

**KETEREKSTRAKAN UNSUR HARA DALAM TANAH 23 TAHUN  
PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI**

**SKRIPSI**

Oleh

**RANI MARYANI  
1814181013**



**JURUSAN ILMU TANAH  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRAK**

### **KETEREKSTRAKAN UNSUR HARA DALAM TANAH 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI**

Oleh

**RANI MARYANI**

Kegiatan industri mengakibatkan munculnya limbah industri berlogam berat. Salah satu faktor penting yang berkaitan dengan bahaya logam berat terhadap makhluk hidup adalah logam berat berada dalam bentuk larut dan tersedia. Tanah mempunyai kemampuan menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat dengan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan. Masuknya limbah industri dapat mengubah ketersediaan unsur hara dan unsur nir-hara. Ini diakibatkan oleh kandungan limbah industri yang dapat mencakup unsur hara makro, unsur hara mikro, dan unsur nir-hara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari konsentrasi beberapa bentuk unsur yang terkandung di dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri dan mempelajari ketersediaan unsur dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri berkaitan dengan beberapa sifat tanah.

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021 - Maret 2022. Contoh tanah diambil dari lahan percobaan yang diperlakukan limbah industri pada tahun 1998 di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Laboratorium Biomassa, FMIPA, Universitas Lampung. Penelitian dilakukan dengan analisis unsur hara makro dan mikro dari contoh tanah yang diambil di lapang yang telah diperlakukan limbah 0 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>0</sub>), Limbah 15 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>1</sub>), dan Limbah 60 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>2</sub>) sebanyak 3 ulangan. Analisis pada tanah dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur hara dalam tanah, pH, C-organik, KTK, dan tekstur tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perubahan kandungan dan bentuk hara akibat perlakuan limbah industri 23 tahun pascaperlakuan kecuali Cu dan Zn, yang meningkat dengan takaran limbah industri. Kandungan unsur P dan K menggunakan pengekstrak air (unsur larut) berhubungan erat dengan pH H<sub>2</sub>O dan pH KCl, juga Mg dengan pH H<sub>2</sub>O, dan Mn dengan pH KCl. Kandungan unsur

Ca dan Mg menggunakan pengekstrak 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 (unsur terjerap) berhubungan erat dengan pH  $\text{H}_2\text{O}$  dan pH KCl, juga P dengan pH KCl. Kandungan unsur P, K, Ca, Fe, Mn, dan B menggunakan pengekstrak 1 N  $\text{HNO}_3$  (unsur endapan) berhubungan erat dengan pH  $\text{H}_2\text{O}$  dan pH KCl, juga P dengan % Liat.

Kata kunci: Logam Berat, Unsur Hara Makro, Unsur Hara Mikro, Limbah Industri

**KETEREKSTRAKAN UNSUR HARA DALAM TANAH 23 TAHUN  
PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI**

**Oleh**

**RANI MARYANI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA PERTANIAN**

**Pada**

**Jurusan Ilmu Tanah  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

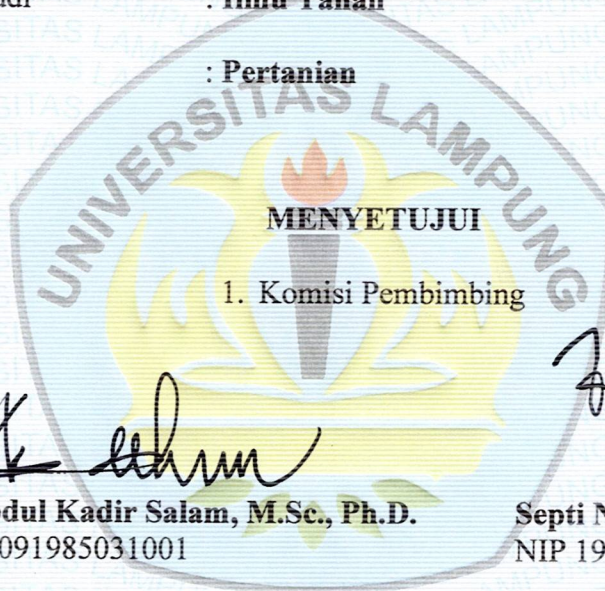
Judul Skripsi : **KETEREKSTRAKAN UNSUR HARA  
DALAM TANAH 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN  
LIMBAH INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : **Rani Maryani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1814181013**

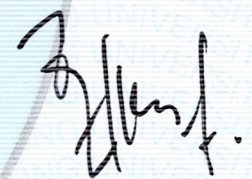
Program Studi : **Ilmu Tanah**

Fakultas : **Pertanian**

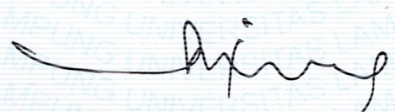


1. Komisi Pembimbing

  
**Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.**  
NIP 196011091985031001

  
**Septi Nurul Aini, S.P., M.Si.**  
NIP 199202022019032021

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah

  
**Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.**  
NIP 196611151990101001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Pembimbing I : Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D. 

Pembimbing II : Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. 

Pembahas : Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. 

2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.  
NIP 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 September 2022

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Keterekstrakan Unsur Hara Dalam Tanah 23 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen jurusan Ilmu Tanah Universitas Lampung a.n Ir. Sarno, M.S.

Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 September 2022

Penulis



**Rani Maryani**  
**NPM 1814181013**

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan pada 30 Maret 2000 di Purworejo, Kota Gajah, Lampung Tengah, anak kedua dari bapak Supardi dan ibu Ismiyati. Penulis menyelesaikan sekolah di SD Negeri 2 Sumberrejo, Lampung Tengah pada tahun 2012, SMP Negeri 2 Kota Gajah pada tahun 2015, dan SMA Negeri 1 Kota Gajah pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis diterima menjadi mahasiswa pada Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Unila (Gamatala) Periode 2019-2020 sebagai Anggota Bidang Pengabdian Masyarakat, Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Unila (Gamatala) Periode 2020-2021 sebagai Anggota Bidang Pengabdian Masyarakat. Penulis memiliki pengalaman menjadi asisten praktikum beberapa mata kuliah, yaitu Kimia Dasar I dan Kimia Dasar II Organik.

Pada bulan Januari - Februari tahun 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ngestirahayu, Punggur, Lampung Tengah, dan Pada bulan Agustus - September tahun 2021 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Unit Produksi Benih (UPB) Tanaman Buah Kecamatan Pekalongan, Kabupaten Lampung Timur.



## **MOTTO HIDUP**

Cukuplah Allah bagiku, tidak ada Tuhan selain Dia. Hanya kepada-Nya aku bertawakal.

(Quran Surat At-Taubah: 129)

Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan.

(Quran Surat Al-Insyirah: 6)

Hasil bisa saja menghianati usaha, tapi yang tidak berusaha tidak akan berhasil.

(Fiersa Besari)

Never give up, because beautiful things can be born from misery.

(Bridgett Devoue)

Believe in yourself and all that you are. Know that there is something inside you that is greater than any  
obstacle.

(Christian D. Larson)

There is only one thing that makes a dream impossible to achieve.

(Paulo Coelho, The Alchemist)

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah dan rasa syukur atas nikmat yang diberi Allah SWT, segenap jiwa dan raga serta dengan penuh rasa kasih sayang dan cinta kupersembahkan kepada

1. Bapak Supardi dan Ibu Ismiyati yang selalu memberikan yang terbaik untuk anak-anaknya, terimakasih atas doa dan pengorbanan demi terwujudnya keberhasilanku.
2. Mbak Resti Agustiani dan Adek Tria Febiana Putri yang selalu memberikan semangat dan bantuannya.
3. Mas Agus Koharudin, manusia baik yang selalu memberikan support, motivasi, dan doa.
4. Keluargaku, yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, bantuan, dan motivasi.
5. Sahabat dan teman-teman yang selalu memberikan pelajaran berharga, dukungan, motivasi, dan doa.
6. Dosen-dosen tercinta dan almamater kebanggaan Universitas Lampung.

## SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Keterekstrakan Unsur Hara dalam Tanah 23 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat utama untuk memperoleh gelar sarjana pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, sekaligus Pembimbing Akademik.
2. Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing skripsi atas kesediaannya dalam memberikan dukungan, bimbingan, kritik dan saran, serta dana penelitian kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya dalam memberikan dukungan, bimbingan, kritik serta saran kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku pembahas atas kesediaannya dalam memberikan kritik serta saran kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Ilmu Tanah yang telah memberi penulis berbagai ilmu yang bermanfaat.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Supardi dan Ibu Ismiyati, Mbak Resti Agustiani, dan Adek Tria Febiana Putri, yang telah memberikan kasih sayang

dan doa, serta tak henti memberikan dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan studi.

8. Keluarga besar yang senantiasa menantikan kelulusanku dengan memberikan doa, dukungan, dan motivasi.
9. Pendampingku, Agus Koharudin, manusia baik yang telah membantu dalam banyak hal agar terselesaikannya skripsi ini.
10. Besti kesebelasan, Novita Sari, Nabila Anjani Anugrah Ihwanto, Raquita Gumalau Putri. TR., Reta Meliyani, Miratun Nisa, Samini, Pandan Arum Irawan, Jonah Febriana, Ega Restapika Natalia, Galuh Ishardini Rukmana, dan Ambar Arum Kaloka, yang selalu menemani dan berbagi ilmu, nasihat, dukungan, kritik dan saran, motivasi, dan berjuang bersama hingga akhir.
11. Teman seperjuangan sejak SMA, Lisma Rawuni dan Tricahya Ningrum, yang selalu memberikan motivasi, dukungan terbaik, dan membantu kapan pun dan dimana pun saat dibutuhkan.
12. Teman seperjuangan sejak SMP, Noviana yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
13. Teman seperjuangan, mahasiswa dan mahasiswi Ilmu Tanah 2018, yang telah berjasa dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini.
14. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT selalu memberikan balasan yang lebih besar untuk Bapak, Ibu dan rekan-rekan semua. Hanya ucapan terimakasih dan doa yang bisa penulis berikan. Semoga skripsi ini bermanfaat untuk kemajuan pertanian, khususnya Ilmu Tanah, Aamiin.

Bandar Lampung, 15 September 2022  
Penulis,

Rani Maryani

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>v</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Kerangka Pemikiran.....	3
1.5 Hipotesis .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sifat dan Kandungan Unsur Limbah Industri .....	7
2.1.1 Unsur Hara.....	7
2.1.2 Unsur Nir-hara.....	8
2.1.3 Sifat-Sifat Limbah Industri.....	9
2.2 Bentuk-Bentuk Unsur dalam Tanah.....	10
2.2.1 Unsur Larut.....	10
2.2.2 Unsur Terjerap.....	11
2.2.3 Unsur Endapan .....	11
2.3 Pengaruh Limbah terhadap Tanah .....	12
2.3.1 Perubahan pH Tanah .....	12
2.3.2 Perubahan Kadar Unsur Hara dan Unsur Nir-hara.....	14
<b>III. BAHAN DAN METODE .....</b>	<b>15</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Metode Penelitian .....	15
3.4 Sejarah Lahan Percobaan .....	16
3.5 Pelaksanaan Percobaan .....	18
3.5.1 Pengambilan dan Persiapan Contoh Tanah .....	18
3.5.2 Analisis Tanah .....	18
3.5.2.1 Analisis Unsur .....	19
3.5.2.2 Analisis C-Organik .....	19
3.5.2.3 Analisis pH .....	20
3.5.2.4 Analisis KTK.....	20

3.5.2.5 Analisis Tekstur Tanah .....	20
3.5.3 Analisis Data .....	21
3.6 Peubah Penelitian.....	21
3.6.1 Peubah Utama.....	21
3.5.2. Peubah Pendukung .....	21
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>22</b>
4.1 Sifat Fisika dan Kimia Tanah Percobaan.....	22
4.2 Perbedaan Kandungan Unsur Hara pada Tanah Percobaan 23 Tahun Akibat Perlakuan Limbah Industri.....	24
4.3 Pengaruh Sifat Tanah terhadap Kandungan Hara pada Lahan Percobaan.....	28
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran .....	33

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Rataan kandungan alami logam berat di dalam tanah.....	9
2. Sejarah pemanfaatan lahan percobaan pada 10 tahun pertama.....	17
3. Contoh tanah percobaan ini.....	18
4. Beberapa sifat tanah dan limbah industri lahan percobaan tahun 1998.....	18
5. Beberapa sifat fisika dan kimia tanah percobaan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	23
6. Kandungan unsur hara di tanah percobaan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri (Pengekstrak air).....	24
7. Kandungan unsur hara di tanah percobaan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri (Pengekstrak 1 N NH <sub>4</sub> OAc pH 7).....	25
8. Kandungan unsur hara di tanah percobaan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri (Pengekstrak 1 N HNO <sub>3</sub> ).....	27
9. Korelasi (R) antara kandungan unsur dengan beberapa sifat tanah (Pengekstrak air).....	28
10. Korelasi (R) antara kandungan unsur dengan beberapa sifat tanah (Pengekstrak 1 N NH <sub>4</sub> OAc pH 7).....	30
11. Korelasi (R) antara kandungan unsur dengan beberapa sifat tanah (Pengekstrak 1 N HNO <sub>3</sub> ).....	31
12. Ambang batas logam berat yang diterapkan pada tanah.....	39
13. Data pengukuran pH H <sub>2</sub> O dan pH KCl pada tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	40
14. Data analisis C-Organik pada tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	40
15. Data analisis KTK pada tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	40
16. Data analisis tekstur pada tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	40

17. Keterekstrakan P dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	41
18. Keterekstrakan K dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	41
19. Keterekstrakan Ca dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	41
20. Keterekstrakan Mg dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	42
21. Keterekstrakan Fe dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	42
22. Keterekstrakan Zn dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	42
23. Keterekstrakan Cu dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	43
24. Keterekstrakan Mn dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	43
25. Keterekstrakan Co dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	43
26. Keterekstrakan B dari tanah percobaan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah industri. ....	44



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran keterekstrakan unsur hara dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.....	4
2. Denah tata letak percobaan Sidosari, Lampung Selatan. (L = limbah industri, $L_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ , $L_1 = 15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , $L_2 = 60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; B = kompos daun singkong, $B_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ , $B_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan K = kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), $K_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ , $K_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , = petak percobaan untuk pengambilan contoh tanah. ....	16
3. Korelasi kadar beberapa unsur hara terekstrak air dengan pH tanah. ....	29
4. Korelasi kadar beberapa unsur hara terekstrak 1 N $\text{NH}_4\text{OAc}$ pH 7 dengan pH tanah.....	30
5. Korelasi kadar beberapa unsur hara terekstrak 1 N $\text{HNO}_3$ dengan pH tanah. ....	32
6. Denah lokasi Lahan Percobaan di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan.....	38
7. Pengambilan sampel tanah di Lahan Percobaan Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan.....	38
8. Pengukuran pH tanah menggunakan pH meter.....	38
9. Analisis C-Organik tanah menggunakan metode Walkley and Black. ....	39
10. Ekstraksi sampel tanah dengan pengekstrak aquades, 1 N $\text{HNO}_3$ , dan 1 N $\text{NH}_4\text{OAc}$ pH 7.....	39

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk selalu diikuti dengan peningkatan komponen lainnya seperti industri, teknologi, dan informasi. Hal ini untuk mendukung dan memenuhi kebutuhan manusia dalam hal sandang, pangan, dan papan. Kegiatan industri merupakan komponen yang penting, namun dapat berdampak buruk terhadap manusia dan lingkungan. Salah satu dampak buruk kegiatan industri yang menjadi perhatian adalah munculnya limbah industri berlogam berat yang dapat mencemari lingkungan.

Pencemaran lingkungan umumnya berhubungan erat dengan limbah industri. Permasalahan ini timbul karena tidak seimbang antara produksi limbah dengan pengolahannya dan semakin menurunnya daya dukung alam sebagai tempat pembuangan limbah. Jumlah limbah terus bertambah dengan laju yang cukup cepat, sedangkan kemampuan pengolahan limbah tidak memadai (Hidayat, 2015). Ketika suatu zat berbahaya atau beracun mencemari tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan, atau masuk ke dalam tanah. Zat yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap atau berperilaku sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun di tanah tersebut dapat berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau secara tidak langsung dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya.

Salah satu faktor penting yang berkaitan dengan bahaya logam berat terhadap makhluk hidup adalah logam berat berada dalam bentuk larut dan tersedia. Logam berat dalam bentuk tersedia mudah diserap tanaman dan akan diangkut ke lingkungan. Ketersediaan logam berat di dalam tanah di atas batas aman dapat membahayakan tanaman dan makhluk hidup lain. Tanah mempunyai kemampuan

menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat dengan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan. Salam dkk. (1998) menyatakan bahwa penurunan kelarutan dan ketersediaan logam berat di dalam tanah dapat dilakukan dengan meningkatkan kapasitas jerap tanah terhadap logam berat melalui pengapuran dan/atau pemberian bahan organik. Jika logam berat dalam limbah industri dapat dikelola dengan baik, maka potensi unsur hara dapat dimanfaatkan dengan baik. Unsur hara makro bermanfaat untuk tanaman. Unsur hara mikro dapat ditekan pada level aman. Demikian pula logam berat dapat dijaga pada tingkat yang aman juga.

Tanah yang merupakan salah satu penunjang kehidupan yang ada di bumi adalah bagian yang terdapat pada kerak bumi yang tersusun atas mineral dan bahan organik. Pada dasarnya, tanah merupakan campuran dari berbagai mineral dan bahan organik yang mampu menopang kehidupan tanaman. Di dalam tanah terdapat unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Unsur yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang cukup banyak disebut unsur makro. Unsur ini termasuk di dalamnya adalah Kalium (K), Belerang (S), Kalsium (Ca), Fosfor (P), Magnesium (Mg), dan Nitrogen (N). Sedangkan unsur yang hanya dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit oleh tanaman disebut dengan unsur mikro. Unsur mikro terdiri dari unsur Seng (Zn), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Molibdenum (Mo), Boron (B), Mangan (Mn), dan Klor (Cl). Unsur golongan mikro dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan unsur makro oleh tanaman. Selain unsur hara, di dalam tanah terdapat juga banyak unsur yang bukan unsur hara, misalkan Cd, Cr, dan lain-lain. Semua unsur ini mempengaruhi kesuburan setiap jenis tanah (Arwansyah, dkk., 2019).

Kesuburan tanah adalah potensi tanah untuk menyediakan unsur hara dalam jumlah yang cukup dalam bentuk yang tersedia dan seimbang untuk menjamin pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimum. Tanah yang diusahakan untuk bidang pertanian memiliki tingkat kesuburan yang berbeda-beda. Pengelolaan tanah secara tepat merupakan faktor penting dalam menentukan kesuburan tanah serta pertumbuhan dan hasil tanaman yang akan diusahakan. Susanto (2005) menyebutkan bahwa kemampuan tanah sebagai habitat tanaman

yang menghasilkan bahan yang dapat dipanen sangat ditentukan oleh tingkat kesuburan atau sebagai alternatif kapasitas berproduksi atau produktivitas. Kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah untuk dapat menyediakan hara dalam jumlah yang cukup untuk pertumbuhan dan hasil tanaman. Selain memasukkan logam berat, masuknya limbah industri dapat mengubah ketersediaan unsur hara dan unsur nir-hara. Ini diakibatkan oleh kandungan limbah industri yang dapat mencakup unsur hara makro, unsur hara mikro, dan unsur nir-hara. Ketersediaan unsur ini sangat dipengaruhi oleh berbagai reaksi kimia tanah dan kuantitas masuknya unsur dari luar tanah. Bila masalah logam berat dapat dikendalikan maka dapat diprediksi bahwa peningkatan unsur hara makro dan penyediaan unsur hara mikro akan menyuburkan tanah.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu apakah tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri mengalami perubahan ketersediaan unsur hara dalam berbagai bentuk larut dan nir-larut?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

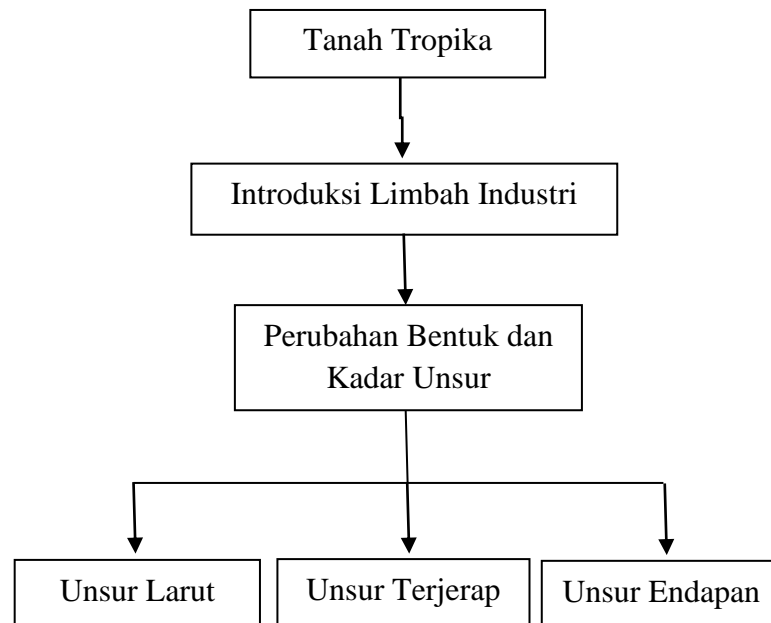
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari konsentrasi beberapa bentuk dan kadar unsur hara yang terkandung di dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.
2. Mempelajari ketersediaan unsur hara dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri berkaitan dengan beberapa sifat tanah.

## **1.4 Kerangka Pemikiran**

Pesatnya pembangunan industri dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Merupakan suatu kenyataan yang harus dihadapi bahwa dalam proses produksi suatu industri dihasilkan limbah. Limbah tersebut apabila tidak dikelola secara benar dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Pencemaran yang terjadi dapat dalam bentuk pencemaran fisika, kimia, dan

biologi. Karena kegiatan industri juga mengandung berbagai unsur hara dan unsur nir-hara, kegiatan industri dapat mengakibatkan perubahan kadar, bentuk, dan reaksi kimia unsur hara dan nir-hara (Gambar 1). Perubahan ini dapat berakibat baik dan buruk. Bentuk-bentuk unsur hara tanah yang mungkin dapat berubah adalah unsur larut, unsur terjerap, dan unsur endapan (mineral sekunder).



Gambar 1. Kerangka pemikiran keterekstrakan unsur hara dalam tanah 23 tahun pascaperlakuan limbah industri.

Banyaknya kegiatan dan jumlah industri yang intensif menyebabkan dihasilkannya limbah berlogam yang melimpah, sedangkan limbah-limbah tersebut sulit dimanfaatkan kembali dan cenderung berbahaya bagi lingkungan. Limbah industri berlogam dapat menyumbangkan berbagai unsur logam berat, di antaranya Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) dengan konsentrasi yang cukup tinggi ke dalam tanah (Novpriansyah, dkk., 2001; Salam, dkk., 2000). Evanko dan Dzomback (1997) juga menjelaskan bahwa Zn adalah salah satu logam berat yang paling mudah bergerak dalam air tanah. Berbeda dengan Cu, karena kandungan Cu di lapisan tanah bagian atas lebih tinggi dibandingkan Zn.

Penambahan limbah industri, walaupun meningkatkan pH tanah, ternyata secara linear meningkatkan kelarutan Cu sebagai akibat tingginya kandungan Cu di dalam limbah tersebut. Tembaga yang sebelumnya terikat pada partikel limbah yang ber-pH tinggi (7,30) diduga melarut di dalam larutan tanah yang ber-pH rendah, sehingga penambahan limbah secara dramatis meningkatkan kelarutan Cu di dalam tanah. Perubahan pH tersebut juga diduga menurunkan energi pengikatan Cu, sehingga Cu lebih mudah terekstrak oleh DTPA. Dengan melihat tingginya kelarutan Cu, sebagian Cu asal limbah industri dapat pula mengendap, khususnya pada penambahan kapur dan limbah dengan takaran relatif tinggi. Berbeda dengan laporan sebelumnya yang menggunakan logam larutan baku (Salam dkk., 1997), penambahan kompos daun singkong tidak mengubah kelarutan Cu asal limbah industri di dalam tanah.

Penambahan limbah industri secara drastik meningkatkan kelarutan Zn pada tingkat  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Tetapi kelarutan Zn kembali menurun dengan penambahan limbah industri pada takaran lebih tinggi dengan urutan  $10 > 20 > 40 > 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Kemungkinan yang paling logis adalah bahwa limbah industri sendok logam tersebut mengandung koloid yang mungkin lebih aktif setelah masuk ke dalam sistem tanah dan memiliki preferensi lebih tinggi terhadap Zn daripada terhadap Cu. Akibatnya Cu asal limbah lebih mudah larut daripada Zn (Salam dkk., 1998).

Berbeda dengan amatan sebelumnya dengan menggunakan larutan baku (Salam dkk., 1997). Kelarutan Zn di dalam tanah yang diperlakukan dengan limbah industri meningkat dengan penambahan kapur. Perubahan ini sangat jelas berbeda dengan yang terjadi di dalam tanah kontrol (tanpa penambahan limbah industri), kelarutan Zn menurun dengan penambahan kapur. Fenomena ini berkaitan dengan koloid asal limbah industri yang mampu menjerap Zn dalam jumlah tinggi di dalam tanah, namun rentan terhadap peningkatan pH. Peningkatan pH akibat penambahan kapur diduga telah menggeser Zn terjerap ke ikatan dengan energi yang lebih rendah, sehingga lebih mudah diekstrak. Sebaliknya, penambahan kompos daun singkong tidak mempengaruhi kelarutan Zn asal limbah industri, berbeda dengan hasil penelitian terdahulu dengan menggunakan larutan baku (Salam dkk., 1997).

## **1.5 Hipotesis**

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah disajikan, hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Introduksi limbah industri pascaperlakuan 23 tahun mengubah bentuk dan kadar unsur dalam tanah.
2. Sebagian unsur asal limbah berada dalam bentuk larut, terjerap, atau endapan, berkaitan dengan perubahan sifat-sifat tanah yang lain.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sifat dan Kandungan Unsur Limbah Industri

#### 2.1.1 Unsur Hara

Tanaman memerlukan seperangkat unsur hara esensial. Unsur hara esensial memiliki beberapa persyaratan. Pertama, unsur hara esensial memiliki satu atau lebih fungsi di dalam metabolisme tanaman. Kedua, kekurangan unsur hara tersebut akan menyebabkan terganggunya metabolisme tanaman sehingga tahapan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu dan menunjukkan gejala defisiensi unsur hara. Ketiga, keberadaannya tidak dapat digantikan oleh unsur hara lainnya (Salam, 2020).

Menurut Novizan (2002), unsur hara dapat diserap oleh tanaman setelah melalui tiga mekanisme sebagai berikut:

1. Unsur hara dapat diserap langsung oleh akar bersama dengan penyerapan air dari larutan tanah. Karena itu, sangat penting untuk menjaga keseimbangan unsur hara di dalamnya, misalnya mempertahankan pH pada posisi netral.
2. Unsur hara memasuki membran sel akar mengikuti hukum difusi tanpa mengikutsertakan air. Jika konsentrasi ion terlarut di dalam larutan tanah lebih tinggi dari pada di dalam sel akar, ion dari larutan tanah akan bergerak ke dalam sel akar.
3. Proses pertukaran ion terjadi karena respirasi akar menghasilkan  $\text{CO}_2$  yang bergabung dengan air di dalam tanah lalu membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Selanjutnya  $\text{H}_2\text{CO}_3$  tersebut terurai membentuk  $\text{H}^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$ .

Di dalam tanah, unsur hara berada dalam berbagai bentuk, di antaranya adalah: (a) ion bebas, (b) ion kompleks dan khelat, (c) ion dapat dipertukarkan, (d) mineral



endapan (mineral sekunder), dan (e) bagian struktural bahan organik dan bahan nir-organik (mineral primer). Di antara bentuk-bentuk ini, ion bebas dan dalam derajat tertentu, ion kompleks dan khelat, serta ion dapat dipertukarkan adalah yang paling *mobile* dan berpotensi mempengaruhi makhluk hidup karena bentuk-bentuk ini berkaitan langsung dengan serapan oleh akar tanaman dan toksisitas unsur tertentu (Salam, 2001; Daoust dkk., 2006).

Bentuk dan kadar unsur hara di dalam tanah dapat berubah akibat introduksi limbah industri. Misalnya, menurunnya Fe-tersedia dan Mn-tersedia karena adanya bahan kapur yang ditambahkan dengan menyumbangkan ion  $\text{OH}^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  ke dalam tanah dan menyebabkan unsur Fe dan Mn membentuk endapan yang sukar larut, sehingga ketersediaan Fe dan Mn di dalam tanah menurun. Selain itu juga dimungkinkan oleh terjadinya pengendapan kation logam berat dengan ion fosfat seiring dengan penurunan P-tersedia akibat pengapuran (Novizan, 2002).

### **2.1.2 Unsur Nir-hara**

Menurut Hidayat (2015), unsur nir-hara atau logam berat mikro merupakan komponen alamiah tanah yang berperan dalam proses fisiologis tanaman seperti Fe, Cu, Zn, dan Mn dalam jumlah yang relatif rendah. Bila jumlahnya berlebih, unsur ini akan memberikan efek toksik bagi tanaman. Tetapi logam berat Hg, Cd, Ni, dan Cr sampai saat ini belum diketahui manfaatnya bagi tanaman, hewan, dan manusia, serta bersifat sangat beracun bila masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Unsur-unsur ini disebut dengan unsur nir-hara. Kandungan unsur-unsur ini sebagian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rataan kandungan alami logam berat di dalam tanah.

Logam	Kelompok Unsur	Kandungan mg kg <sup>-1</sup>
As	Nir-hara	100
Co	Nir-hara	8
Cu	Nir-hara	20
Pb	Nir-hara	10
Zn	Hara	50
Cd	Nir-hara	0,06
Hg	Nir-hara	0,03

Sumber: Peterson & Alloway (1979).

Selain dari sumber alami, kandungan logam berat nir-hara di dalam tanah dapat berasal dari sumber kedua yaitu sumber antropogenik, berkaitan dengan produksi dan penggunaan logam berat dalam industri modern, penggunaan pupuk atau pestisida serta limbah rumah tangga yang mengandung logam berat. Terlepas dari sumbernya, logam berat di dalam tanah dapat berdampak negatif terhadap makhluk hidup (Erfandi dan Juarsah, 2014; Salam, 2017).

Salam (2017) membagi logam berat menjadi 3 kelompok berdasarkan toksisitasnya, yaitu yang bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur-unsur Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn) yang bersifat toksik sedang terdiri dari Kromium (Cr), Nikel (Ni), dan Kobalt (Co) yang bersifat toksik rendah yang terdiri atas unsur Mangan (Mn) dan Besi (Fe). Erfandi dan Juarsah (2014) menyatakan bahwa logam berat nir-hara yang terakumulasi di dalam tanah dapat menurunkan kualitas tanah, baik secara biologi, kimia, maupun fisika. Komunitas mikroorganisme dapat hilang atau berubah kualitasnya karena ekologi tanah sebagai tempat hidupnya telah tercemari logam berat yang dapat menyebabkan keracunan. Logam berat juga akan mengakibatkan perubahan sifat kimia tanah yang berhubungan dengan penyediaan dan penyerapan unsur hara dari tanah ke tanaman.

### 2.1.3 Sifat-Sifat Limbah Industri

Logam berat memiliki sifat *non-biodegradable* dan dapat bertahan untuk waktu yang lama pada tanah yang tercemar. Untuk menghilangkannya dibutuhkan

waktu yang relatif lama dan relatif mahal. Stabilisasi logam berat secara *in situ* dapat dilakukan dengan menambahkan pembenah tanah yang umum digunakan seperti kapur dan kompos dalam upaya untuk mengurangi ketersediaan logam berat dan meminimalkan penyerapannya oleh tanaman (Komarek, dkk., 2013). Logam berat merupakan salah satu karakteristik kandungan limbah industri.

Menurut Supraptini (2002), beberapa sifat limbah industri adalah menghasilkan bahan toksik yang berbahaya terhadap lingkungan, mengandung bahan pencemar yang akan berpengaruh terhadap lingkungan dan komponen (komunitas) yang ada, serta menimbulkan masalah lingkungan seperti keracunan pada manusia hingga kematian makhluk hidup lainnya. Satu di antara sifat-sifat yang sangat berbahaya adalah kandungan unsur nir-hara yang tinggi.

Erfandi dan Juarsah (2014) menyatakan bahwa logam berat yang terakumulasi di dalam tanah dapat menurunkan kualitas tanah, baik secara biologi, kimia, maupun fisika. Komunitas mikroorganisme dapat hilang atau berubah kualitasnya karena ekologi tanah sebagai tempat hidupnya telah tercemari logam berat, yang dapat menyebabkan keracunan. Berbagai proses biologi di dalam tanah yang dikatalisasi oleh mikroorganisme akan terganggu akibat pencemaran logam berat. Selain itu, logam berat akan mengakibatkan perubahan sifat kimia tanah yang berhubungan dengan penyediaan dan penyerapan unsur hara dari tanah ke tanaman. Namun demikian limbah industri juga dapat mengandung sejumlah unsur hara makro dan mikro yang potensial untuk pertumbuhan tanaman.

## **2.2 Bentuk-Bentuk Unsur dalam Tanah**

### **2.2.1 Unsur Larut**

Menurut Salam (2020), tingkat ketersediaan unsur hara berbeda antara satu bentuk dengan bentuk lainnya. Unsur hara terlarut akan sangat tersedia bagi akar tanaman sehingga akar tanaman tidak perlu mengeluarkan energi terlalu tinggi untuk dapat menyerapnya. Unsur hara larut adalah unsur yang berada dalam larutan tanah, mudah tercuci, dan terbawa oleh air tanah. Unsur-unsur ini sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Misalnya pada saat mengabsorpsi unsur-unsur hara

esensial dalam bentuk anion, perakaran tanaman akan melepaskan anion-anion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan hidroksil ( $\text{OH}^-$ ), sedangkan kation  $\text{H}^+$  akan dilepaskan pada saat akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk kation. Akibatnya, ion-ion yang terikat pada koloid tanah dan diperlukan oleh tanaman akan terlepas dan terlarut di dalam larutan tanah. Penurunan pH tanah akan menyebabkan unsur hara larut dalam air tanah.

### **2.2.2 Unsur Terjerap**

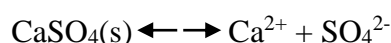
Menurut Salam (2020), unsur hara terikat pada koloid tanah juga dapat tersedia dengan cepat bagi tanaman, namun lebih lambat dibandingkan dengan unsur hara terlarut, karena untuk membebaskan unsur hara terikat dan menyerapnya diperlukan energi yang lebih besar. Unsur hara yang terjerap terikat di permukaan koloid tanah dan merupakan sumber utama dari unsur hara yang dapat memasok unsur hara larut. Unsur hara yang terikat ini biasanya tidak dapat digunakan oleh tanaman. Namun dapat dibebaskan melalui reaksi perekatan kation bila unsur hara larut menurun. Lewat pengaturan pH tanah, unsur hara ini dapat diubah menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman, karena ion  $\text{H}^+$  dapat mengeluarkan ion unsur dari kompleks jerapan. Unsur hara terikat pada koloid tanah juga dapat tersedia dengan cepat bagi tanaman, namun lebih lambat dibandingkan dengan unsur hara terlarut, karena untuk membebaskan unsur hara terikat dan menyerapnya diperlukan energi yang lebih besar.

### **2.2.3 Unsur Endapan**

Unsur hara dalam endapan serta struktur mineral dan struktur organik lebih lambat tersedia bagi tanaman, sehingga akar tanaman akan lebih sulit untuk dapat menyerapnya tanpa mengeluarkan energi yang lebih tinggi. Dengan mengetahui bentuk-bentuk ion di dalam tanah akan diketahui gambaran mekanisme setiap unsur hara yang dapat terikat pada koloid tanah yang bermuatan negatif dan mekanisme unsur hara yang diserap tanaman, tercuci oleh aliran air, atau terikat oleh ion lain yang bermuatan berlawanan dan membentuk senyawa yang mengendap dalam air tanah. Ion-ion yang mengendap tersebut dapat digunakan

oleh tanaman. Unsur hara endapan dapat menjadi unsur larut bila endapan melarut membebaskan komponen-komponen penyusunnya (Salam, 2020).

Menurut Salam (2020), selain dalam bentuk ion kompleks, sebagian unsur di dalam tanah juga berada dalam bentuk endapan. Pelarutan endapan di dalam tanah akan sangat tergantung pada Konstanta Kestimbangan ( $K_{sp}$ ) dan Hasil Kali Kelarutan (HKK), yang merupakan perkalian antara konsentrasi produk-produk pelarutan. Misalnya, dalam reaksi berikut:



Padatan  $\text{CaSO}_4$  mengalami pelarutan di dalam air tanah menjadi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Selama HKK, yaitu  $[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$ , nilainya lebih rendah daripada  $K_{sp}$ , maka padatan ini akan larut. Namun bila karena suatu sebab HKK tersebut meningkat lebih tinggi daripada  $K_{sp}$  maka akan terjadi pengendapan  $\text{CaSO}_4$ . Karena konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{2-}$  akan turun diserap oleh akar tanaman, maka kemungkinan yang terjadi adalah  $\text{CaSO}_4$  akan terus melarut untuk mengimbangi penurunan konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{2-}$  di dalam air tanah. Kecepatan pelarutan padatan tanah sangat tergantung pada jenis mineral endapan, nilai  $K_{sp}$ , dan penurunan konsentrasi ion-ion penyusunnya (Bohn, dkk., 1985).

## 2.3 Pengaruh Limbah terhadap Tanah

### 2.3.1 Perubahan pH Tanah

Perubahan pH tanah berpengaruh langsung terhadap keterlarutan unsur. Kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap. Yang lebih penting ialah pengaruh tidak langsung lewat pengaruhnya atas KTK. Sebagian nilai KTK berasal dari muatan tetap dan sebagian lagi berasal dari muatan terubahkan (*variable charge*). Muatan terubahkan bergantung pada pH yang meningkat sejalan dengan peningkatan pH. Maka peningkatan pH membawa peningkatan KTK. Logam berat terjepit lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitasnya menurun. Darmono (1995) menjelaskan bahwa derajat kemasaman tanah adalah faktor utama dalam ketersediaan logam berat. Logam berat asal limbah industri

mempunyai kelarutan yang tinggi, khususnya pada tanah yang asam. Tanah yang asam akan meningkatkan pembebasan logam dalam tanah, termasuk logam yang toksik (Winarso, 2005).

Peningkatan pH tanah akibat pengapuran dapat mengurangi ketersediaan logam berat di dalam tanah. Hal ini berkaitan dengan kehadiran ion  $\text{OH}^-$  yang dapat meningkatkan jumlah muatan negatif pada permukaan koloid tanah. Penambahan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) juga dapat menetralisasi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Al}^{3+}$  yang terdapat dalam larutan dan pada kompleks jerapan, dan pada akhirnya dapat meningkatkan daya jerap tanah terhadap kation logam berat terlarut membentuk suatu ikatan kompleks, sehingga logam berat menjadi tidak tersedia (Salam, dkk., 1999; Salam, 2000; dan Winarso, 2005).

Setelah rentang waktu 20 tahun, teramati adanya penurunan pH tanah yang signifikan akibat perlakuan dan kadar limbah industri. Penurunan pH tanah terjadi akibat perlakuan kapur maupun perlakuan tanpa kapur. Hal tersebut sangat tampak terutama di lapisan atas, yaitu pada kedalaman 0-15 cm. Pada kedalaman tersebut perlakuan tanpa kapur dengan limbah  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan  $60 \text{ Mg ha}^{-1}$ , pH tanah menurun berturut-turut dari 5,55 menjadi 4,50 dan dari 5,45 menjadi 4,86. Demikian pula di kedalaman yang sama pada perlakuan kapur dengan limbah  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan  $60 \text{ Mg ha}^{-1}$ , pH tanah mengalami penurunan yang berturut-turut dari 6,90 menjadi 4,59 dan dari 6,94 menjadi 4,67.

Nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan dengan pH awal lahan percobaan. Berdasarkan laporan Salam (2000), diketahui bahwa pH awal lapisan tanah atas lahan penelitian yaitu 5,11, akan tetapi saat ini pH tanah seluruh perlakuan di kedalaman 0-15 cm justru lebih rendah dari nilai tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa 20 tahun pascaperlakuan mengakibatkan pengaruh kapur telah habis. Temuan ini menjadi lanjutan dari laporan Ginanjar (2009), bahwa pada 10 tahun setelah perlakuan limbah dan kapur, pada lahan yang sama teramati telah terjadi penurunan pengaruh kapur yang ditandai menurunnya pH tanah pada lapisan 0-15 cm dan 15-30 cm. Limbah industri umumnya ber-pH rendah. Introduksi limbah industri menurunkan pH tanah.

### 2.3.2 Perubahan Kadar Unsur Hara dan Unsur Nir-hara

Ketersediaan unsur hara untuk tanaman sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi: (1) bagaimana unsur hara dibebaskan dari tempatnya terikat, (2) bagaimana unsur tersebut bergerak menuju perakaran tanaman, dan (3) bagaimana unsur hara tersebut diserap oleh akar tanaman (Salam, 2020).

Sebagian unsur hara di dalam tanah berada dalam bentuk tidak tersedia dan harus dibebaskan sebelum akhirnya dapat diserap oleh akar tanaman. Karena jenis dan kekuatan ikatannya berbeda, tidak semua unsur hara dapat dibebaskan dengan mudah dan cepat, dan umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat dinamik, yang dapat berubah setiap waktu (Salam, 2020).

Perbedaan bentuk unsur juga dipengaruhi oleh sumber luar tanah. Salah satu sumber luar unsur hara adalah limbah industri. Limbah industri dilaporkan mengandung unsur hara makro dan unsur hara mikro. Ketersediaan unsur dari limbah industri akan meningkat atau menurun seiring berjalannya waktu. Menurut Sukkariyah, dkk. (2005), pada 17 hingga 19 tahun setelah perlakuan limbah biosoil terjadi penurunan kandungan Cu dan Zn masing-masing sebesar 58% dan 42%. Kemampuan kapur dan bahan organik dalam menurunkan ketersediaan logam berat juga menurun bahkan hilang seiring dengan berjalannya waktu. Dengan berjalannya waktu, Ca dari kapur dapat tercuci dan bahan organik dapat segera terdekomposisi.

### III. BAHAN DAN METODE

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021-Maret 2022. Pengambilan contoh tanah diambil dari lahan percobaan yang diperlakukan limbah industri pada tahun 1998 atau 23 tahun yang lalu di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Laboratorium Biomassa, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

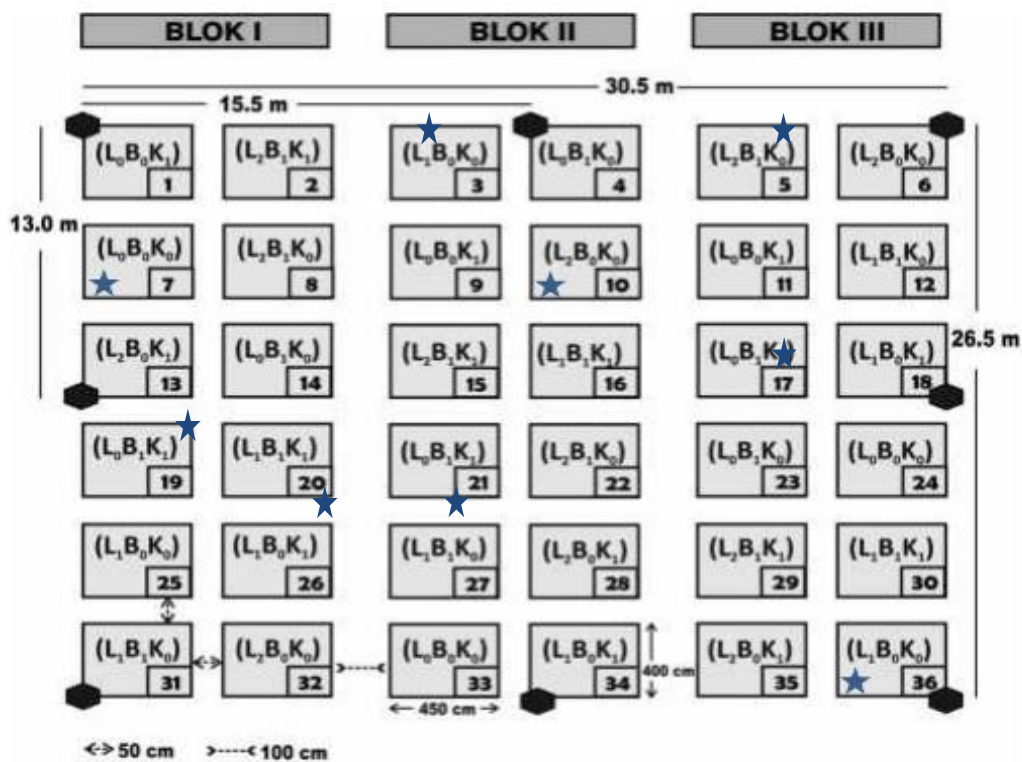
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah meteran, sekop, plastik sampel tanah, pisau lapang, neraca analitik, *shaker*, kertas saring, pH meter, dan ICP AES (*Inductively Coupled Plasm Atomic Emission Spectrophotometry*) merk Agilent. Bahan yang digunakan adalah contoh tanah, larutan pengekstrak seperti air, 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7, 1 N HNO<sub>3</sub>, dan bahan kimia untuk analisis tanah meliputi 1 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, 0,025 M indikator difenil amin, larutan 0,5 N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), larutan NaF 4%, selen, asam borat 1%, dan indikator Conway.

#### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan analisis unsur hara makro dan mikro dari contoh tanah yang diambil di lapang yang telah diperlakukan limbah 0 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>0</sub>), Limbah 15 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>1</sub>), dan Limbah 60 Mg ha<sup>-1</sup> (L<sub>2</sub>) sebanyak tiga ulangan atau 9 satuan percobaan.



Contoh tanah tersebut diambil dari lahan percobaan yang dibuat pada tahun 1998 dan diperlakukan limbah industri sendok logam (L), kapur (K), dan kompos daun singkong (B). Contoh tanah yang diambil adalah tanah dari petak perlakuan  $L_0B_0K_0$ ,  $L_1B_0K_0$ , dan  $L_2B_0K_0$  dari setiap blok percobaan dengan perlakuan limbah industri (Gambar 2) dan Tabel 3. Setiap satuan percobaan di lapang berukuran 4,5 m x 4 m, dengan jarak antartetak 0,5 m dan jarak antarkelompok 1 m.



Gambar 2. Denah tata letak percobaan Sidosari, Lampung Selatan. (L = limbah industri,  $L_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $L_1 = 15 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $L_2 = 60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; B = kompos daun singkong,  $B_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $B_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan K = kapur ( $\text{CaCO}_3$ ),  $K_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $K_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , ★ = petak percobaan untuk pengambilan contoh tanah).

### 3.4 Sejarah Lahan Percobaan

Lahan penelitian terletak di Desa Sidosari Kecamatan Natar, Lampung Selatan, telah mendapatkan perlakuan limbah (L)  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $L_0$ ),  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $L_1$ ), dan  $60 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $L_2$ ); kompos daun singkong (B)  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $B_0$ ) dan  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $B_1$ ); serta kapur (K)  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $K_0$ ) dan  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $K_1$ ), yang diaplikasikan dengan cara disebar di permukaan tanah dan diolah (dibajak dan digaru masing-masing

sebanyak 2 kali) hingga kedalaman 20 cm pada Juli 1998. Lahan diaplikasikan dengan limbah industri sendok logam yang berasal dari PT *Star Metal Ware Industry*, Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7,30; dengan kandungan Cu 754 mg kg<sup>-1</sup> dan Zn 44,5 mg kg<sup>-1</sup>. Bahan kompos berasal dari daun singkong yang diperoleh dari perkebunan singkong PT *Nusantara Tropical Fruits* di Way Jepara, Lampung Timur.

Pada awal perlakuan, tanah diolah dengan 2 kali bajak dan 2 kali garu (Ginjar dan Salam, 2009). Satu pekan setelah diaplikasikannya limbah logam berat, kapur, dan kompos daun singkong, lahan ditanami tanaman jagung dengan jarak tanam 25 cm x 75 cm, dan bayam dengan kerapatan 1 g benih per 2 m<sup>2</sup>. Pada musim berikutnya, lahan percobaan ditanami padi gogo (Salam, 2000).

Selanjutnya, secara bergantian lahan ditanami dengan tanaman singkong, jagung, dan kacang tanah. Pada saat pengambilan contoh tanah (Desember 2021), lahan sedang ditanami singkong, kemudian diganti dengan tanaman jagung. Sejarah pemanfaatan lahan percobaan 10 tahun pertama disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sejarah pemanfaatan lahan percobaan pada 10 tahun pertama.

Tahun ke-	Jenis Tanaman
1	Jagung (musim I), padi gogo (musim II)
2	Jagung (musim I), padi gogo (musim II)
3	Bera
4	Bera
5	Jagung (musim I), jagung (musim II)
6	Bera
7	Bera
8	Jagung
9	Jagung (musim I), jagung (musim II)
10	Jagung (musim I), jagung (musim II)

Sumber: Ginjar dan Salam (2009)

Untuk memudahkan pengolahan tanah, batas-batas antarpetak percobaan maupun antarblok diabaikan (*imaginer*), sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan komponen tanah dari satu petak percobaan ke petak percobaan yang bersebelahan (Ginjar dan Salam, 2009). Beberapa hasil analisis sifat tanah dan limbah industri sebelum perlakuan diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Contoh tanah percobaan ini.

Contoh Tanah	L	B	K
	.....Mg ha <sup>-1</sup> .....		
Kontrol	0	0	0
Limbah Rendah	15	0	0
Limbah Tinggi	60	0	0

Keterangan: L = limbah industri, B = kompos daun singkong, dan K = kapur (CaCO<sub>3</sub>).

Tabel 4. Beberapa sifat tanah dan limbah industri lahan percobaan tahun 1998.

Jenis Analisis	Metode	Tanah	Limbah Industri
Tekstur	Hidrometer	Fraksi (%):	
		Pasir	41,2
		Debu	26
		Liat	32,8
pH	Elektrode	5,11	7,3
C-Organik (g kg <sup>-1</sup> )	Walkey and Black	1,28	
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	DTPA	-	754
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	DTPA	-	44,6
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	DTPA	-	2,44
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	DTPA	-	0,12

Sumber : Salam (2005).

### 3.5 Pelaksanaan Percobaan

#### 3.5.1 Pengambilan dan Persiapan Contoh Tanah

Contoh tanah diambil pada kedalaman 0-15 cm dari 5 titik per petak percobaan (Gambar 2). Contoh tanah yang sudah dikompositkan kemudian dikering-udarkan dan diaduk rata, lalu diayak lolos 2 mm.

#### 3.5.2 Analisis Tanah

Analisis tanah dilakukan untuk mengetahui pH, C-organik, KTK, dan tekstur tanah, serta kandungan unsur dalam tanah. Reaksi tanah diukur menggunakan elektrode pH dan pengestrak air destilata dengan menggunakan perbandingan 1:2,5 antara tanah dengan air destilata dan 1 N KCl. Ekstraksi unsur dilakukan dengan pengestrak air, 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7, dan 1 N HNO<sub>3</sub>. Penetapan

konsentrasi unsur dilakukan menggunakan ICP AES merk Agilent di laboratorium Biomassa Unila.

### 3.5.2.1 Analisis Unsur

Ekstraksi unsur dilakukan dengan pengestrak tanah berbeda yang meliputi air, 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7, dan 1 N HNO<sub>3</sub>, dilakukan prosedur kerja sebagai berikut: (1) contoh tanah ditimbang seberat 10 g dan dimasukkan ke dalam botol pengocok, (2) larutan pengestrak berupa air, atau 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7, atau 1 N HNO<sub>3</sub> sebanyak 20 ml ditambahkan ke dalam masing-masing botol pengocok yang sudah berisi tanah, (3) botol pengocok berisi tanah dan masing-masing pengestrak dikocok selama 2 jam menggunakan *shaker*, (4) suspensi disaring dengan kertas saring untuk memisahkan fase cair, (5) ekstrak tanah dianalisis menggunakan alat ICP AES merk Agilent.

### 3.5.2.2 Analisis C-Organik

Penetapan C-Organik ini dilakukan menggunakan metode yang disusun oleh Walkey dan Black (1934), yang umum digunakan pada tanah mineral tidak berkapur dari daerah humid. Penetapan C-Organik ini dilakukan menggunakan prosedur kerja sebagai berikut: (1) contoh tanah kering udara ditimbang seberat 0,5 g dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 ml, (2) contoh tanah tersebut ditambahkan 5 ml 1 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sambil menggoyangkan erlenmeyer perlahan-lahan agar berlangsung pencampuran dengan tanah, (3) segera ditambahkan 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat dengan gelas ukur di ruang asam sambil digoyang cepat hingga tercampur rata. Diusahakan agar tidak ada partikel tanah yang terlempar ke dinding erlenmeyer bagian atas hingga tidak tercampur merata, (4) campuran tersebut dibiarkan di ruang asam selama 30 menit hingga dingin, (5) kemudian diencerkan dengan 100 ml air destilata, (6) ditambahkan 5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, 2,5 ml larutan NaF 4%, dan 5 tetes indikator difenil amin, (7) titrasi dilakukan dengan larutan 0,5 N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) hingga warna larutan berubah dari coklat kehijauan menjadi biru keruh. Lalu dititrasi hingga mencapai titik akhir, yaitu saat warna berubah menjadi hijau terang.

### 3.5.2.3 Analisis pH

Faktor yang mempengaruhi penetapan pH tanah antara lain: (1) perbandingan air dengan tanah, (2) kandungan garam-garam dalam larutan tanah, dan (3) keseimbangan CO<sub>2</sub> udara dengan CO<sub>2</sub> tanah. Nisbah antara air dengan tanah yang digunakan umumnya adalah 1 : 2,5. Semakin tinggi nisbah, maka semakin tinggi pula pH tanahnya. Jika perbandingan ini terlalu rendah, kontak antara larutan tanah dengan elektrode tidak sempurna, akibatnya pengukuran kurang teliti.

Penetapan pH tanah ini dilakukan menggunakan prosedur kerja sebagai berikut:

(1) ditimbang tanah seberat 5 gram, kemudian dimasukkan ke dalam botol plastik dan tambahkan 12,5 ml air destilata (larutan pereaksi), (2) botol berisi tanah dan air destilata dikocok selama 30 menit dengan menggunakan mesin pengocok, dan didiamkan sebentar, (3) diukur dengan pH meter, dan (4) dilanjutkan pengukuran dengan prosedur yang sama menggunakan larutan 1 N KCl sebagai larutan pereaksinya.

### 3.5.2.4 Analisis KTK

Penetapan KTK tanah ini dilakukan menggunakan prosedur kerja sebagai berikut:

(1) menambakan larutan aquades 100 ml pada tanah yang telah disaring pada pengukuran kejenuhan basa terdahulu, (2) memasukkan ke dalam labu kjeldal (atas) kemudian menambahkan NaOH 50% sebanyak 5 ml lalu meneteskan paravin sebanyak 5 tetes, (3) pada labu erlenmeyer, masukkan larutan asam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 20 ml kemudian meneteskan dengan indikator asam metil merah sebanyak 5 tetes, (4) menunggu hasil destilasi sampai larutan pada labu erlenmeyer mencapai 50 ml, dan (5) kemudian menitrasi dengan larutan 0,1 N NaOH sampai larutan yang semula berwarna merah muda menjadi warna kuning bening.

### 3.5.2.5 Analisis Tekstur Tanah

Penetapan tekstur tanah ini dilakukan menggunakan prosedur kerja sebagai berikut: (1) massa tanah kering atau lembab dibasahi secukupnya, kemudian dipijat di antara ibu jari dan telunjuk, sehingga membentuk bola lembab, (2)

sambil memperhatikan adanya rasa kasar atau licin di antara ibu jari, bola tanah yang lembab kemudian digulung-gulung dan amati adanya daya tahan terhadap tekanan dan kelekatan massa sewaktu telunjuk dan ibu jari diregangkan, dan (3) ditentukan kelas tekstur tanah berdasarkan rasa kasar atau licin, gejala pirdan, gulungan, dan kelekatan.

### **3.5.3 Analisis Data**

Data akan dibandingkan secara kualitatif antara pengestrak yang menunjukkan fraksionasi di dalam tanah. Hubungan peubah utama dan peubah pendukung diuji korelasi.

## **3.6 Peubah Penelitian**

### **3.6.1 Peubah Utama**

Peubah utama meliputi kandungan unsur hara makro (P, K, Ca, Mg) dan unsur hara mikro (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Co).

### **3.5.2. Peubah Pendukung**

Peubah pendukung meliputi pH tanah, C-organik, KTK, dan tekstur tanah.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Tidak ada perubahan kandungan dan bentuk hara akibat perlakuan limbah industri 23 tahun pascaperlakuan kecuali Cu dan Zn, yang cenderung meningkat dengan takaran limbah industri.
2. Kandungan unsur P dan K menggunakan pengekstrak air (unsur larut) berhubungan erat dengan pH H<sub>2</sub>O dan pH KCl, juga Mg dengan pH H<sub>2</sub>O, dan Mn dengan pH KCl.
3. Kandungan unsur Ca dan Mg menggunakan pengekstrak 1 N NH<sub>4</sub>OAc pH 7 (unsur terjerap) berhubungan erat dengan pH H<sub>2</sub>O dan pH KCl, juga P dengan pH KCl.
4. Kandungan unsur P, K, Ca, Fe, Mn, dan B menggunakan pengekstrak 1 N HNO<sub>3</sub> (unsur endapan) berhubungan erat dengan pH H<sub>2</sub>O dan pH KCl, juga P dengan % Liat.

### 5.2 Saran

Saran yang diberikan dari penelitian ini adalah untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian serupa untuk melihat ketersediaan maupun konsentrasi logam berat pada tanah Sidosari pascaperlakuan limbah industri dalam kurun waktu tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arwansyah, Asrul S., dan John S. A. 2019. Penggunaan algoritma FP-growth untuk mengetahui nutrisi yang tepat pada tanaman padi. *Prosiding Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*. 8(2): 1-11.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal, dan G.A. O'Connor. 1985. *Soil Chemistry*. Ed. Ke-3. John Wiley & Sons, INC. New York. 322 hlm.
- Daoust, C.M., C. Bastien, dan L. Deschenes. 2006. Influence of soil properties and aging on the toxicity of copper on compost worm and barley. *J. Environ Qual*. 35: 558-567.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 140 hlm.
- Erfandi, D., dan I, Juarsah. 2014. Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Pertanian. *J. Penelitian logam Berbahaya 1*. 7(1): 159-186.
- Evanko, C.R. dan D.A. Dzomback. 1997. *Remediation of Metals-Contaminated Soil and Groundwater*. Ground-water Remediation Technologies Analysis Center. Pittsburg. 61 hlm.
- Ginanjari, K. dan Salam, K. 2009. Fraksi labil tembaga dan seng dalam tanah pada 10 tahun setelah perlakuan dengan limbah industri. *Bachelor Thesis*. University of Lampung, Bandar Lampung (in Indonesia). 20 hlm.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *J. Pertanian Tropik*. 1(2): 31-41.
- Komarek, M., Vanek, A., and Ettler, V. 2013. Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides. *J. Environ Pollut*. 172: 9-22.
- Kusuma, Yuvia Rafi dan Ika Yantia. 2021. Pengaruh kadar air dalam tanah terhadap kadar c-organik dan keasaman (pH) tanah. *Indonesian J. of Chemical Research*. 6(2): 92-97.



- Narka, I Wayan. 2016. *Penuntun Praktikum Sifat Sifat Fisik Tanah*. Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Denpasar. 19 hlm.
- Novizan. 2002. *Petunjuk Pemupukan yang Efektif (ed. Revisi)*. Agro Media Pustaka. Jakarta. 33 hlm.
- Novpriansyah, H., Pramono, D.C., dan Salam, A.K. 2001. Ketersediaan unsur hara makro dan mikro pada tanah ultisol sungkai utara yang diperlakukan pupuk berbahan baku limbah industri sendok logam, kapur dan gambut. *J. Tanah Trop.* 13: 51-58.
- Priyanto, Aris. 1997. Penerapan mekanisasi pertanian. *J. Jurusan Teknik Pertanian.* 11(1): 54-55.
- Salam, A.K., S. Djuniwati, Sarno, N. Sriyani, H. Novpriansyah, A. Septiana, dan H. D. Putera. 1997. The DTPA-extractable heavy metals in tropical soils treated with lime materials. *Indon. J. Trop. Agric.* 8(1): 6-12.
- Salam, A.K., and Helmke, P.A. 1998. The pH dependence of free ionic activities and total dissolved concentrations of copper and cadmium in soil solution. *J. Geoderma.* 83: 281-291.
- Salam A.K., S. Juniwati, S. Widodo, dan J.T. Harahap. 1999. Penurunan kelarutan tembaga asal limbah industri di dalam tanah tropika akibat penambahan kapur dan kompos daun singkong. *J. Tanah Trop.* 8:161-167.
- Salam, A.K. 2000. A Four year study on the effects of manipulated soil pH and organic matter contents on availabilities of industrial-waste-origin heavymetals in tropical soils. *J. Tanah Trop.* 11: 31-46.
- Salam, A.K. 2001. Manajemen fraksi logam berat dalam tanah untuk pertanian dan lingkungan. *Pidato Ilmiah Guru Besar*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Salam, A.K. 2005. Depth-wise distribution of extracted Cu dan Zn in cultivated field-plots three years after treatment with a Cu- and Zn-containing waste, lime, and cassava-leaf compost. *J. Tanah Trop.* 11(1): 9-14.
- Salam, A.K. 2017. *Management of Heavy Metals in Tropical Soil Environment*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 257 hlm.
- Salam, A.K. 2020. *Ilmu Tanah*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 411 hlm.
- Salam, A.K., M Milanti, G Silva, F Rachman, I M T D Santa, D O Rizki, H Novpriansyah, and S Sarno. dkk. 2021. The use of  $NHNO_3$  to determine copper and zinc levels in heavy-metal polluted tropical soils. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 905: 1-8.

- Salam, A.K., D.O. Rizki, I.T.D. Santa, S. Supriatin, L.M. Septiana, S. Sarno, and A. Niswati. 2022. The biochar-improved growth-characteristics of corn (*Zea mays* L.) in a 22-years old heavy-metal contaminated tropical soil. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1034: 1-10.
- Sukkariyah, B. F., G. Evanylo, L. Zelazny, dan R. L. Chaney. 2005. Cadmium, copper, nickel, and zinck availability in a biosoilds-amended piedmont soil years after application. *J. Environ Qual*. 34: 2255-2262.
- Suprptini. 2002. Pengaruh limbah industri terhadap lingkungan di Indonesia. *Media Lubang Kesehatan*. 12(2): 16.
- Susanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Kanisius. Yogyakarta. 360 hlm
- US. EPA. 1993. Clean Water Act, sec. 503. *U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.* 58(32).
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah*. Gava Media. Yogyakarta. 263 hlm.