Kadmium dalam Tanah, Serabut, dan Inti Kelapa Sawit pada Lahan Aplikasi Mulsa dan Pupuk Anorganik di Perkebunan Kelapa Sawit". Penulis menyadari dalam penyusunan Skripsi ini penulis tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. 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 1 dan Ibu Shally Yanova, S.Si., M.Si., CCSME. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan masukan bagi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.
5. Bapak Ir. Rinaldi, M.Si. selaku Dosen Pembahas 1, Ibu Febri Juita Anggraini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas 2, dan Ibu Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembahas 3 yang telah memberikan masukan dan saran terhadap penulisan Skripsi ini.
6. Seluruh dosen Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan saat perkuliahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skipsi ini.
7. Bapak dan Ibu yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat serta Una dan Cija yang selalu menjadi penghibur bagi penulis.
8. Kepada Manager, Ketua Tata Usaha, *Staff,* dan Karyawan PT Bina Mitra Makmur yang telah memberikan izin dan bantuan untuk melakukan penelitian dan pengambilan sampel.
9. Ilman, Farah, Nassya, Indah, Fina, Faruq, Dimas, Kak Nurul, Daus, dan Fajar yang senantiasa meluangkan waktu dan tenaga dalam pengambilan sampel di lapangan serta memberikan masukan dan semangat untuk penulis selama proses penyusunan Skripsi.
10. Seluruh teman-teman Teknik Lingkungan 2019 yang turut memberikan semangat dan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi.
11. 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. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak sehingga apa yang telah disusun dalam Skripsi 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

SURAT PERNYATAAN i
RINGKASAN ii
SUMMARY iii
PENGESAHAN iv
RIWAYAT HIDUP v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
I. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
II. TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tanah Ultisol 5
2.2 Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit 6
2.3 Pupuk Anorganik 7
2.4 Serabut Kelapa Sawit dan Inti Kelapa Sawit 8
2.5 Logam Berat 8
2.5.1 Karaktertistik Pb 9
2.5.2 Karakteristik Cd 10
2.6 Penelitian Terdahulu 10
III. METODOLOGI PENELITIAN 14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 14
3.2 Diagram Alir Penelitian 15
3.3 Alat dan Bahan 17
3.3.1 Alat 17
3.3.2 Bahan 17
3.4 Teknik Pengumpulan Data 18

3.5 Teknik Pengambilan Sampel..... 18
3.6 Teknik Pengujian Sampel Logam Berat Timbal dan Kadmium..... 20
3.7 Analisis Data..... 21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 22
4.1 Kandungan Logam Berat Timbal dan Kadmium pada Mulsa dan Pupuk Anorganik..... 22
4.2 Kandungan Logam Berat Timbal dan Kadmium pada Tanah..... 24
4.3 Indeks Pencemaran *Contamination/Pollution* (C/P) pada Tanah..... 29
4.4 Kandungan Logam Berat pada Serabut dan Inti Kelapa Sawit..... 31
V. PENUTUP..... 35
5.1 Kesimpulan..... 35
5.2 Saran..... 35
DAFTAR PUSTAKA..... 36
LAMPIRAN..... 40

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Kandungan Unsur Hara pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKSS)..... 6
2. Jenis-Jenis Pupuk Anorganik..... 7
3. Penelitian Terdahulu..... 10
4. Signifikasi Interval Indeks C/P..... 21
5. Kandungan Pb dan Cd pada Mulsa dan Pupuk Anorganik..... 23
6. pH Tanah..... 25
7. Kandungan Pb dan Cd pada Lahan Permukiman, Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik, dan Lahan Pupuk Anorganik..... 25
8. Indeks C/P Logam Pb pada Tanah 29
9. Indeks C/P Logam Cd pada Tanah..... 30
10. Kandungan Pb dan Cd Serabut dan Inti Kelapa Sawit pada Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik, dan Lahan Pupuk Anorganik..... 32

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit 7
2. Peta Lokasi Penelitian 14
3. Lokasi Penelitian 15
4. Diagram Alir Penelitian 16
5. Tata Letak Pengambilan Sampel Komposit 19
6. Tandan Buah Segar (TBS) 20
7. Tanah Ultisol 24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Penggunaan Pupuk Anorganik di Lahan PT Bina Mitra Makmur 40
2. Hasil Pengujian Sampel Tanah pada Logam Berat Pb dan Cd 41
3. Hasil Pengujian pH Tanah..... 42
4. Kurva Kalibrasi Logam Pb dan Cd pada Tanah, Serabut, dan Inti Kelapa Sawit 43
5. Perhitungan Indeks Pencemaran Contamination/Pollution (C/P) Logam Pb dan Cd pada Tanah..... 45
6. Dokumentasi Pengambilan Sampel 48
7. Dokumentasi Pengujian Sampel..... 52

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan tanaman yang menghasilkan minyak nabati. Minyak yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit berupa minyak mentah kelapa sawit seperti *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO). Selain menghasilkan minyak kelapa sawit, pada proses produksi juga menghasilkan limbah baik berupa limbah cair, padat maupun gas (Loekito, 2002). Limbah padat di pabrik kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang, serabut, dan ampas kernel. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah padat kelapa sawit yang banyak dihasilkan dari proses pabrik kelapa sawit dengan presentase 21% dari tandan buah segar (TBS) yang diolah (Bata *et al.*, 2016). Semakin besar minyak kelapa sawit yang dihasilkan maka semakin besar juga jumlah limbah yang dihasilkan terhadap lingkungan (Asria & Alhamid, 2020).

Limbah padat berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Penanganan tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan dapat dilakukan pengolahan dengan cara yang baik dan benar yaitu dengan cara limbah tersebut dilakukan pengolahan menjadi suatu produk yang bernilai ekonomi tinggi dapat mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan (Susilawati & Supijatno, 2015). Salah satu pemanfaatan dalam pengolahan tandan kosong kelapa sawit yaitu digunakan sebagai bahan mulsa. Mulsa merupakan bahan atau material yang sengaja dihamparkan di permukaan tanah atau lahan pertanian (Umboh, 2002). Mulsa berfungsi dalam memperbaiki, meningkatkan, dan mempertahankan lahan secara berkelanjutan (Gultom *et al.*, 2017). Mulsa juga berfungsi sebagai bahan organik bagi lahan kelapa sawit secara tidak langsung. Berdasarkan hasil pra-penelitian yang dilakukan didapatkan kandungan Pb dan Cd pada mulsa tandan kosong kelapa sawit secara berturut turut sebesar 0,165 mg/kg dan 0,1 mg/kg.

Lahan kelapa sawit membutuhkan pupuk anorganik sebagai penambah unsur hara atau nutrisi tanaman. Pupuk anorganik yang digunakan secara intensif dan terus menerus memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, hal ini dikarenakan akan meningkatkan kandungan logam berat dalam tanah (Dewi *et al.*, 2023). Jenis pupuk anorganik seperti pupuk *rock phosphate* yang digunakan berpotensi mengandung logam berat seperti seperti seng (Zn), tembaga (Cu), kadmium (Cd), mangan (Mn) dan timbal (Pb) (Wang *et al.*, 2020). Menurut Mahendra *et al.* (2018) kandungan Pb pada pupuk anorganik yang mengandung unsur hara fosfat sebesar 7 – 225 mg/kg sedangkan kandungan Cd sebesar 30 – 60 mg/kg. Pupuk anorganik yang mengandung unsur hara nitrogen, fosfor, dan

kalium seperti jenis pupuk NPK dan TSP mengandung logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) (Parmiko *et al.*, 2014).

Mulsa tandan kosong kelapa sawit dan pupuk anorganik diaplikasikan di lahan kelapa sawit yang menggunakan tanah sebagai media tanam. Secara alami tanah telah mengandung logam berat seperti Pb dan Cd. Selain itu, kandungan logam berat di lahan kelapa sawit berasal dari mulsa tandan kosong kelapa sawit dan pupuk anorganik. Tanah yang mengandung logam berat akan mengakibatkan menurunnya kemampuan fungsi tanah dan dapat menimbulkan gangguan fungsional terhadap komponen lain di dalam tanah. Pencemaran logam berat dalam tanah secara terus menerus akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan bagi makhluk hidup (Novitasari *et al.*, 2017).

Logam berat dalam tanah yang memberikan dampak negatif seperti Pb, Cd, Hg, dan As (Chibuike & Obiora, 2014). U.S *Environmental Protection Agency* (EPA) 2002 merupakan standar baku mutu kandungan logam berat dalam tanah. Standar baku mutu untuk logam berat Pb dan Cd secara berturut turut sebesar 200 mg/kg dan 0,48 mg/kg. Logam berat dapat terserap dalam tanah juga tanaman (Mahendra *et al.*, 2018). Menurut Dewi *et al.* (2023) pupuk anorganik yang mengandung logam berat dikhawatirkan akan terakumulasi dalam tanah dan terangkut tanaman lewat panen dan masuk ke dalam rantai makanan manusia. Hasil dari lahan kelapa sawit yaitu TBS yang digunakan sebagai bahan baku pada proses minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*/CPO) dan minyak inti kelapa sawit (*Crude Palm Kernel Oil*/CPKO). Bagian dari TBS yang menghasilkan CPO yaitu pada daging buah atau serabut kelapa sawit (*mesocarp*) sedangkan yang menghasilkan CPKO yaitu pada inti buah (*kernel*) (Murgianto *et al.*, 2021).

Tanaman yang tumbuh di atas tanah yang berpotensi tercemar akan mengakumulasikan logam-logam tersebut pada bagian akar, batang, daun, dan buah (Agustina, 2014). Minyak kelapa sawit CPO dan CPKO merupakan bahan baku pada industri lain seperti industri minyak goreng dan margarin (Supraniningsih, 2012). Minyak kelapa sawit mengandung logam berat seperti Fe, Cu, Mn, Pb, Zn, Cd, dan Ni. Akan tetapi, logam berat yang memiliki nilai oksidasi terkuat yaitu Cu sebesar 0,005 ppm dan Fe sebesar 0,03 ppm. Adanya logam berat pada minyak kelapa sawit bahkan pada kandungan rendah akan menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Adeyeye *et al.*, 2022).

PT Bina Mitra Makmur merupakan pabrik kelapa sawit di Kecamatan Bathin II, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi yang mengolah tandan buah segar (TBS) menjadi minyak mentah kelapa sawit. Tandan buah segar (TBS) terbagi menjadi daging buah atau serabut kelapa sawit dan inti kelapa swit dimana diolah menjadi CPO dan CPKO. PT Bina Mitra Makmur memiliki lahan kelapa sawit yang memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit menjadi mulsa dan

menggunakan pupuk anorganik. Lahan tersebut memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit sebagai mulsa sejak tahun 2010 dan jenis pupuk anorganik yang digunakan yaitu pupuk urea, dolomite, MOP, *rock phosphate,* dan HGFB (borat). Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan kajian kandungan timbal dan kadmium dalam tanah, serabut, dan inti kelapa sawit pada lahan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik di perkebunan kelapa sawit.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Lahan kelapa sawit yang memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit menjadi mulsa yang berfungsi sebagai bahan organik pada tanah juga menggunakan pupuk anorganik sehingga berpotensi mengandung logam berat. Berdasarkan kondisi tersebut rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana tingkat cemaran logam Pb dan Cd pada tanah di lahan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik berdasarkan indeks *Contamination/Pollution*?
2. Bagaimana perbedaan kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Lokasi penelitian ini dilakukan di lahan permukiman sebagai lahan kontrol, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik di PT Bina Mitra Makmur.
2. Penelitian ini mengambil sampel tanah di lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik di PT Bina Mitra Makmur.
3. Penelitian ini mengambil bagian dari tandan buah segar (TBS) yaitu serabut dan inti kelapa sawit di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik di PT Bina Mitra Makmur.
4. Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah logam Pb dan Cd.
5. Analisis tingkat pencemaran logam Pb dan Cd pada tanah menggunakan indeks *Contamination/Pollution* (C/P).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis tingkat cemaran logam Pb dan Cd pada tanah di lahan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik berdasarkan indeks *Contamination/Pollution*.
2. Untuk membandingkan kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis, untuk membuka kesempatan bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian lanjutan di masa yang akan datang terutama penelitian terkait kandungan logam berat.
2. Bagi perusahaan, untuk memberikan informasi mengenai kandungan logam berat timbal dan kadmium yang ada pada tanah, serabut, dan inti kelapa sawit.
3. Bagi institusi pemerintah, untuk memberikan informasi dan bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan mengenai standar baku mutu kandungan logam berat minyak mentah kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ultisol

Tanah merupakan benda alami yang terbentuk dari proses batuan-batuan yang tersusun atas lapisan-lapisan. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan dan bercampur dengan sisa-sisa bahan organik dan organisme yang hidup di dalamnya atau di atasnya (Arifin *et al.*, 2018). Tanah terbagi menjadi beberapa lapisan seperti *top soil* dan *sub soil*. *Top soil* yaitu lapisan tanah yang sangat cocok untuk media tumbuh tanaman karena pada lapisan ini banyak mengandung unsur hara yang berasal dari proses dekomposisi dedaunan yang jatuh dan membusuk sehingga pada umumnya *top soil* berwarna hitam (Purnomo *et al.*, 2019). *Sub soil* merupakan lapisan tanah yang terletak di bawah lapisan *top soil* dengan kedalaman 20-40 cm. Lapisan tanah ini umumnya berwarna lebih muda dan terang serta tingkat kesuburan tanahnya relatif rendah karena pada *sub soil* bahan organik telah hilang (Rosniawaty *et al.*, 2020).

Tanah yang digunakan pada bidang pertanian banyak jenisnya salah satunya yaitu tanah ultisol. Tanah ultisol atau tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) merupakan salah satu jenis tanah kurang subur yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian (Andalusia & Arabia, 2016). Ultisol merupakan jenis tanah yang memiliki tingkat kesuburan dan produktivitas yang rendah (Rajmi *et al.,* 2018). Ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki kandungan hara yang rendah dan mengalami peningkatan fraksi liat yang membentuk horizon argilik (Panda *et al.*, 2021). Jenis tanah ini merupakan tanah yang memiliki bahan organik rendah, nutrisi makro rendah dan tanah yang cenderung asam (Syahputra *et al.*, 2015).

Tanah ultisol memiliki karakteristik yang dapat dilihat dari sifat fisik maupun kimia. Ultisol umumnya berwarna kuning kecoklatan hingga merah, dan mrmiliki sifat fisik yang rendah seperti mudah rentan terhadap erosi, mempunyai struktur tanah yang gumpal, tesktur liat, batas horizon nyata, permeabilitas rendah, dan agregat berselaput liat (Panda *et al.*, 2021). Sifat kimia ultisol juga termasuk kategori rendah sehingga dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Ultisol memiliki masalah keasaman tanah (pH 3,10 – 5), C-organik rendah (0,13% - 1,12%), N-total rendah (0.09 – 0.18%), unsur hara makro seperti P, K, Ca dan Mg rendah, kejenuhan Al tinggi yaitu > 60% yang bersifat beracun untuk tanaman, kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) rendah (Syahputra *et al.*, 2015). Tanah ultisol juga mengandung logam berat yaitu logam Fe (38,4 mg/kg), Mn (25,7 mg/kg), Zn (1,03 mg/kg), dan Cu (7,30 mg/kg) (Novpriansyah *et al.*, 2001).

2.2 Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit

Mulsa merupakan bahan atau material organik yang secara sengaja dihamparkan di permukaan tanah atau lahan pertanian (Umboh, 2002). Bahan organik yang biasanya digunakan menjadi mulsa yaitu kulit kayu, jerami, serbuk gergaji maupun tandan kosong kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit digunakan sebagai mulsa karena bahan organik ini merupakan limbah utama yaitu sebesar 23% pada proses pengolahan kelapa sawit (Warsito *et al.*, 2016). Tandan kosong kelapa sawit mempunyai potensi cukup tinggi untuk dimanfaatkan menjadi mulsa karena bersifat organik yang mempunyai kandungan unsur hara. Kandungan unsur hara pada tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Kandungan Unsur Hara pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKSS)

Unsur Hara	% Unsur Hara TKSS
Nitrogen (N)	1,5
Kalium (K)	7,3
Fosfor (P)	0,5
Magnesium (Mg)	0,9
C-organik	42,8

Sumber: Haryanti et al., 2014.

Berdasarkan Tabel 1 kandungan unsur hara tandan kosong kelapa sawit terbesar pada unsur hara C-organik sebesar 42,8%, sedangkan yang paling kecil yaitu fosfor (P) sebesar 0,5%. Menurut Yulina dan Ambarsari (2021) tingginya C-organik dapat memperbaiki sifat fisik tanah untuk membantu perkembangan akar tanaman dan meningkatkan kandungan unsur hara pada tanaman. Pengaplikasian mulsa tandan kosong kelapa sawit pada lahan kelapa sawit berperan untuk melindungi penyerapan air oleh tanah, menjaga suhu, mempertahankan kelembaban, mengungari laju evaporasi, dan mengurangi kecepatan aliran permukaan (Gultom *et al.*, 2017). Mulsa tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.

Gambar 1. Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022.

2.3 Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik merupakan pupuk hasil proses secara kimia, fisika, atau biologis yang berasal dari hasil industri atau pabrik pembuat pupuk. Pemberian pupuk anorganik bertujuan untuk menjaga ketersediaan nutrisi tanaman agar tetap seimbang selama proses pertumbuhan tanaman (Hayati, 2010). Pemberian pupuk anorganik pada tanaman bertujuan untuk mengganti unsur hara yang hilang dan menambah persediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk meningkatkan produksi dan mutu tanaman. Akan tetapi, penggunaan pupuk anorganik diikuti dengan masalah lingkungan seperti kesuburan biologis maupun kondisi fisik tanah serta dampak pada konsumen (Dewanto *et al.*, 2017). Pupuk anorganik digunakan pada Lahan kelapa sawit untuk meningkatkan produksi tanaman (Nengsih, 2015). Jenis-jenis pupuk anorganik yang digunakan pada Lahan kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis-Jenis Pupuk Anorganik

Jenis Pupuk	Unsur Hara	Rumus Kimia	Hara Utama
Urea	Nitrogen (N)	$(NH_2)_2CO$	46% N
MOP	Kalium (K)	KCl	60% K_2O
			45% Cl
Rock Phosphate	Fosfor (P)	$Ca_3(H_2PO_4)_2$	33% P_2O_5
Dolomit	Magnesium (Mg)	$CaMg(CO_3)_2$	22% MgO
			40%CaO
HGF-Borat	Boron (B)	B_2O_3	46% B_2O_3
			20% Na_2O
			0,02% SO_4
TSP	Fosfor (P) dan	$Ca(H_2PO_4)$	44-46% P_2O_5
	Kalsium (Ca)		20% CaO

Sumber: Budiargo et al., 2015.

Menurut Surtinah (2013) unsur hara Nitrogen (N) pada tanaman berperan sebagai perangsang pertumbuhan seperti pada akar, batang, dan daun. Unsur hara Kalium (K) berperan dalam memperkuat tumbuh tanaman agar bunga dan daun tidak mudah gugur. Unsur hara K juga membentuk dinding sel yang kokoh serta mencegah pecah buah dan bentuk buah tidak sempurna. Bagi tanaman, unsur hara Magnesium (Mg) berperan dalam pembentuk warna hijau pada daun (klorofil) membantu translokasi pati dan distributor fosfor didalam tanah.

Jenis pupuk anorganik seperti pupuk *rock phosphate* yang digunakan berpotensi mengandung logam berat seperti seperti seng (Zn), tembaga (Cu), Cd (Cd), mangan (Mn) dan Pb (Pb) (Wang *et al.*, 2020). Pupuk anorganik yang mengandung unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium seperti jenis pupuk NPK dan TSP mengandung logam berat Pb (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) (Parmiko *et al.*, 2014).

2.4 Serabut Kelapa Sawit dan Inti Kelapa Sawit

Serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit merupakan bagian dari tandan buah segar (TBS). Tandan buah segar (TBS) merupakan hasil dari tanaman kelapa sawit yang berisi buah sawit yang melalui proses panen. Tandan buah segar digunakan sebagai bahan baku dalam proses produksi minyak mentah kelapa sawit baik dari daging buah maupun inti sawit (*kernel*). Minyak mentah kelapa sawit memiliki sifat tahan oksidasi dengan tekanan tinggi dan kemampuannya dalam melarutkan bahan kimia yang tidak dapat larut oleh bahan pelarut lainnya sehingga dapat digunakan untuk minyak goreng dan margarin, industri tekstil maupun industri kosmetik (Kemendag, 2013). Menurut Riyanto (2014) buah sawit terdiri dari tiga lapisan yaitu:

1. Eksokarp, yaitu bagian terluar dari buah sawit yang berwarna kemerahan dan memiliki tekstur licin.
2. Mesokarp, yaitu bagian tengah buah yang berupa daging buah dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan *Crude Palm Oil* (CPO).
3. Endoskarp, yaitu cangkang pelindung inti sawit. Inti sawit yaitu endosperm yang dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) karena pada inti sawit memiliki kandungan minyak inti berkualitas tinggi.

2.5 Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami tanah yang memiliki kepadatan spesifik lebih dari 5 g/cm^3 dan dapat mempengaruhi lingkungan serta organisme hidup (Adhani & Husaini, 2017). Logam berat merupakan bahan pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik apabila dalam jumlah besar dan dapat mempengaruhi berbagai aspek baik secara biologi maupun ekologi (Azizah &

Maslahat, 2021). Penyebeb utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya dikarenakan sifatnya yang tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup di lingkungan (Adhani & Husaini, 2017). Unsur yang termasuk dalam logam berat yaitu, arsen (As), tembaga (Cu), merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), nikel (Ni), chromium (Cr), aluminium (Al), besi (Fe), dan seng (Zn). Logam berat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Logam berat esensial, merupakan logam berat yang dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah tertentu dan dapat bersifat racun apabila dikonsumsi secara berlebihan. Unsur yang termasuk logam berat esensial yaitu Cu, dan Zn.
2. Logam berat non esensial, merupakan logam berat yang belum diketahui manfaatnya dan juga bersifat racun. Unsur yang termasuk logam berat non esensial yaitu Pb, Cd, dan Hg (Syaifullah *et al.*, 2018).

Logam berat sebagian besar bersumber dari pertambangan, peleburan logam, limbah domestik yang menggunakan logam serta lahan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam (Lestari & Trihadiningrum, 2019). Pada sektor pertanian, logam berat berasal dari bahan agrokimia seperti pupuk dan pestisida, asap kendaraan bermotor, pupuk organik, buangan limbah dari rumah tangga, industri, dan pertambangan. Hal ini akan berdampak pada keasaman tanah, bahan orgnaik, suhu tanah, tekstur tanah, mineral liat, dan kadar unsur lain. pH berperan sebagai menentukan transformasi logam, dimana penurunan pH dapat meningkatkan ketersediaan logam berat (Kurniasari *et al.*, 2012).

Tanah pertanian yang terkontaminasi oleh logam berat tergantung pada jumlah logam yang ada pada batuan tempat tanah terbentuk, jumlah mineral yang ditambahkan pada tanah sebagai pupuk, dan jumlah deposit logam atau merembes ke dalam tanah (Mulyadi, 2013). Logam berat dalam tanah pada industri pertanian dapat menurunkan produktivitas pertanian, kualitas hasil pertanian serta dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang berasal dari tanah yang telah tercemar logam berat (Syachroni, 2017). Logam berat seperti Pb dan Cd merupakan bahan pencemar tanah yang termasuk dalam bahan anorganik dan cenderung berada di dalam tanah dalam jangka waktu yang lama (Yulius & Afdal, 2014).

2.5.1 Karaktertistik Pb

Logam berat timbal merupakan salah satu logam berat non esensial yang berpotensi beracun apabila berkandungan berlebihan yang dapat mengganggu siklus hara dalam tanah. Pb yang mencemari tanah dapat bersumber dari kegiatan industri pembuatan lempengan baterai, aki, pateri, pembungkus kabel, pigmen, cat anti karat, pelapisan logam, serta penggunaan pupuk fosfat dalam

bidang pertanian (R *et al.*, 2014). Penggunaan pupuk anorganik yang mengandung unsur hara fosfat secara terus menerus akan menyebabkan logam berat sebagai residu pupuk anorganik yang dapat terakumulasi dan akan menyebabkan pencemaran dalam lahan pertanian tersebut (Dewi *et al.*, 2022).

2.5.2 Karakteristik Cd

Loga berat kadmium merupakan logam berat yang termasuk kedalam kategori logam yang tidak memiliki fungsi hayati dan bersifat sangat toksik bagi tumbuhan dan hewan (Sustawan *et al.*, 2016). Cd telah ada dalam tanah akibat dari proses pembentukan tanah dari mineral yang mengandung logam Cd. Kandungan Cd yang tidak terpolusi dalam tanah umumnya berkisar 0,001 mg/kg hingga 0,2 mg/kg (Bradl, 2005). Logam Cd (Cd) pada tanah umumnya berasal dari aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk anorganik berbahan dasar batuan fosfat, kandungan logam berat Cd pada pupuk ini berkisar 30-60 mg/kg. Kandungan Cd pada tanah pertanian berpotensi terjadinya penyerapan logam berat ini pada jaringan tanaman akan tinggi apabila pH tanah terjadinya penurunan (Syachroni, 2017).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai Kajian Kandungan Timbal dan Kadmium dalam Tanah, Serabut, dan Inti Kelapa Sawit pada Lahan Aplikasi Mulsa dan Pupuk Anorganik di Perkebunan Kelapa Sawit didasarkan pada penelitian terdahulu. Adapun penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Hasrul Abdi Hasibuan dan Eka Nuryanto, (2011).	Kajian Kandungan P, Fe, Cu, dan Ni pada Minyak Sawit, Minyak Inti Sawit, dan Minyak Kelapa selama Proses Rafinasi	Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk menentukan kandungan logam berat dan dilakukan proses rafinasi yaitu *degumming, bleaching,* dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketiga jenis minyak tidak mengandung Ni tetapi terdeteksi P, Fe, dan Cu. Kandungan P, Fe, dan Cu pada CPO yaitu 11,26-15,38 ppm; 2,947-4,927 ppm; 0,0419-0,0627 ppm. Kandungan P, Fe, dan Cu pada CPKO yaitu h 1,271-

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			deodorasi,	1,342 ppm; 0,802-1,402 ppm; 0,0167-0,0201 ppm dan kadar P, Fe dan Cu pada CCNO adalah 26,42-31,38 ppm; 0,825-1,314 ppm; 0,019-0,03 ppm. Minyak sawit, minyak inti sawit, dan minyak kelapa mengalami penurunan setelah dilakukannya proses rafinasi. Kandungan P, Fe dan Cu pada ketiga produk terafinasi masing-masing adalah: 0,35-0,89 ppm; 0,0157-0,0973 ppm; 0,0200-0,047 ppm pada CPO, 0,487-0,719 ppm; 0,0147-0,0842 ppm; 0,0084-0,015 ppm pada CPKO dan 0,447-0,612 ppm; 0,0213-0,0324 ppm; 0,064-0,015 ppm pada CCNO.
2.	Ardiansyah Hamid, Sofyan Husein Siregar, dan Sofia Anita, (2020).	Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Tanah Lahan dan Tanaman Jambu Biji (*Psidium guajava*) di Desa Perawang Barat Kabupaten Siak	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *purposive sampling*. Data yang dibutuhkan yaitu data yang didapatkan dari pengukuran langsung. Pada	Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa logam Pb dan Cd banyak terdapat pada tanah Lahan jambu biji dibandingkan akar, batang, dan daun tanaman jambu biji. Berdasarkan nilai

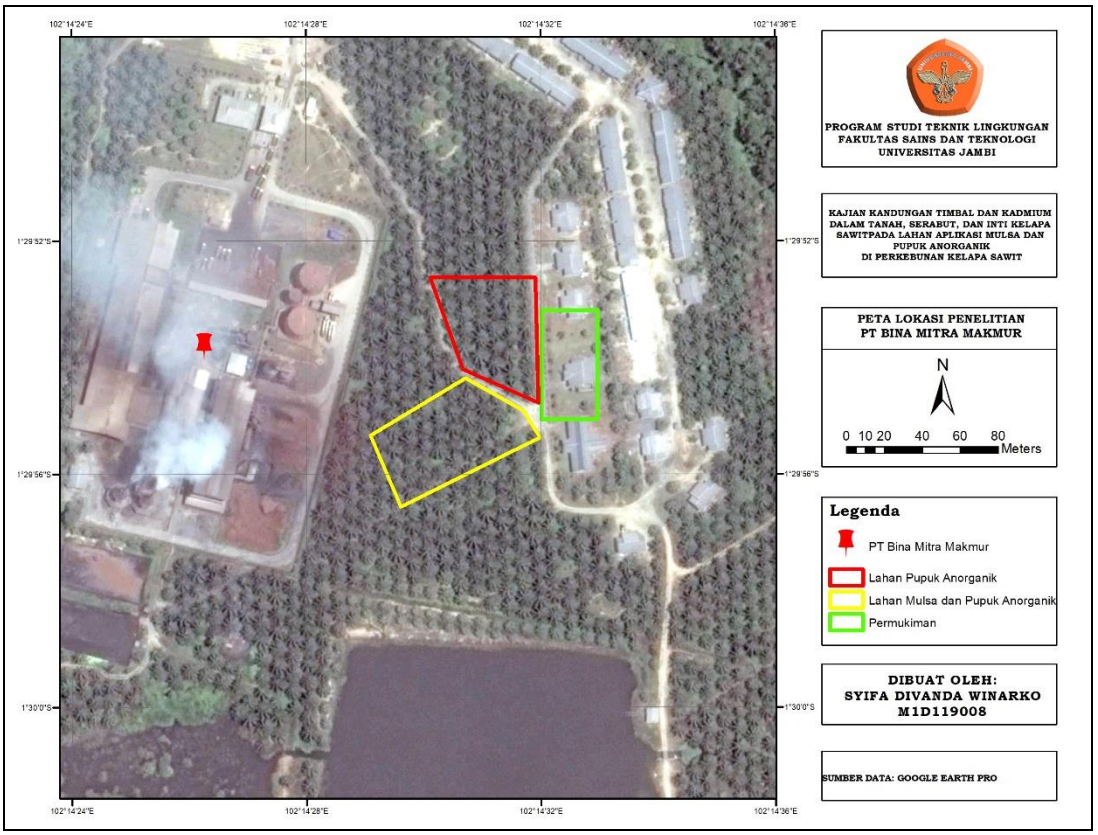
No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			penelitian ini menganalisis hubungan Pb dan Cd pada tanah, akar, dahan, dan daun jambu biji serta tingkat cemaran logam Pb dan Cd pada tanah.	indeks C/P logam Pb dan Cd sampel tanah Lahan jambu biji, menunjukkan bahwa tanah Lahan jambu biji termasuk kategori terkontaminasi.
3.	Hindarwati Yulis, Tri Retnaningsi Soeprobowati, Munifatul Izzati, dan Hadiyanto, (2023)	Kontaminan Logam (Pb, Cd, dan Cu) pada Tanah dari Pemupukan Berbasis Jerani Padi)	Penelitian ini menganalisis kandungan logam Pb, Cd, dan Cu dalam tanah yang menggunakan tidak menggunakan perlakuan, yang menggunakan perlakuan dengan penambahan jerami segar, jerami lapuk, kompos jerami pupuk NPK, dan pupuk kendang dengan 3 kali pengulangan.	Hasil analisis pada penelitian ini menunjukkan kandungan logam Pb dan Cd pada tanah setelah pemupukan organik tertinggi pada lahan yang melakukan pupuk jerami lapuk yaitu 33,27 ppm dan 2,42 ppm. Pada logam Cu tertinggi pada lahan yang diberikan pupuk kompos jerami sebesar 52,75 ppm. Sedangkan pada tanah setelah pemupukan organik dan anorganik tertinggi pada logam Pb terdapat di lahan yang diberikan pupuk NPK+jerami lapuk sebesar 30,93 ppm, pada logam Cd terdapat di lahan yang diberikan pupuk NPK+pupuk kendang sebesar 2,46 ppm, dan

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				logam Cu tertinggi pada lahan yang diberikan pupuk NPK+jerami lapuk sebesar 49,36 ppm.
4	Burhan Ma'arif, Roihatul Muti'ah, Arief Suryadinata, Ach. Nashichuddin, dan Galih Elsy Karawid, (2020).	Kandungan Logam Berat Cd, Hg, dan Pb di dalam Daun Semanggi (*Marsilea crenata* Presl.) dari Desa Semen, Kecamatan Pagu, Kabupaten Kediri	Pada penelitian ini sampel yang digunakan yaitu daun semanggi yang tidak menguning dan sampel tanah yang berada di Desa Semen, Kecamatan Pagu, Kabupaten Kediri. Analisis data menggunakan AAS lalu dihitung kadar logam berat Cd, Hg, dan Pb terhadap sampel awal. Hasil kadar logam berat dibandingkan dengan Perka BPOM No. 12 tahun 2014.	Hasil penelitian menunjukkan kadar logam Cd sebesar 1,20 ppm, logam Hg tidak ditemukan pada sampel, dan logam Pb sebesar 0,73 ppm. Pada sampel daun semanggi ditemukan logam Cd sebesar 4,16 ppm, sedangkan logam Hg dan Pb tidak ditemukan pada sampel. Berdasarkan Perka BPOM No. 12 tahun 2014, kandungan Cd tidak memenuhi standar dikarenakan melewati batas minimum Cd sebesar ≤ 0,3 ppm.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur, yang terletak Kecamatan Bathin II, Kabupaten Bungo, Jambi. Waktu penelitian dilaksanakan pada 31 Juli 2023. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Arcgis, 2023.

Terdapat dua lokasi lahan PT Bina Mitra Makmur yaitu lahan yang berjarak kurang lebih 100 km dari pabrik kelapa sawit dan lahan yang disekitar pabrik kelapa sawit. Penelitian dilakukan di lahan mulsa dan pupuk anorganik dan lahan pupuk anorganik yang berada disekitar pabrik kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur. Luas lokasi pengambilan sampel di lahan mulsa dan pupuk anorganik yaitu 1 Ha sedangkan untuk lahan pupuk anorganik seluas 3 Ha. Pengambilan sampel dilakukan di lahan permukiman sebagai lahan kontrol, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan yang menggunakan pupuk anorganik yang dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.

(a)

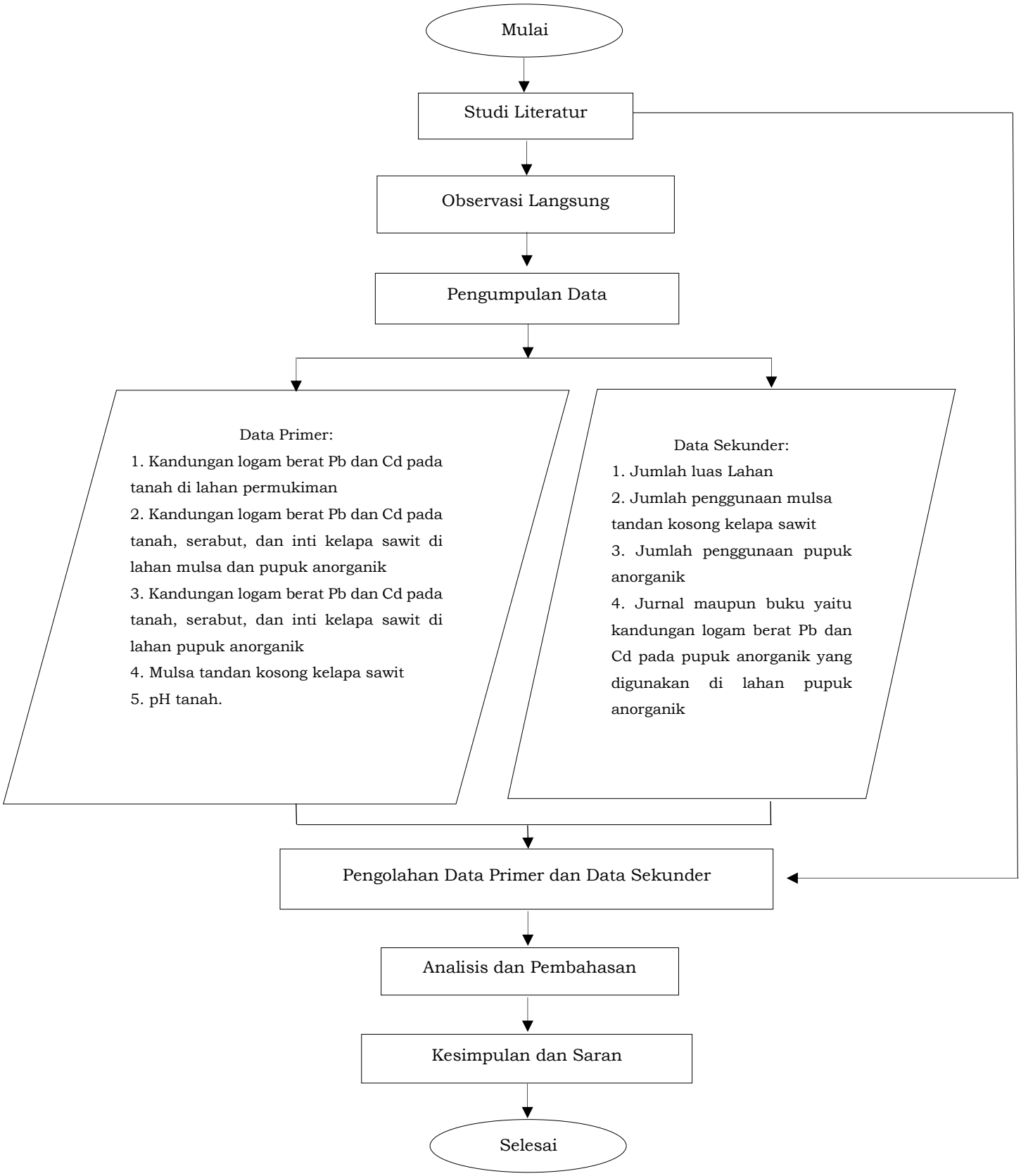
(b)

(c)

Gambar 3. Lokasi Penelitian
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.
Keterangan: (a) Permukiman, (b) Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik, dan (c) Lahan Anorganik

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian disusun sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian. Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengambil data primer di PT Bina Mitra Makmur dan data sekunder diambil dari informasi yang didapatkan dari PT Bina Mitra Makmur. Diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan pada saat pengambilan sampel maupun pengujian sampel. Alat dan bahan yang dibutuhkan pada saat penelitian dapat dilihat sebagai berikut ini.

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bor tanah
2. Meteran
3. Plastik *ziplock*
4. Kertas label
5. Timbangan
6. Sekop
7. Ember
8. Kamera
9. Alat tulis
10. Erlenmeyer 250 ml
11. Gelas *beaker* 100 ml
12. Kaca arloji
13. Labu ukur 50 ml
14. Labu ukur 10 ml
15. *Hotplate*
16. Spatula
17. Gelas ukur 10 ml
18. Botol sampel
19. Corong
20. Statif
21. Oven
22. Kertas saring
23. *Atomic absorption spectrophotometers* (AAS)

3.3.2 Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel tanah di lahan permukiman
2. Sampel tanah di lahan mulsa dan pupuk anorganik
3. Sampel tanah di lahan pupuk anorganik
4. Sampel serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di lahan mulsa dan pupuk anorganik
5. Sampel serabut kelapa sawit dan inti kelapa sawit di lahan pupuk anorganik

6. HNO_3
7. Larutan induk logam 1000 mg/L
8. Aqudes
9. H_2O_2

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu sebagai beirkut:

1. Data Primer

   Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu:

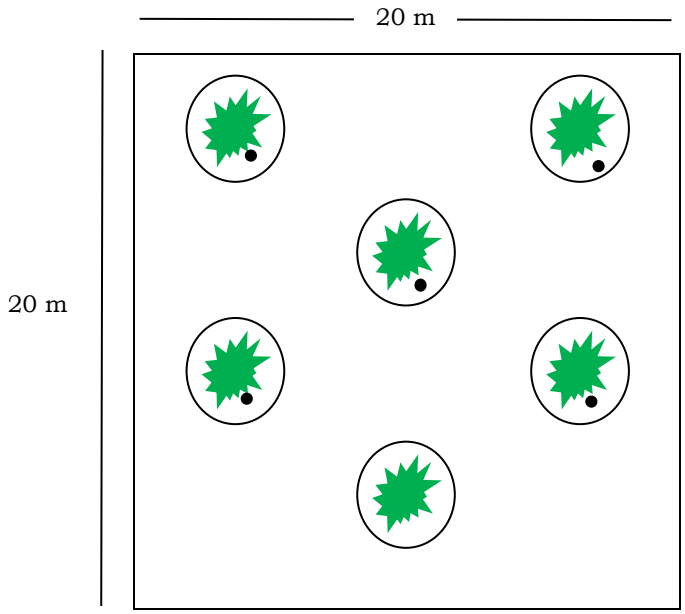
   1. Kandungan Pb dan Cd pada tanah di lahan permukiman
   2. Kandungan Pb dan Cd pada tanah, serabut, dan inti kelapa sawit di lahan mulsa dan pupuk anorganik
   3. Kandungan Pb dan Cd pada tanah, serabut, dan inti kelapa sawit di lahan pupuk anorganik
   4. mulsa tandan kosong kelapa sawit
   5. pH tanah.

2. Data Sekunder

   Data sekunder pada penelitian ini dikumpulkan dari jurnal, buku, serta dokumen-dokumen yang berkaitan dengan penelitian bersumber dari pabrik kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur. Data yang diperlukan adalah jumlah luas Lahan, jumlah penggunaan mulsa, serta jumlah penggunaan pupuk anorganik. Selain itu data sekunder yang dikumpulkan dari jurnal maupun buku yaitu kandungan Pb dan Cd pada pupuk anorganik yang digunakan di lahan pupuk anorganik.

3.5 Teknik Pengambilan Sampel

Sampel tanah, serabut, dan inti kelapa sawit yang diambil berada di lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik PT Bina Mitra Makmur. Ilustrasi titik pengambilan sampel komposit disetiap lahan dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Tata Letak Pengambilan Sampel Komposit

Keterangan:

= Tanaman kelapa sawit

= Titik sampel tanah

Adapun langkah – langkah pengambilan sampel tanah di lahan permukiman, lahan mulsa tandan kosong kelapa sawit dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik pada penelitian ini yaitu:

1. Ukur lokasi pengambilan sampel sebesar 20 m x 20 m.
2. Beri tanda pada titik pengambilan sampel tanah.
3. Setelah itu, bor tanah untuk mengambil sampel tanah di titik sampel kedalaman 0 - 20 cm.
4. Sampel tanah yang telah di bor di masukkan ke dalam ember.
5. Kemudian bor kembali titik sampel hingga di kedalaman 20 - 40 cm.
6. Masukkan sampel tanah pada kedalaman 20 – 40 cm ke dalam ember yang berbeda.
7. Lakukan pengeboran tanah hingga di titik kelima dan masukkan ke dalam ember sesuai kedalaman.
8. Kemudian tanah kedalaman 0 – 20 cm pada titik pertama hingga kelima dikompositkan, begitu pula sampel tanah kedalaman 20 – 40 cm.
9. Masukkan sampel tanah yang telah dikompositkan menggunakan sekop ke dalam plastik *ziplock* sebanyak 1000 gram.

Pengambilan sampel tandan buah segar (TBS) dilakukan dengan cara mengambil TBS pada 5 titik yang sama dengan titik pengambilan sampel tanah yang telah ditentukan dan dikompositkan TBS tersebut baik di lahan mulsa dan pupuk anorganik maupun di lahan pupuk anorganik. Tandan buah segar (TBS) di Lahan PT Bina Mitra Makmur dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.

Gambar 6. Tandan Buah Segar (TBS)
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

3.6 Teknik Pengujian Sampel Logam Berat Timbal dan Kadmium

Penelitian ini melakukan pengujian logam berat pada sampel yang akan dianalisis dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Andalas. Kandungan logam berat Pb dan Cd pada sampel tanah, serabut, dan inti kelapa. Sebelum dilakukan pengujian sampel, dilakukan terlebih dahulu persiapan sampel. Hal ini dikarenakan untuk menganalisis logam menggunakan AAS sampel yang akan diuji harus berupa larutan. Langkah-langkah dalam persiapan dan pengujian sampel tanah, serabut maupun inti kelapa sawit dapat dilihat sebagai berikut.

1. Timbang ± 5 gram sampel ke dalam erlenmeyer.
2. Tambahkan HNO_3 pekat sebanyak 5 ml dan 1 ml asam perklorat, lalu diamkan satu malam agar reaksi sempurna.
3. Setelah satu malam, panaskan larutan diatas *hotplate* pada suhu 100℃ sampai dengan 180℃ selama 4 jam atau sampai uap kuning pada larutan habis dan didinginkan.
4. Tambahkan 3 ml H_2O_2 dan panaskan kembali sekitar 15 menit, setelah itu dinginkan.
5. Kemudian saring dan larutkan di labu ukur sampai dengan 50 ml.
6. Sampel siap untuk diuji menggunakan AAS.

3.7 Analisis Data

Pada penelitian ini melakukan analisis data pada logam Pb dan Cd pada tanah dengan menggunakan indeks pencemaran *contamination/pollution* (C/P) untuk melihat tingkat pencemaran yang menunjukkan tingkat kontaminasi logam berat pada tanah dapat dilihat pada Tabel 4. Penentuan tingkat cemaran logam berat pada tanah di lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat menggunakan rumus Lacatusu (1998) sebagai berikut.

Indeks C/P = $\frac{Konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ tanah}{Nilai\ ambang\ batas\ logam\ berat\ tanah}$ ..... Persamaan 1

Tabel 4. Signifikasi Interval Indeks C/P

Indeks C/P	Tingkat C/P
< 0,1	Sangat sedikit terkontaminasi
0,1 – 0,25	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 Kandungan Logam Berat Timbal dan Kadmium pada Mulsa dan Pupuk Anorganik

Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan pada pabrik kelapa PT Bina Mitra Makmur. Pada pabrik kelapa sawit tersebut, tandan kosong kelapa sawit dimanfaatkan menjadi mulsa tandan kosong kelapa sawit di lahan perkebunan. Mulsa merupakan material organik yang secara sengaja dihamparkan di permukaan tanah atau lahan pertanian. Mulsa tandan kosong kelapa sawit di lahan pertanian berfungsi sebagai bahan penyubur tanah karena sifat kimia dan fisiknya yang mampu memperbaiki kondisi tanah serta seiring berjalannya waktu akan terdekomposisi dan memberikan nutrisi pada tanah. Akan tetapi, mulsa memiliki kelemahan yaitu tidak mudah dilapukkan dan dapat mengalami dekomposisi yang lambat (Putri *et al.*, 2023). Tandan kosong kelapa sawit yang digunakan menjadi mulsa di lahan mulsa dan pupuk anorganik di perkebunan PT Bina Mitra Makmur diaplikasikan terakhir pada bulan Oktober 2022. Mulsa di lahan mulsa dan pupuk anorganik di perkebunan PT Bina Mitra Makmur dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.

Gambar 7. Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

Mulsa yang mengalami dekomposisi yang lambat menyebabkan lahan pertanian yang mengaplikasikan mulsa juga membutuhkan pupuk anorganik sebagai tambahan unsur hara pada tanah. Pupuk anorganik memiliki fungsi sebagai penyedia hara dalam waktu yang reltif cepat, kandungan jumlah nutrisi lebih banyak, serta praktis dan mudah diaplikasikan. Jenis pupuk anorganik yang digunakan pada lahan pertanian PT Bina Mitra Makmur yaitu pupuk urea, pupuk *rock phosphate,* pupuk dolomite, pupuk HGFB (*High Grade Fertilizer Borate*), dan pupuk MOP (*Muriate of Potash*). Akan tetapi, pupuk yang

diaplikasikan dari bulan januari hingga juli 2023 yaitu pupuk urea, pupuk dolomite, dan pupuk MOP. Dosis penggunaan pupuk tersebut di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat dilihat pada Lampiran 1. Jenis unsur hara yang ada pada mulsa dan pupuk anorganik yaitu nitrogen, kalium, fosfor, dan magnesium. Selain mengandung unsur hara yang baik untuk tanah dan pertumbuhan tanaman, mulsa dan pupuk anorganik mengandung logam berat seperti Pb dan Cd. Pengaplikasian mulsa dan pupuk anorganik yang berlebihan akan memberikan dampak negatif di lahan pertanian yaitu terakumulasinya kandungan logam Pb dan Cd terhadap tanah. Kandungan logam Pb dan Cd pada jenis pupuk yang digunakan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Kandungan Pb dan Cd pada Mulsa dan Pupuk Anorganik

No.	Jenis Pupuk	Parameter	
		Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1.	Pupuk Urea	< 0,4*	< 0,01*
2.	Pupuk MOP	< 0,4*	0,4 – 0,6*
3.	Pupuk *Rock Phosphate*	7 – 225**	30 – 60**
4.	Pupuk Dolomite	-	0,04***
5.	Pupuk HGFB	-	-
6.	Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit	0,165	0,1

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.
Keterangan: - tidak ada data.
* Robarge *et al.*, 2003.
** Mahendra *et al.*, 2018.
*** Alhadi, 2022.

Berdasarkan Tabel 5, nilai kandungan Pb dan Cd tertinggi pada jenis pupuk anorganik yaitu pupuk *rock phosphate* sebesar 7 – 225 mg/kg dan 30 – 60 mg/kg. Nilai kandungan mulsa tandan kosong kelapa sawit pada Pb dan Cd secara berturut-turut yaitu 0,165 mg/kg dan 0,1 mg/kg. Mulsa mengandung logam Pb dan Cd diduga berasal dari logam berat tersebut yang terserap dalam tandan buah segar (TBS) di tanah perkebunan kelapa sawit. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Hindarwati *et al.* (2023), yang menyatakan bahwa kompos jerami dan jerami segar mengandung logam Pb dan Cd dari logam yang terserap dalam jerami dari tanah dan penggunaan beberapa jenis pupuk pada lahan pertanian.

4.2 Kandungan Logam Berat Timbal dan Kadmium pada Tanah

Jenis tanah pada perkebunan kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur yaitu tanah ultisol. Tanah ultisol merupakan jenis tanah yang memiliki tingkat kesuburan dan produktivitas yang rendah (Rajmi *et al.,* 2018). Jenis tanah ini merupakan tanah yang memiliki bahan organik rendah, nutrisi makro rendah dan tanah yang cenderung asam (Syahputra *et al.*, 2015). Sehingga perlu dilakukan penambahan unsur hara utama seperti nitrogen, kalium, fosfor, dan magnesium yang berasal dari bahan organik maupun pupuk anorganik. Bahan organik yang digunakan yaitu mulsa tandan kosong kelapa sawit. Tanah ultisol pada perkebunan kelapa sawit PT Bina Mitra Makmur dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.

Gambar 8. Tanah Ultisol
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

Lahan kelapa sawit di PT Bina Mitra Makmur mengaplikasikan pupuk organik yaitu mulsa tandan kosong kelapa sawit maupun pupuk anorganik yaitu pupuk kimia. Pengaplikasian pupuk kimia maupun organik ke tanah pertanian dapat menambah unsur hara makro pada tanah ultisol, akan tetapi pemberian pupuk tersebut dalam jangka panjang menyebabkan kontaminasi tanah melalui logam berat. Kontaminasi tanah ini terjadi tergantung pada kandungan bahan pupuk, lokasi, maupun sumber pupuk (Salem *et al.*, 2020). Lahan kelapa sawit yang berlangsung selama bertahun-tahun diberi pupuk organik maupun anorganik tentu mengandung residu yang mengakumulasi logam berat di dalam tanah tersebut. Pada penelitian ini dilakukan uji kandungan Pb dan Cd serta pH tanah pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, serta lahan pupuk anorganik di Laboratorium Air Universitas Andalas. Dilakukan juga pengukuran pH tanah karena pH tanah merupakan salah satu dari sifat kimia tanah dan logam Pb dan Cd sangat erat kaitannya dengan pH tanah. Nilai pH tanah pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. pH Tanah

Kedalaman (cm)	Lahan		
	Permukiman	Mulsa dan Pupuk Anorganik	Pupuk Anorganik
0 – 20	6,72	6,32	6,52
20 – 40	6,54	6,21	6,45

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan Tabel 6, pH tanah pada lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm yaitu 6,72 dan kedalaman 20 – 40 cm 6,54. Pada lahan mulsa dan pupuk anorganik nilai pH tanah kedalaman 0 – 20 cm yaitu 6,32 sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm 6,21. Sedangkan pH tanah pada lahan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm secara berturut-turut yaitu 6,52 dan 6,45. Nilai pH tanah pada lahan permukiman lebih tinggi dibandingkan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan pupuk anorganik. Menurut Khasanah *et al.* (2021) pH tanah dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan kimia tanah yang dapat mencerminkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Nilai pH optimum sekitar 6,7 hingga 6,8 untuk ketersediaan hara dalam tanah.

Proses peresapan dari logam berat yang terjadi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah, karaktertistik tanah, pH tanah, suhu tanah, kemampuan pertukaran ion tanah, dan ukuran partikel tanah (Mulyadi, 2013). Menurut Khasanah *et al.* (2021) kandungan logam berat pada tanah akan menyebabkan penurunan pH tanah sehingga membuat tanah menjadi asam. Artinya semakin tinggi kandungan logam berat maka terjadinya penurunan pH tanah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian, kandungan Pb dan Cd pada lahan permukiman lebih rendah dibandingkan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik. Nilai kandungan Pb dan Cd pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Kandungan Pb dan Cd pada Lahan Permukiman, Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik, dan Lahan Pupuk Anorganik

No	Parameter	Kedalaman (cm)	Lahan			Nilai Baku Mutu Maksimum (mg/kg)*
			Permukiman (mg/kg)	Mulsa dan Pupuk Anorganik (mg/kg)	Pupuk Anorganik (mg/kg)	
1.	Pb	0 – 20	0,85	1,626	2,528	200
		20 – 40	0,712	1,182	2,468	
2.	Cd	0 – 20	0,665	1,454	2,930	0,48
		20 – 40	0,608	1,381	2,880	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.
Keterangan: * US *Envorinmental Protection Agency* (EPA) 2002.

Berdasarkan Tabel 7, nilai kandungan Pb pada kedalaman 0 – 20 cm di lahan permukiman yaitu 0,85 mg/kg sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm sebesar 0,712 mg/kg. Pada lahan mulsa dan pupuk anorganik kandungan Pb pada kedalaman 0 – 20 cm sebesar 1,626 mg/kg dan pada kedalaman 20 – 40 cm yaitu 1,182 mg/kg. Kandungan Pb di lahan pupuk anorganik pada kedalaman 0 – 20 cm yaitu 2,528 mg/kg sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm sebesar 2,468 mg/kg. Berdasarkan standar baku mutu logam Pb pada tanah menurut US EPA 2002 pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik tidak melebihi standar baku mutu.

Nilai kandungan Cd pada lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm yaitu 0,665 mg/kg sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm yaitu 0,608 mg/kg. Pada lahan mulsa dan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm nilai kandungan Cd yaitu sebesar 1,454 mg/kg sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm yaitu 1,381 mg/kg. Kandungan Cd pada lahan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm sebesar 2,930 mg/kg sedangkan pada kedalaman 20 – 40 cm yaitu 2,880 mg/kg. Berdasarkan standar baku mutu logam Cd pada tanah menurut US EPA 2002 pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik melebihi standar baku mutu.

Nilai kandungan Pb dan Cd pada tanah kedalaman 0 – 20 cm lebih tinggi dibandingkan kedalaman 20 – 40 cm pada ketiga lahan tersebut. Hal ini bisa terjadi dikarenakan pada kedalaman 20 – 40 cm telah tercampurnya aliran air hujan yang masuk ke dalam tanah sehingga logam berat yang ada telah terakumulasi dengan air hujan. Menurut Mulyadi (2013) tanah memiliki peran yaitu salah satunya mengangkut bahan-bahan pencemar dengan cara peresapan (*absorption*), pengaliran (*flow on*), dan pelumeran (*leaching*). Sehingga pengaliran air hujan menjadi salah satu alasan pada kedalaman 0 – 20 cm nilai kandungan Pb dan Cd lebih tinggi dibandingkan pada kedalaman 20 – 40 cm.

Lahan permukiman mengandung logam Pb dan Cd disebabkan karena secara alami logam tersebut telah ada pada tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Mujahid & Subositi (2020), menyatakan bahwa Pb dan Cd merupakan logam tersebut secara alami dapat ditemukan dalam kerak bumi. Namun demikian, kandungan Pb dan Cd pada permukiman lebih rendah dibandingkan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dikarenakan pada lahan permukiman tidak mengaplikasikan mulsa dan pupuk anorganik. Kandungan Pb dan Cd pada lahan yang mengaplikasian mulsa dan pupuk anorganik dipengaruhi oleh kandungan Pb dan Cd yang ada pada mulsa dan pupuk anorganik. Sehingga Pb dan Cd pada mulsa dan pupuk anorganik

akan terakumulasi pada permukaan tanah secara langsung.

Kandungan Pb pada tanah umumnya ditemukan pada lapisan atas tanah (Winarmadani, 2019). Selain itu, pada kedalaman 0 – 20 cm di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik lebih tinggi dibandingkan kedalaman 20 – 40 cm karena pengaplikasian mulsa dan pupuk anorganik di lahan tersebut dilakukan di permukaan tanah. Pada lahan mulsa dan pupuk anorganik terdapat kandungan Pb dan Cd dikarenakan pupuk dari sisa tanaman yang berpotensi sedikit mengandung logam berat. Penggunaan pupuk mulsa tandan kosong kelapa sawit pada lahan mempengaruhi kandungan Pb dan Cd pada tanah.

Kegiatan pertanian yang dilakukan di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik merupakan salah satu sumber adanya kandungan Pb dan Cd pada tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Patty *et al.* (2018) sumber Pb dan Cd berdasarkan kegiatan antropogenik yaitu kegiatan pertanian menggunakan pupuk anorganik yang mengandung logam tersebut. Pada lahan pengaplikasian tandan kosong kelapa sawit menjadi mulsa telah berlangsung sejak tahun 2010 sehingga seiring berjalannya waktu proses melapuknya tandan kosong kelapa sawit yang lama di lahan maka kontaminan dari lingkungan semakin akumulatif. Kondisi lahan mulsa dan pupuk anorganik sejak tahun 2010 dapat dilihat pada Gambar 9. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Hindarwati *et al.* (2023) hasil analisa menunjukkan terjadinya peningkatan Cd dalam tanah karena terakumulasinya dari penggunaan pestisida, pupuk anorganik, dan kompos jerami selama berbudidaya. Umur tanam tanaman kelapa sawit di lahan pupuk anorganik yaitu 17 tahun sehingga tanah pada lahan tersebut mengandung banyak residu yang menyebabkan akumulasi logam Pb dan Cd di dalam tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hamid *et al.* (2020), hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah di perkebunan jambu biji yang telah ditanam selama 15 tahun dengan menggunakan pupuk anorganik mengandung logam Pb sebesar 7,71 ppm. Kandungan Pb pada tanah berasal dari Pb alami dari tanah, penggunaan pupuk dan pestisida dalam jangka waktu lama dan kontiniu, serta dari partikulat.

Gambar 9. Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik Sejak Tahun 2010
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023.

Kandungan Pb dan Cd pada lahan pupuk anorganik lebih tinggi dibandingkan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik. Hal ini dikarenakan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik adanya penggunaan bahan organik yaitu tandan kosong kelapa sawit menjadi mulsa. Hal ini sejalan dengan penelitian Hindarwati *et al*. (2023), menyatakan bahwa penggunaan bahan organik pada tanah dapat menetralisir unsur-unsur logam pada lahan pertanian. Bahan organik yang digunakan pada lahan pertanian dapat mengurangi pengaruh buruk dari logam Pb dan Cd dengan cara bahan organik dapat membentuk senyawa kompleks sehingga dapat mengurangi sifat racun dari logam Pb dan Cd pada tanah (Hayati, 2010). Selain itu, pada lahan pupuk anorganik mengaplikasikan pupuk anorganik yang mengandung unsur hara kalium, magnesium, dan fosfat yang berpotensi meningkatkan kandungan Cd pada tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hamid *et al.* (2020), perawatan tanaman jambu biji menggunakan pupuk fosfat dan kalium yaitu pupuk TSP dan KCl secara kontiniu dalam jangka waktu yang lama. Penggunaan pupuk secara jangka waktu yang lama tersebut, menjadi salah satu sumber logam Cd pada tanah perkebunan jambu biji. Pupuk yang digunakan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik maupun lahan pupuk anorganik mengandung unsur hara fosfat seperti pupuk *rock phosphate*. Menurut Wangge *et al.* (2022) penggunaan pupuk anorganik yang mengandung unsur fosfat dapat meningkatkan Cd pada tanah. Hal ini yang menyebabkan kandungan Cd pada lahan yang mengaplikasikan pupuk anorganik lebih tinggi dibanding kandungan Pb.

4.3 Indeks Pencemaran *Contamination/Pollution* (C/P) pada Tanah

Lahan dapat dinyatakan tercemar atau tidak tercemar tergantung pada tingkat pencemaran logam berat. Tingkat pencemaran logam berat ditentukan oleh kandungan logam berat yang ada di dalam tanah. Pencemaran logam berat dalam berdasarkan nilai indeks *Contamination/ Pollution* (C/P). Menurut Hamid *et al.* (2020), logam Pb dan Cd pada sampel tanah berbanding lurus dengan indeks C/P artinya semakin tinggi logam Pb dan Cd pada sampel tanah, maka semakin tinggi pula indeks C/P pada sampel tersebut. Sebaliknya, semakin rendah logam Pb dan Cd dalam sampel tanah, maka indeks C/P pada sampel tanah semakin rendah. Tingkat pencemaran logam Pb pada tanah di lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Indeks C/P Logam Pb pada Tanah

Lahan	Kedalaman (cm)	Kandungan (mg/kg)	Baku Mutu	Indeks C/P	Tingkat C/P
Permukiman	0-20	0,85	200	0,00425	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	0,712		0,00356	
Mulsa dan Pupuk Anorganik	0-20	1,626		0,00813	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	1,182		0,00591	
Pupuk Anorganik	0-20	2,528		0,01264	Sangat sedikit terkontaminasi
	20-40	2,468		0,01234	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan Tabel 8 tingkat C/P logam Pb pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik di kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm termasuk kategori sangat sedikit terkontaminasi logam berat dikarenakan nilai indeks C/P pada lahan tersebut berada < 0,1. Kandungan Pb pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik termasuk kategori sangat sedikit terkontaminasi dikarenakan standar baku mutu logam Pb menurut US EPA 2002 yaitu 200 mg/kg dan kandungan Pb pada lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik tidak melebihi standar baku mutu. Nilai indeks C/P logam Pb pada tanah didapatkan dari diketahuinya nilai kandungan logam Pb pada tanah dan nilai baku mutu logam Pb pada tanah menurut US EPA 2002 yaitu 200 mg/kg. Perhitungan nilai indeks C/P logam Pb pada tanah di lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$\text{Indeks C/P} = \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$$

$$= \frac{0{,}85\ mg/kg}{200\ mg/kg}$$

$$= 0{,}00425\ \text{mg/kg}$$

Selain secara alami ada pada tanah, sumber kandungan Pb pada tanah juga berasal dari penggunaan bahan kimia seperti pupuk anorganik yang langsung mengenai tanah, hujan, pengikisan tanah, limbah buangan, dan penimbunan debu (Fitrianah & Purnama, 2019). Lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik menggunakan pupuk anorganik untuk menambah atau menggantikan unsur hara yang hilang. Tingkat pencemaran logam Cd pada tanah di lahan permukiman, lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik dapat dilihat pada Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Indeks C/P Logam Cd pada Tanah

Lahan	Kedalaman (cm)	Kandungan (mg/kg)	Baku Mutu	Indeks C/P	Tingkat C/P
Permukiman	0-20	0,665	0,48	1,38542	Sedikit tercemar
	20-40	0,608		1,26667	
Mulsa dan Pupuk Anorganik	0-20	1,454		3,02917	Cukup tercemar
	20-40	1,381		2,87708	
Pupuk Anorganik	0-20	2,930		6,10417	Tercemar berat
	20-40	2,88		6	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan Tabel 9 tingkat C/P pada lahan permukiman pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm termasuk kategori sedikit tercemar. Hal ini dikarenakan kandungan Cd pada lahan tersebut 0,665 mg/kg dan 0,608 mg/kg. Tingkat C/P pada lahan mulsa dan pupuk anorganik di kedalaman 0 – 20 cm maupun 20 – 40 cm termasuk kategori cukup tercemar. Pada lahan ini, kandungan Cd pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm lebih tinggi dibandingkan pada lahan permukiman yaitu 1,454 mg/kg dan 1,381 mg/kg sehingga nilai indeks C/P pada rentang 2,1 dan 4,0. Sedangkan tingkat C/P pada tanah lahan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm termasuk kategori tercemar berat dikarenakan nilai indeks C/P pada lahan tersebut berada antara 4,1 dan 8,0. Nilai indeks C/P logam Cd pada tanah didapatkan dari diketahuinya nilai kandungan logam Cd pada tanah dan nilai baku mutu logam Cd pada tanah menurut US EPA 2002 yaitu 0,48 mg/kg. Perhitungan nilai indeks C/P logam Cd pada tanah di lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$\text{Indeks C/P} = \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$$

$$= \frac{0{,}665\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$$

$$= 1{,}38542\ \text{mg/kg}$$

Tingkat pencemaran tanah dipengaruhi dengan kandungan logam Pb dan Cd pada tanah. Semakin tinggi kandungan logam Pb dan Cd pada tanah maka indeks C/P pada tanah semakin tinggi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Khasanah *et al.* (2021), hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan logam Fe, Zn, Pb, Hg, Cu, Mn, dan Cd maka semakin tinggi pula nilai indeks pencemaran pada lahan sawah tersebut. Pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik menggunakan pupuk organik yaitu mulsa tandan kosong kelapa sawit dan pupuk anorganik seperti pupuk yang mengandung unsur hara fosfat. Kegiatan pertanian dengan menggunakan pupuk anorganik yang mengandung unsur hara fosfat dapat meningkatkan Cd pada tanah. Pemberian pupuk organik dan pupuk anorganik yang digabungkan dapat mengakumulasi Cd di dalam tanah (Sukarjo *et al.*, 2018). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wamaulana *et al.* (2022) Sumber pencemaran Cd dari aktivitas manusia berasal dari penggunaan pupuk kandang dan pestisida, pembakaran kayu, dan penggunaan bahan bakar. Hal tersebut yang menyebabkan tingkat pencemaran tanah pada lahan mulsa dan pupuk anorganik termasuk cukup tercemar sedangkan pada lahan pupuk anorganik termasuk kategori tercemar berat.

4.4 Kandungan Logam Berat pada Serabut dan Inti Kelapa Sawit

PT Bina Mitra Makmur memiliki lahan yang memanfaatkan mulsa dan lahan yang menggunakan pupuk anorganik. Hasil dari lahan PT Bina Mitra Makmur yaitu tandan buah segar (TBS) yang akan diolah menjadi minyak mentah kelapa sawit. Tanah yang digunakan sebagai media tanam di lahan tersebut mengandung logam berat, sehingga tandan buah segar yang dihasilkan berpotensi mengandung kandungan logam berat seperti Pb dan Cd. Menurut Fitrianah dan Purnama (2019) kandungan logam yang ada di dalam tanah mempengaruhi kandungan logam pada tanaman yang tumbuh diatasnya. Hal ini sejalan dengan penelitian Kawung *et al.* (2018), menyatakan bahwa kemampuan tanaman menyerap sejumlah logam berat sangat ditentukan oleh ketersediaannya dalam lingkungan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini melakukan pengujian Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik. Nilai kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10. Kandungan Pb dan Cd Serabut dan Inti Kelapa Sawit pada Lahan Mulsa dan Pupuk Anorganik, dan Lahan Pupuk Anorganik

No.	Parameter	Sampel	Lahan	
			Mulsa dan Pupuk Anorganik (mg/kg)	Pupuk Anorganik (mg/kg)
1.	Pb	Serabut Kelapa Sawit	0,039	0,067
		Inti Kelapa Sawit	0,024	0,027
2.	Cd	Serabut Kelapa Sawit	0,028	0,049
		Inti Kelapa Sawit	0,022	0,032

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Dapat dilihat pada Tabel 10, nilai kandungan Pb pada serabut dan inti kelapa sawit pada lahan mulsa dan pupuk anorganik yaitu sebesar 0,039 mg/kg dam 0,024 mg/kg. Serabut dan inti kelapa sawit pada lahan pupuk anorganik secara berturut-turut yaitu 0,067 mg/kg dan 0,027 mg/kg. Nilai kandungan Cd untuk serabut kelapa sawit yaitu sebesar 0,028 mg/kg sedangkan pada inti kelapa sawit kandungan logam Cd sebesar 0,022 mg/kg. Nilai kandungan Cd serabut kelapa sawit lebih tinggi dibandingkan nilai kandungan Cd inti kelapa sawit. Pada lahan pupuk anorganik nilai kandungan Cd pada serabut kelapa sawit yaitu 0,049 mg/kg sedangkan pada inti kelapa sawit yaitu sebesar 0,032 mg/kg. Kandungan Pb dan Cd pada serabut kelapa sawit lebih tinggi dibandingkan pada inti sawit, hal ini dikarenakan serabut kelapa sawit merupakan bagian terluar pada tandan kosong kelapa sawit (TBS). Menurut Suhaeni & Wardi (2016) kandungan logam berat dalam bagian tanaman semakin berkurang jumlah kandungan logam berat sesuai urutan yang terdekat dari tanah yaitu akar, batang, daun, buah, dan biji. Dengan demikian, semakin jauh dari tanah maka semakin kecil kandungan logam beratnya. Hal ini juga ditunjukkan pada hasil penelitian Kusumaningrum *et al.* (2012), logam Cd pada akar bawang merah sebesar 7,91 mg/kg sedangkan pada umbi dan daun bawang merah secara berturut-turut yaitu 3,48 mg/kg dan 4,13 mg/kg. Alasan logam Cd lebih besar pada akar dibandingkan umbi dan daun bawang merah disebabkan akar langsung berhubungan dengan tanah yang diaplikasikan pupuk fosfat, pupuk NPK, dan pupuk KCl.

Tanah pada lahan pertanian yang mengandung logam berat dapat terserap oleh tanaman dan terakumulasinya di bagian akar, daun, buah, dan biji (Fang & Zhu, 2014). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa kandungan logam Pb dan Cd pada tanah di lahan mulsa dan pupuk anorganik lebih rendah dibandingkan di lahan pupuk anorganik. Kandungan Pb dan Cd pada tanah mempengaruhi kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan tersebut. Semakin tinggi kandungan logam Pb dan Cd pada tanah maka semakin tinggi kandungan Pb dan Cd pada serabut

dan inti kelapa sawit. Sebaliknya, kandungan Pb dan Cd pada lahan mulsa dan pupuk anorganik lebih rendah dibandingkan lahan pupuk anorganik, maka kandungan logam pada serabut dan inti kelapa sawit juga lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Purbalisa *et al.* (2017), hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Cd pada lahan kontrol lebih rendah dibandingkan pada tanah yang telah tercemar Cd. Rendahnya kandungan Cd pada lahan kontrol dibandingkan pada tanah rercemar Cd menyebabkan kandungan Cd pada akar, jerami, dan beras pada tanaman padi pada lahan kontrol lebih rendah dibandingkan pada tanah tercemar Cd. Artinya, semakin tinggi kandungan logam berat pada tanah maka semakin tinggi kandungan logam berat pada tanaman yang tumbuh diatasnya. Sebaliknya, semakin rendah kandungan logam berat pada tanah maka rendah juga pada tanaman yang tumbuh diatasnya.

Sumber Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit yaitu berasal dari kandungan Pb dan Cd tanah pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wiyantoko *et al.* (2017), menyatakan bahwa logam berat terdapat di tanaman dikarenakan sebagian besar kandungan logam berat di dalam tanah diakumulasikan oleh tanaman pada bagian akar, batang, daun, dan buah. Menurut Mulyadi (2013) sumber logam pada tanaman selain berasal dari dalam tanah juga dapat berasal dari pencemaran udara akibat pembakaran bahan bakar. Pembakaran bahan bakar pada kendaraan menghasilkan Pb, logam Pb yang berada di udara dapat masuk ke tanaman melalui stomata dan atau jatuh ke tanah kemudian diserap melalui akar. Logam berat yang masuk ke dalam daun disebabkan oleh ukuran partikelnya lebih kecil dibandingkan ukuran stomata daun. Lokasi lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik berada di jalan penghubung dari lokasi perumahan karyawan menuju pabrik kelapa sawit.

Kandungan Cd pada tanah di lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik ada secara alamiah maupun kegiatan pertanian. Menurut Syachroni (2017) kandungan Cd secara alamiah ada dalam tanah sebagai akibat proses pembentukan tanah dari mineral yang mengandung Cd. Sedangkan sumber utama Cd pada lahan pertanian yaitu berasal dari pupuk anorganik yang digunakan mengandung unsur hara fosfat. Terakumulasinya Cd pada pupuk yang digunakan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik terhadap tanah juga berpengaruh terhadap kandungan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit. Hal ini sejalan dengan penelitian Grant *et al.* (2010), bahwa kandungan Cd dalam pupuk fosfat maupun tanah yang mengandung Cd

menunjukkan adanya pengaruh terhadap ketersediaan Cd pada biji-bijian gandum.

Kandungan Pb dan Cd pada tanaman pertanian dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu penanaman tanaman dan kandungan Pb dan Cd dalam tanah (Kusumaningrum *et al.*, 2012). Waktu penanaman tanaman kelapa sawit pada lahan mulsa dan pupuk anorganik, dan lahan pupuk anorganik telah dilakukan selama 17 tahun. Kandungan Pb dan Cd dalam tanah yang telah terakumulasi selama bertahun-tahun akan berpengaruh terhadap tanaman yang tumbuh diatasnya. Hak ini dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Karmina *et al.* (2018), bahwa umur buah tanaman jambu biji variates kristal 11 tahun mengandung logam Pb sebesar 51,81 ppm dengan rata-rata kandungan loga Pb pada tanah di kedalaman 0 – 30 cm sebesar 2,176 ppm, dan pada kedalaman 30 – 60 cm sebesar 3,498 ppm. Sedangkan umur tanaman jambu biji variates kristal umur 6 tahun sebesar 0,11 ppm, hal ini disebabkan kandungan Pb pada tanah di perkebunan kedalaman 0 – 30 cm dan 30 – 60 cm lebih rendah dibandingkan pada tanah dengan umur tanaman 11 tahun. Kandungan Pb pada tanah dengan umur tanaman 6 tahun di kedalaman 0 – 30 cm sebesar 1,356 ppm dan kandungan logam Pb pada tanah di kedalaman 30 – 60 yaitu sebesar 2,172 ppm.

Kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan mulsa dan pupuk anorganik lebih rendah dibandingkan di lahan pupuk anorganik. Hal ini disebabkan pada lahan mulsa dan pupuk anorganik mengaplikasikan bahan organik yaitu tandan kosong kelapa sawit menjadi mulsa sedangkan pada lahan pupuk anorganik hanya menggunakan pupuk anorganik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hayati (2010), hanya menggunakan pupuk anorganik pada lahan pertanian dapat mempercepat pergerakan ion logam Pb dan Cd serta tidak dapat menghalangi laju ion logam tersebut dari sistem larutan tanah ke jaringan tanaman, karena sifat pupuk anorganik tidak sama seperti pupuk organik yaitu tidak memiliki senyawa organik kompleks.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Kandungan Pb dan Cd tanah pada lahan yang diaplikasi pupuk anorganik lebih besar dibandingkan dengan kandungan Pb dan Cd tanah pada lahan diaplikasi mulsa, dimana pada lahan yang diaplikasi mulsa tingkat pencemaran Pb termasuk kategori sangat sedikit terkontaminasi, sedangkan Cd termasuk kategori cukup tercemar, sedangkan pada lahan pupuk anorganik termasuk tercemar berat.
2. Kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi mulsa lebih rendah dibandingkan kandungan Pb dan Cd pada serabut dan inti kelapa sawit di lahan aplikasi pupuk anorganik.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kandungan logam berat pada minyak mentah kelapa sawit dalam hubungannya dengan aplikasi mulsa dan pupuk anorganik pada tanah di perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

Adeyeye, E. I., Akinyeye, R. O., & Adesina, A. J. (2022). Concentration of Trace Metals in The Fresh and Fried Edible Vegetable Oils Used in The Production of Plantain Chips in Ekiti State: Health Implications. *Journal of Traditional Medicine & Applications*, *1*(1), 31–39.

Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat sekitar Manusia* (S. Kholishotunnisa (ed.)). Lambung Mangkurat University Press.

Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *Jurnal Teknologi Busana dan Boga*, *1*(1), 53–65.

Alhadi, G. (2022). Analisis Kandungan Logam Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) pada Tanah Akibat Penggunaan Pupuk di Perkebunan Kelapa Sawit. In *Uin Suska Riau*.

Andalusia, B., & Arabia, T. (2016). Karakteristik Tanah Ordo Ultisol di Perkebunan Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara I (Persero) Cot Girek Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Kawista Agroteknologi*, *1*(1), 45–49.

Arifin, M., Putri, N. D., Sandrawati, A., & Harryanto, R. (2018). Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Inceptisols di Jatinangor. *Jurnal Ilmuah Ilmu Tanah Pertanian dan Lingkungan*, *16*(2), 37–44.

Asria, M., & Alhamid, F. (2020). Analisis Kandungan Logam Berat Cu dan Zn dalam Air Limbah Industri. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, *1*(1), 29–31.

Azizah, M., & Maslahat, M. (2021). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di dalam Tubuh Ikan Wader (Barbodes binotatus) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *Jurnal Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, *28*(2), 83–93.

Bata, Y., Rahayu, E., & Andayani, N. (2016). Produktivitas Kelapa Sawit yang Dipupuk dengan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Agromast*, *1*(2).

Bradl. (2005). Sources and Origins of Heavy Metals. *Heavy Metals in the Environment*, 1–27.

Budiargo, A., Purwanto, R., & Sudradjat, . (2015). Manajemen Pemupukan Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Kalimantan Barat. *Buletin Agrohorti*, *3*(2), 221–231.

Chibuike, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*,

Dewanto, F. G., Londok, J. J. M. R., Tuturoong, R. A. V., & Kaunang, W. B. (2017). Pengaruh Pemupukan Anorganik dan Organik terhadap Produksi Tanaman Jagung sebagai Sumber Pakan. *Zootec*, *32*(5), 1–8.

Dewi, Sunariani, N., & Suprihatin, I. (2022). Penyerapan Kadar Timbal (Pb) Tanah Tercemar dan Akumulasinya pada Tanaman Gumitir (Tagetes erecta L.) dengan Remediasi. *Jurnal Kimia*, *16*(2), 162–167.

Dewi, T., Handayani, C. O., Hidayah, A., & Sukarjo, S. (2023). Sebaran Konsentrasi Logam Berat di Lahan Pertanian Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, *10*(2), 515–521.

Fang, B., & Zhu, X. (2014). High Content of Five Heavy Metals in Four Fruits: Evidence from a Case Study of Pujiang County, Zhejiang Province, China. *Food Control*, *39*(1), 62–67.

Fitrianah, L., & Purnama, A. R. (2019). Sebaran Timbal pada Tanah di Areal Persawahan Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Research and Technology*, *5*(2),

106–116.

Grant, C., Flaten, D., Tenuta, M., Gao, X., Malhi, S., & Gowalko, E. (2010). Impact of Long-Term Application of Phosphate Fertilizer on Cadmium Accumulation in Corps. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.*, 132–134.

Gultom, A. Y., Sampoerno, & Saputra, S. I. (2017). Pengaruh Pemberian Mulsa Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) di Main Nursery. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, *4*(1), 1–13.

Hamid, A., Siregar, S. H., & Anita, S. (2020). Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Tanah Perkebunan dan Tanaman Jambu Biji (Psidium Guajava) di Desa Perawang Barat Kabupaten Siak. *EcoNews*, *3*(2), 60–65.

Haryanti, A., Norsamsi, N., Fanny Sholiha, P. S., & Putri, N. P. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*, *3*(2), 57–66.

Hayati, E. (2010). Pengaruh Pupuk Organik dan Anorganik terhadap Kandungan Logam Berat dalam Tanah dan Jaringan Tanaman Selada. *Jurnal Floratek*, *5*, 113–123.

Hindarwati, Y., Soeprobowati, T. R., Izzati, M., & Hadiyanto. (2023). Kontaminan Logam Berat (Pb, Cd, dan Cu) pada Tanah dari Pemupukan Berbasis Jerami Padi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *21*(1), 8–14.

Karmina, Murti, A. T., & Mudjoko, T. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Aluminium (Al), dan Timbal (Pb) pada Buah Jambu Biji Varietas Vristal (Psidium guajava L .) dan Tanah di Desa Bumiaji, Kota Batu. *Jurnal Kultivasi*, *17*(3), 744–749.

Kawung, N. R., Rompas, R. R., Paulus, J. J. H., Lasut, M. T., Mantiri, D. H. M., & Rumampuk, N. D. (2018). Analisis Akumulasi Kandungan Logam Kadmium pada Akar dan Daun Mangrove di Perairan Basaan-Belang Kabupaten Minahasa Tenggara dan Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, *1*(1), 98–106.

Kemendag. (2013). Market Brief Kelapa Sawit dan Olahannya. In *ITPC Hamburg*.

Khasanah, U., Mindari, W., & Suryaminarsih, P. (2021). Kajian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Sawah di Kawasan Industri Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Kimia*, *15*(2).

Kurniasari, L., Riwayati, I., & Suwardiyono. (2012). Pektin sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat. *Jurnal Momentum UNWAHAS*, *8*(1), 1–5.

Kusumaningrum, H. P., Herusugondo, Zainuri, M., & Raharjo, B. (2012). Analisis Kandungan Kadmium (Cd) dalam Tanaman Bawang Merah dari Tegal. *Jurnal Sains Dan Matematika*, *20*(4), 98–102.

Lacatusu, R. (1998). Appraising Levels of Soil Contamination and Pollution with Heavy Metals. *European Soil Bureau Research Report*, *3*(2), 393–399.

Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The Impact of Improper Solid Waste Management to Plastic Pollution in Indonesian Coast and Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, *149*, 1–9.

Loekito, H. (2002). Teknologi Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *3*(3), 242–250.

Mahendra, R., Siaka, I. M., & Suprihatin, E. I. (2018). Bioavailabilitas Logam Berat Pb dan Cd Dalam Tanah Perkebunan Budidaya Kubis di Daerah Kintamani

Bangli. *Ecotrophic*, *12*(1), 42–49.

Mujahid, R., & Subositi, D. (2020). Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) dalam Tempuyung (Sonchus arvensis L.). *Artikel Pemakalah Paralel*, 783–786.

Mulyadi. (2013). Logam Berat Pb pada Tanah Sawah dan Gabah di Sub-Das Juwana Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman*, *2*(2), 95–101.

Murgianto, F., Edyson, Ardiyanto, A., Putra, S. K., & Prabowo, L. (2021). Potensi Kandungan Minyak Kelapa Sawit dengan Berbagai Tingkat Berondolan Lepas di Piringan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, *9*(2), 91–98.

Nengsih, Y. (2015). Pemberian Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis) di Pembibitan Utama. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *15*(4), 107–112.

Novitasari, B. P., Anugroho, F., & Suharto, B. (2017). Pengaruh Konsentrasi Logam Seng (Zn) dalam Tanah Tercemar Terhadap Penyerapan oleh Bunga Matahari (Helianthus annuus L.) pada Fase Vegetatif. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1–11.

Novpriansyah, H., Pramono, D. C., & Salam, A. K. (2001). Ketersediaan Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanah Ultisol Sungkai Utara yang diperlukan Pupuk Berbahan Baku Limbah Industri Sendok Logam, Kapur, dan Gambut. *Jurnal Tanah Trop*, *13*, 51–58.

Panda, N. D., Jawang, U. P., & Lewu, L. D. (2021). Pengaruh Bahan Organik Terhadap Daya Ikat Air pada Tanah Ultisol Lahan Kering. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, *8*(2), 327–332.

Parmiko, I. P. M., Siaka, I. M., & Suarya, P. (2014). Kandungan Logam Cu Dan Zn dalam Tanah dan Pupuk serta Bioavailabilitasnya dalam Tanah Pertanian di Daerah Bedugul. *Jurnal Kimia*, *8*(1), 91–96.

Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara. *Jurnal Bios Logos*, *8*(1).

Purbalisa, W., Mulyadi, & Purnariyanto, F. (2017). Kadar Kadmium dan Hasil Produksi Padi pada Tanah Tercemar Kadmium yang Telah Diremediasi. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek II*, 169–179.

Purnomo, W., Nurlaila, & Suparto, H. (2019). Komposisi Perbandingan Sub Soil dan Kompos Pengganti Top Soil sebagai Media Tanam pada Pertembuhan Bibit Karet Setelah Transplanting. *Jurnal Agriment*, *4*(1), 6–12.

Putri, M. A., Dinda Afriwana, S., Hilaliyah Pulungan, S., & Hasibuan, A. (2023). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Pupuk bagi Masyarakat Simandiangin Kab. Labuhanbatu Selatan. *Journal of Health and Medical Research*, *3*(3), 408–412.

R, N., Hayati, R., & Zahara, T. A. (2014). Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) menggunakan Tanaman Bayam Cabut (Amaranthus tricolor L.). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *2*(1), 1–10.

Rajmi, S. L., Margarettha, & Refliaty. (2018). Peningkatan Ketersediaan P Ultisol dengan Pemberian Fungi Mikoriza Arbuskular. *Journal Agroecotania*, *1*(2), 42–48.

Riyanto. (2014). Observasi Produksi Tandan Buah Segar pada Perkebunan Sawit Rakyat. *Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan*, *1*(1), 40–47.

Robarge, W. P., Boos, D., & Proctor, C. (2003). *Determination of Trace Metal Content of Fertilizer Source Materials Produced in North America*.

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.). *Jurnal Ilmiah Pertanian*, *8*(1), 37–45.

Salem, M. A., Bedade, D. K., Al-Ethawi, L., & Al-waleed, S. M. (2020). Assessment of Physiochemical Properties and Concentration of Heavy Metals in Agricultural Soils Fertilized with Chemical Fertilizers. *Heliyon*, *6*(10), 1–10.

Suhaeni, & Wardi, R. Y. (2016). Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanaman Kangkung Darat (Ipomoea reptans Poir). *Jurnal Dinamika*, *7*(2), 1–8.

Sukarjo, Hidayah, A., & Zulaehah, I. (2018). Pengaruh Pupuk terhadap Akumulasi dan Translokasi Kadmium dan Timbal di Tanah dan Tanaman. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek Iii (2018)*, 205–211.

Supraniningsih, J. (2012). Pengembangan Kelapa Sawit sebagai Biofuel dan Produksi Minyak Sawit serta Hambatannya. *Ekonomi*, *29*(321), 10–16.

Susilawati, & Supijatno. (2015). Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Riau. *Bul. Agrohorti*, *3*(2), 203–212.

Sustawan, G., Satrawidana, I. D. K., & Wiratini, N. M. (2016). Analisis Logam Pb dan Cd pada Tanah Perkebunan Sayur di Desa Pancasari. *Jurnal Wahana Matematika Dan Sains*, *9*(2), 44–51.

Syachroni, S. H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah Sawah di Kota Palembang. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, *6*(1), 23–29.

Syahputra, E., Fauzi, & Razali. (2015). Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*, *4*(1), 1796–1803.

Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. (2018). Kandungan Logam Non Esensial (Pb, Cd, dan Hg) dan Logam Esesnsial (Cu, Cr, dan Zn) pada Sedimen di Perairan Tuban, Gresik, dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *11*(1), 69–74.

Umboh, A. . (2002). *Penunjuk Penggunaan Mulsa*. Penebar Swadaya.

Wamaulana, F., Hasyimuddin, H., & Fakhruddin, A. (2022). Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sampel Pangan Segar Asal Tumbuhan (PSAT) di BBKP Makassar. *Jurnal Mahasiswa Biologi*, *2*(2), 53–58.

Wang, X., Liu, W., Li, Z., Teng, Y., Christie, P., & Luo, Y. (2020). Effects of Long-Term Fertilizer Applications on Peanut Yield and Quality and Plant and Soil Heavy Metal Accumulation. *Pedosphere*, *30*(4), 555–562.

Wangge, E., Sito, E., & Mutiara, C. (2022). Uji Kadar Cemaran Kadmium dari dalam Tanah Sawah dan Beras di Kelurahan Lape Kecamatan Aesesa Kabupaten Nagekeo. *Agrica*, *14*(2), 152–157.

Warsito, J., Sabang, S. M., & Mustapa, K. (2016). Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Akademika Kimia*, *5*(1), 8–15.

Winarmadani, S. (2019). Analisis Kndungan logam berat (Pb, Cd, Cu, Fe) pada Air Permukaan di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Jurnal Agroekoteknologi*, *53*(1), 59–65.

Wiyantoko, B., Kurniawati, P., & Purbaningtias, T. E. (2017). Pengujian Nitrogen Total, Kandungan Air dan Cemaran Logam Timbal Pada Pupuk Anorganik NPK Padat. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *6*(1), 51–60.

Yulina, H., & Ambarsari, W. (2021). Hubungan Kandungan N- Total dan C-Organik Tanah terhadap Berat Panen Tanaman Pakcoy setelah Dikombinasikan dengan Kompos Sampah Kota dan Pupuk Kandang Sapi pada Aluvial, Indramayu. *Agro Wiralodra, 4*(1), 25–30.

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 Unand*, *3*(4), 198–204.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Penggunaan Pupuk Anorganik di Lahan PT Bina Mitra Makmur

No.	Jenis Pupuk	Stn	Bulan						
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
1.	Urea	Kg	-	18.850	-	-	-	-	18.000
2.	Dolomite	Kg	-	-	-	-	31.300	-	-
3.	HGFB	Kg	-	-	-	-	-	-	-
4.	Tandan Kosong Kelapa Sawit	Kg	-	-	-	-	-	-	-
5.	MOP	Kg	-	-	27.250	-	-	-	-
6.	*Rock Phosphate*	Kg	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: PT Bina Mitra Makmur, 2023.

Lampiran 2. Hasil Pengujian Sampel Tanah pada Logam Berat Pb dan Cd

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 :087/VIII/LA-HA/2023
Sampel : Tanah ,Serabut dan Inti Sawit

No	Sampel	Satuan	Timbal(Pb)	Kadmium(Cd)
1	Pemukiman 0 -20 cm	mg/kg	0,850	0,665
2	Pemukiman 20 - 40 cm	mg/kg	0,712	0,608
3	An Organik 0 - 20 cm	mg/kg	2,528	2,930
4	An Organik 20 -40 cm	mg/kg	2,468	2,880
5	Mulsa Tandan kosong 0 - 20 cm	mg/kg	1,626	1,454
6	Mulsa Tandan kosong 20 -40 cm	mg/kg	1,182	1,381
7	An Organik serabut kelapa sawit	mg/kg	0,067	0,049
8	An Organik inti kelapa sawit	mg/kg	0,027	0,032
9	Mulsa Tandan kosong serabut kelapa sawit	mg/kg	0,039	0,028
10	MulsaTandan kosong inti kelapa sawit	mg/kg	0,024	0,022

Padang,22 Agustus 2023
Analis

S.Yolni,S.Si

Tembusan :
1.Arsip

AKREDITASI BAN-PT
Prodi SarjanaTerakreditasi "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

ABET Engineering Accreditation Commission
Terakreditasi ABET (Prodi Sarjana)

IABEE
Prodi Sarjana Terakreditasi IABEE
Sertifikat Akreditasi No. 00072 A

Dipindai dengan CamScanner

Lampiran 3. Hasil Pengujian pH Tanah

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 :089/VIII/LA-HA/2023
Sampel : Tanah

No	Sampel	pH
1	Pemukiman 0 -20 cm	6,72
2	Pemukiman 20 - 40 cm	6,54
3	An Organik 0 - 20 cm	6,32
4	An Organik 20 -40 cm	6.21
5	Mulsa Tandan kosong 0 - 20 cm	6,52
6	Mulsa Tandan kosong 20 -40 cm	6,45

Padang, 22 Agustus 2023
Analisis,

Syofni S.S

Tembusan :
1.Arsip

AKREDITASI BAN-PT
Prodi SarjanaTerakreditasi "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

ABET Engineering Accreditation Commission
Terakreditasi ABET (Prodi Sarjana)

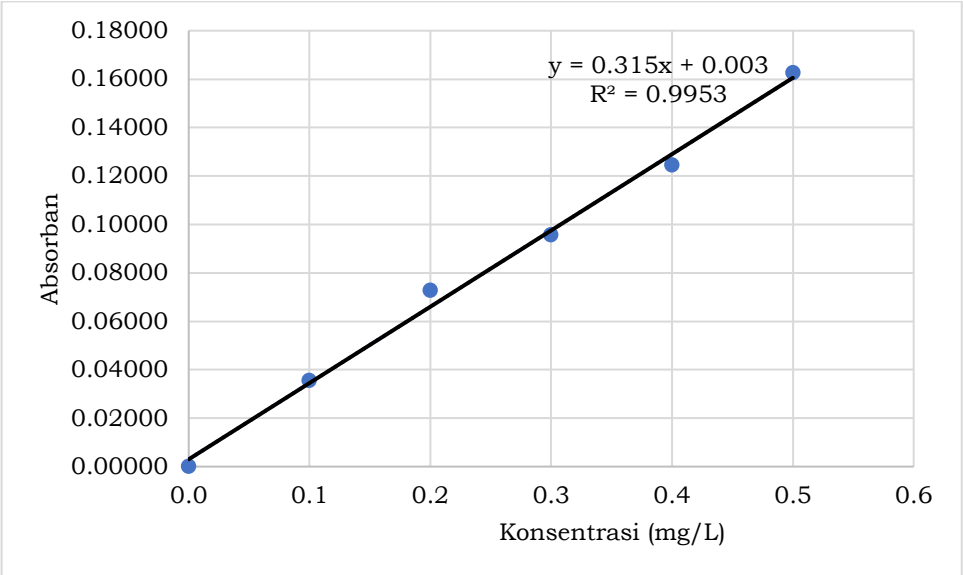
IABEE
Prodi Sarjana Terakreditasi IABEE
Sertifikat Akreditasi No. 00072 A

Dipindai dengan CamScanner

Lampiran 4. Kurva Kalibrasi Logam Pb dan Cd pada Tanah, Serabut, dan Inti Kelapa Sawit

1. Logam Pb

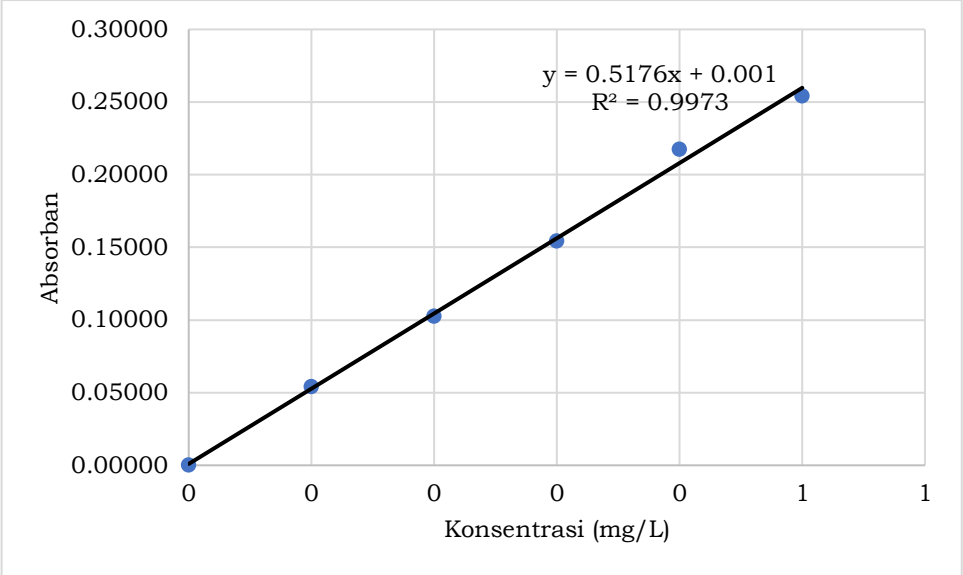
Konsentrasi (mg/L)	Absorban
0.0	0.00000
0.1	0.03542
0.2	0.07265
0.3	0.09560
0.4	0.12442
0.5	0.16254



Sampel	Absorban	C out (mg/L)	berat sampel (gr)	Vol (ml)	Kadar Pb (mg/kg)
Pemukiman 0 -20 cm	0.02978	0.08497	5	50	0.850
Pemukiman 20 - 40 cm	0.02545	0.07123	5	50	0.712
Anorganik 0 - 20 cm	0.08265	0.25279	5	50	2.528
Anorganik 20 - 40 cm	0.08076	0.24679	5	50	2.468
Mulsa tandan kosong 0 - 20 cm	0.05425	0.16265	5	50	1.626
Mulsa tandan kosong 20 - 40 cm	0.04025	0.11819	5	50	1.182
Anorganik serabut kelapa sawit	0.00511	0.00667	5	50	0.067
Anorganik inti kelapa sawit	0.00387	0.00273	5	50	0.027
Mulsa Tandan kosong serabut kelapa sawit	0.00425	0.00394	5	50	0.039
Mulsa tandan kosong inti kelapa sawit	0.00253	0.00243	5	50	0.024

2. 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 (ml)	Kadar Cd (mg/kg)
Pemukiman 0 -20 cm	0.03542	0.06653	5	50	0.665
Pemukiman 20 - 40 cm	0.03243	0.06076	5	50	0.608
Anorganik 0 - 20 cm	0.15265	0.29300	5	50	2.930
Anorganik 20 - 40 cm	0.15009	0.28805	5	50	2.880
Mulsa tandan kosong 0 - 20 cm	0.07627	0.14545	5	50	1.454
Mulsa tandan kosong 20 - 40 cm	0.07245	0.13807	5	50	1.381
Anorganik serabut kelapa sawit	0.00354	0.00495	5	50	0.049
Anorganik inti kelapa sawit	0.00264	0.00321	5	50	0.032
Mulsa tandan kosong serabut kelapa sawit	0.00243	0.00280	5	50	0.028
Mulsa tandan kosong inti kelapa sawit	0.00211	0.00218	5	50	0.022

Lampiran 5. Perhitungan Indeks Pencemaran *Contamination/Pollution* (C/P) Logam Pb dan Cd pada Tanah

1. Logam Pb

   Lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm

   Kandungan Pb = 0,85 mg/kg

   Baku Mutu = 200 mg/kg

   Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

   $= \frac{0{,}85\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

   = 0,00425 mg/kg

   Lahan permukiman kedalaman 20 – 40 cm

   Kandungan Pb = 0,712 mg/kg

   Baku Mutu = 200 mg/kg

   Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

   $= \frac{0{,}712\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

   = 0,00356 mg/kg

   Lahan mulsa dan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm

   Kandungan Pb = 1,626 mg/kg

   Baku Mutu = 200 mg/kg

   Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

   $= \frac{1{,}626\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

   = 0,00813 mg/kg

   Lahan mulsa dan pupuk anorganik kedalaman 20 – 40 cm

   Kandungan Pb = 1,182 mg/kg

   Baku Mutu = 200 mg/kg

   Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

   $= \frac{1{,}182\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

   = 0,00591 mg/kg

   Lahan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm

   Kandungan Pb = 2,528 mg/kg

   Baku Mutu = 200 mg/kg

   Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

   $= \frac{2{,}528\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

   = 0,01264 mg/kg

Lahan pupuk anorganik kedalaman 20 – 40 cm

Kandungan Pb = 2,468 mg/kg

Baku Mutu = 200 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{2{,}468\ mg/kg}{200\ mg/kg}$

= 0,01234 mg/kg

2. Logam Cd

Lahan permukiman kedalaman 0 – 20 cm

Kandungan Cd = 0,665 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{0{,}665\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 1,38542 mg/kg

Lahan permukiman kedalaman 20 – 40 cm

Kandungan Cd = 0,608 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{0{,}608\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 1,26667 mg/kg

Lahan mulsa dan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm

Kandungan Cd = 1,454 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{1{,}454\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 3,02912 mg/kg

Lahan mulsa dan pupuk anorganik kedalaman 20 – 40 cm

Kandungan Cd = 1,381 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{1{,}381\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 2,87708 mg/kg

Lahan pupuk anorganik kedalaman 0 – 20 cm

Kandungan Cd = 2,930 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{2{,}930\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 6,10417 mg/kg

Lahan pupuk anorganik kedalaman 20 – 40 cm

Kandungan Cd = 2,88 mg/kg

Baku Mutu = 0,48 mg/kg

Indeks C/P $= \frac{konsentrasi\ logam\ berat\ pada\ sampel\ tanah}{nilai\ baku\ mutu\ logam\ berat}$

$= \frac{2{,}88\ mg/kg}{0{,}48\ mg/kg}$

= 6 mg/kg

Lampiran 6. Dokumentasi Pengambilan Sampel

Diskusi sebelum Pengambilan Sampel

Pengukuran Lokasi Pengambilan Sampel

Titik Pengambilan Sampel Tanah

Pengeboran Tanah

Sampel Tanah pada Titik Sampel

Pengukuran Kedalaman pada Titik Sampel

Pengeboran Tanah pada Lokasi Penelitian Lainnya

Sampel Tanah Dikompositkan

Sampel Tanah Dimasukkan kedalam Plastik *Ziplock*

Sampel Tanah Ditimbang

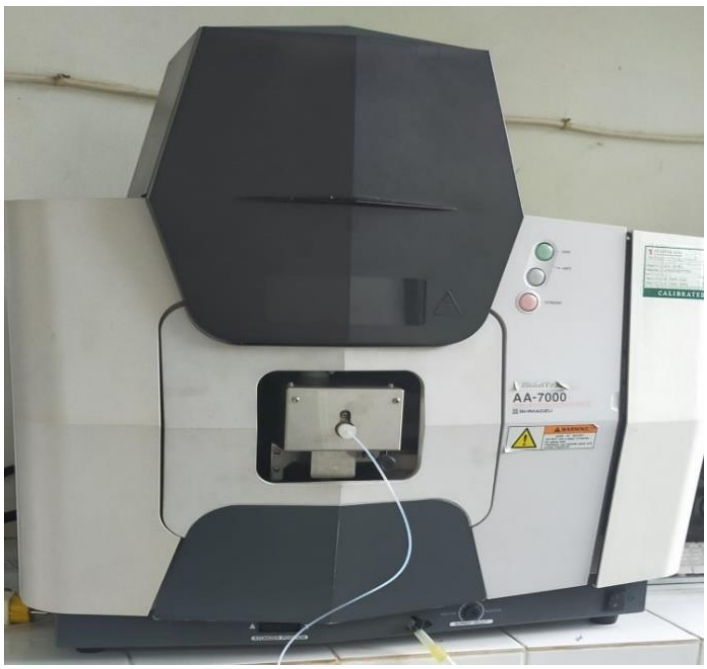
Tim Pengambilan Sampel

Lampiran 7. Dokumentasi Pengujian Sampel

Pengerusan Sampel Serabut dan Inti Kelapa Sawit

Penimbangan Sampel

Penyaringan Sampel



Pengujian menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS)