

**KINETIKA PELEPASAN FOSFOR PADA TANAH ULTISOL NATAR  
AKIBAT PERLAKUAN BESI KLORIDA ( $\text{FeCl}_3$ ), KONKRESI BESI, DAN  
BAHAN ORGANIK**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Dimas Arianto Nugroho  
1914181020**



**JURUSAN ILMU TANAH  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRAK**

### **KINETIKA PELEPASAN FOSFOR PADA TANAH ULTISOL NATAR AKIBAT PERLAKUAN BESI KLOORIDA ( $\text{FeCl}_3$ ), KONKRESI BESI, DAN BAHAN ORGANIK**

**Oleh:**

**DIMAS ARIANTO NUGROHO**

Metode-metode penetapan fosfor (P) seperti P tersedia (Bray I) dan P Potensial (HCl 25%) berlangsung satu kali pengestrakan hal ini mengacu pada reaksi kesetimbangan, sedangkan proses tanaman mengambil P di koloid dilakukan terus-menerus tidak hanya satu kali. Selain uji kesetimbangan terdapat uji kinetika untuk mengetahui pelepasan P tersedia dari koloid tanah berdasarkan waktu yang sesuai tanaman menyerap P. Contoh tanah diambil dari lapisan bawah tanah di kebun percobaan FP Universitas Lampung di Kecamatan Natar, Lampung Selatan. Penelitian menggunakan 5 perlakuan yaitu; T = Tanah, TF = Tanah+ $\text{FeCl}_3$ , TK = Tanah+Konkresi Besi, TFO = Tanah+ $\text{FeCl}_3$ +Bahan Organik, dan TKO = Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik. Analisis laboratorium yang digunakan adalah analisis P tersedia (Bray I) dan P potensial (HCl 25%) pada saat kesetimbangan dan kinetika. Hasil penelitian menunjukkan hasil kumulatif ekstraksi P lebih banyak pada saat kinetika dibandingkan saat kesetimbangan. Perlakuan TKO memiliki kumulatif P tersedia dan konstanta kecepatan P tersedia yang terlepas dari koloid paling tinggi baik secara keseluruhan, laju cepat ( $k_1$ ), dan laju lambat ( $k_2$ ).

Kata kunci : Kinetika, Konkresi besi, P tersedia, P terekstrak, Bahan organik, Ion Fe

## **ABSTRACT**

### **KINETICS OF PHOSPHORUS RELEASE IN ULTISOL NATAR DUE TO TREATMENT IRON CHLORIDE ( $\text{FeCl}_3$ ), IRON CONCRETION, AND ORGANIC MATTER**

**By:**

**DIMAS ARIANTO NUGROHO**

Phosphorus (P) determination methods such as available P (Bray I) and P Potential (HCl 25%) take place one time extraction, this refers to an equilibrium reaction whereas the process by which plants take up P in colloids is continuously carried out, not just once. In addition to the equilibrium test, there is a kinetic test to determine the rate of P release in soil colloids based on the appropriate time for plants to absorb P. The soil sample was taken from the sub soil of Experimental Garden of the FP University of Lampung in Natar District, South Lampung. The study used 5 treatments, namely: T = Soil, TF = Soil+ $\text{FeCl}_3$ , TK = Soil+Iron Concretions, TFO = Soil+ $\text{FeCl}_3$ +Organic Matter, and TKO = Soil+Iron Concretions+Organic Matter, the laboratory analysis used was analysis Available P (Bray I) and P potential (HCl 25%) at equilibrium and kinetics. The results showed that the cumulative yield of P extraction was higher at kinetics than at equilibrium. The TKO treatment had a cumulative available P and available P velocity constant regardless of the highest overall colloid, fast rate ( $k_1$ ), and slow rate ( $k_2$ ).

Keywords : Kinetics, Iron concretion, available P, P extracted, Organic matter, Fe ion

**KINETIKA PELEPASAN FOSFOR PADA TANAH ULTISOL NATAR  
AKIBAT PERLAKUAN BESI KLORIDA ( $\text{FeCl}_3$ ), KONKRESI BESI, DAN  
BAHAN ORGANIK**

Oleh

**Dimas Arianto Nugroho**

Skripsi

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

Pada

Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi

**: KINETIKA PELEPASAN FOSFOR  
PADA TANAH ULTISOL NATAR AKIBAT  
PERLAKUAN BESI KLORIDA ( $\text{FeCl}_3$ ),  
KONKRESI BESI, DAN BAHAN ORGANIK**

Nama Mahasiswa

: Dimas Arianto Nugroho

NPM

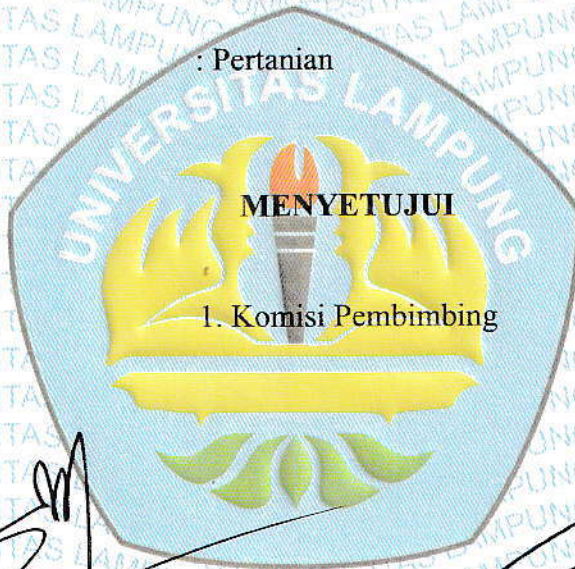
: 1914181020

Program Studi

: Ilmu Tanah

Fakultas

: Pertanian



**Prof. Ir. J. Lumbanraja, M.Sc., Ph.D.**

NIP 195303181981031002

**Nur Afni Afrianti, S.P., M.Sc.**

NIP 198404012012122002

**2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah**

**Ir. Hery Novpriansyah, M.S.**

NIP 196611151990101001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

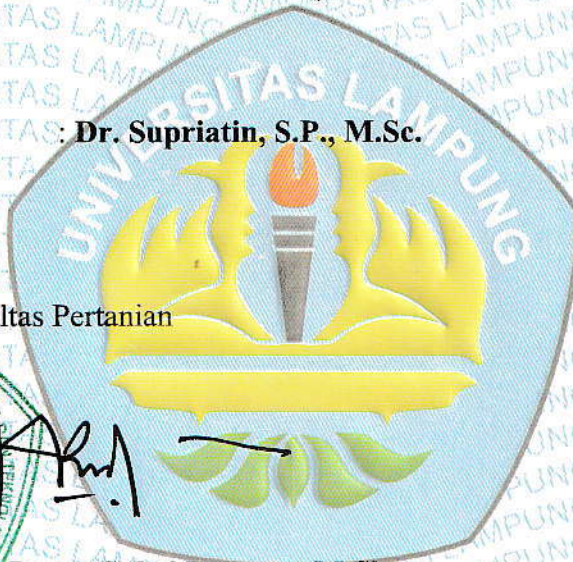
**Ketua : Prof. Ir. Jamal Lumbaraja, M.Sc., Ph.D.**



**Sekretaris : Nur Afni Afrianti, S.P., M.Sc.**



**Penguji : Dr. Supriatin, S.P., M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Pertanian**



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**

**NIP 196110201986031002**

**Tanggal Lulus Ujian : 3 Juli 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Kinetika Pelepasan Fosfor pada Tanah Ultisol Natar Akibat Perlakuan Besi Klorida ( $\text{FeCl}_3$ ), Konkresi Besi, dan Bahan Organik”** merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain. Penelitian ini merupakan penelitian bersama Bapak Prof. Ir. Jamalam Lumbanraja, M.Sc., Ph.D., dengan menggunakan dana mandiri. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Juli 2023  
Penulis,



**Dimas Arianto Nugroho**  
**NPM 1914181020**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 15 April 2001. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sugito, S.E. dan Ibu Siti Fatimah. Tahun 2006-2007 menempuh pendidikan di SD Negeri 2 Talang tahun 2007-2009 dan SD Negeri 1 Tanjung Agung pada tahun 2009-2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2013-2016 dan SMA Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2016-2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur seleksi SBMPTN dan Penerima Beasiswa Bidikmisi. Penulis pernah menjadi asisten praktikum di beberapa mata kuliah seperti Biologi Dasar, Kimia Dasar Anorganik, Kimia Dasar Organik, Mikrobiologi Pertanian, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi, Praktik Pengenalan Pertanian, dan Kimia Tanah pada semester yang berbeda-beda. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata pada Januari 2022 di Desa Pengajaran, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung. Penulis melaksanakan Praktik Umum di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Bekri Lampung Tengah. Penulis juga aktif dalam organisasi internal kampus pada tingkat jurusan berupa organisasi Gamatala menjadi anggota Bidang Komunikasi dan Informasi (2021-2022). Pada tingkat fakultas berupa UKM Fosi menjadi anggota Bidang Media Center Fosi (2019-2020). Kemudian pada tingkat universitas, Forum Komunikasi Bidikmisi/KIP Kuliah menjadi Anggota Magang Divisi Hubungan Mahasiswa, Media dan Informasi (2019-2020), Anggota Media dan Informasi (2021) lalu menjadi Ketua Divisi Media dan Informasi (2022).



*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan  
kesanggupannya  
{TQS Al-Baqarah ayat 286}*

*“Life with God is not immunity from difficulties, but peace in  
difficulties”.  
{C.S. Lewis}*

*“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan  
boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk  
bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”.  
{TQS : Al-Baqarah ayat 216}*

*“Bahkan jika kamu berada di bawah atau di atas  
semua akan baik-baik saja”.  
{H!DAN}*

*Teruntuk keluargaku tercinta  
Ayahanda "Sugito" dan Ibunda "Siti Fatimah"  
Kakakku "Nimas Ayu Fatmawati" dan Adikku "Keisya Ragita Putri"*

*Kupersembahkan karya kecil ini  
Sebagai salah satu wujud kesungguhanku  
Terimakasih untuk kedua orang tuaku tercinta  
Atas limpahan cinta dan kasih sayang yang tiada hentinya.*

*Serta  
Almamaterku Tercinta*

Universitas Lampung

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta nikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinetika Pelepasan Fosfor pada Tanah Ultisol Natar Akibat Perlakuan Besi Klorida ( $\text{FeCl}_3$ ), Konkresi Besi, dan Bahan Organik” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana. Penulisan skripsi ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa bantuan dan arahan dari para dosen pembimbing, keluarga, dan kerabat. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.S. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Ir. Jamalam Lumbanraja, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing utama yang telah memberikan saran dan bimbingan selama penelitian serta penyusunan skripsi.
4. Ibu Nur Afni Afrianti, S.P., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan motivasi dan bimbingan selama penyusunan skripsi
5. Ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc., selaku dosen penguji yang memberikan arahan, saran, dan kritik yang membangun dalam penelitian dan penulisan skripsi.
6. Ibu Astriana Rahmi Setiawati, S.P., M.Si.. selaku pembimbing akademik atas bimbingan yang telah diberikan selama penulis melaksanakan perkuliahan.
7. Kedua orang tuaku, Bapak Sugito, S.E. dan Ibu Siti Fatimah yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan dan doa tulus dalam bentuk apapun serta mbaku Nimas Ayu Fatmawati, S.Hut. dan adikku Keisya Ragita Putri
8. Beni, Desva, Sari, Fina, Tawi, Galuh, Abdi, Wulan, Jessica, Andika, dan Dian yang membantu penulis dalam analisis laboratorium.

9. Kawan-kawan Ilmu Tanah 2019 Beni Irawan, Desva Melia Sari, Diah Safitri Handayani, Muhammad Frayoga Janata, Abdi Fawwaz Pasya, Anisa Ari Fitriani, Jessica Amarastha Hayu Panjerratri, Teva Agnes Arianti, Zakiyya Nabeela Albajili, Galih Setiawan, Annur Mutiatul Khomsah, Rizki Abdillah, Al Adelia Mei Sandi, Marcelin Dinata, Deva Maharani Wirakrama, Muhammad Sofyan Syah, Tri Lestari, Reka Tiana, Rachelia Novia Amanda, Ade Putri Aisyah, Galuh Novrillia Puspita, Wulandari, Dinda Adelia Pramesti, Erwin Hidayah, Mella Rose Wijayanti, Reki Ramadhani, Maisyaroh, Selfy Nursyifa, Desi Lestari, Danang Arjuana, Muhammad Rizki, Kurnia Rahma Dani, Tazkia Assyifa Nur, Annida, Alfina Dwiyantri, Indra Riswanto, Ezta Kharisma Wijayanti, Nuki Aisah, Andika Ferdiansyah, Mahadma YD, Meidita Husnulia Pubian Turi, Cindy Fidia Salsabila, Ersya Julia Ananda, Dian Estuning Passawane, dan Muhammad Andri Saputra yang saling membantu, tempat saling bertukar cerita, menyemangati dari awal perkuliahan hingga penulis menyelesaikan studi S1-nya di Unila.
10. Kepada Kak Nabila, Kak Sekar, Kak Erni, Kak Galuh, Bang Nug, dan Kak Arum yang turut membantu penulis dalam tugas-tugas perkuliahan
11. Kiki, Andrian, Indah, Herdi, Shafa, dan Fathin yang membantu penulis selama ini baik dikala susah ataupun senang.
12. Keluarga besar Forkom Bidikmisi/KIP-K Unila, Pimpinan 2022: Kiki, Dewi, Mahmah, Oka, Inggil, Desy, Ajeng, Fany, Della, Diana, Max, Bella, Mulmul, Novita, dan Tina Pengurus 2022.

Semoga bantuan yang diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, 3 Juli 2023

Penulis,

Dimas Arianto Nugroho

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Kerangka Pemikiran.....	4
1.4 Hipotesis.....	8
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
2.1 Sifat dan Ciri Tanah Ultisol .....	9
2.2 Ketersediaan P di Tanah Ultisol.....	11
2.3 Pengaruh Fe terhadap Pelapasan P pada Tanah Ultisol .....	12
2.4 Pengaruh Bahan Organik terhadap Pelapasan P pada Tanah Ultisol..	14
2.5 Kinetika Kimia.....	16
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Metode .....	19
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	20
3.4.1 Persiapan Awal.....	20
3.4.2 Prosedur Analisis.....	21
3.4.3 Waktu Pengamatan.....	25
3.5 Analisis Data .....	25

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Karakteristik Kimia Tanah Ultisol.....	28
4.2 Kinetika Fosfor Terektrak.....	29
4.2.1 Kinetika Laju Cepat ( $k_1$ ).....	37
4.2.2 Kinetika Laju Lambat ( $k_2$ ).....	39
4.2.3 Perbandingan $k_1$ (Laju Cepat) dan $k_2$ (Laju Lambat).....	42
4.3 Perbandingan P Potensial, P Tersedia saat Kesetimbangan dan P Tersedia saat Kinetika.....	44
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>48</b>
5.1 Simpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>52</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Komposisi Pembuatan Deret Standar P. ....	23
Tabel 2. Parameter kinetika perubahan laju P tersedia yang terlepas terhadap waktu inkubasi .....	35
Tabel 3. Parameter kinetika perubahan laju P tersedia yang terlepas terhadap waktu inkubasi pada laju cepat ( $k_1$ ).....	38
Tabel 4. Parameter kinetika perubahan laju P tersedia yang terlepas terhadap waktu inkubasi pada laju lambat ( $k_2$ ). ....	41
Tabel 5. Perbandingan konstantan kecepatan pada laju Cepat ( $k_1$ ) dan laju lambat ( $k_2$ ). ....	43
Tabel 6. Perbandingan P terekstrak dengan larutan bray I dan larutan HCl 25% pada saat kesetimbangan dan kinetika. ....	45
Tabel 7. Uji <i>t student</i> pada P terekstrak pada reaksi kesetimbangan (P potensial dan P tersedia) dan reaksi kinetika (P tersedia).....	47
Tabel 8. Hasil analisis jerapan P di koloid.....	54
Tabel 9. Konsentrasi P terekstrak terhadap waktu ekstraksi.....	55
Tabel 10. Akumulasi konsentrasi P terekstrak terhadap waktu ekstraksi .....	56
Tabel 11. Akumulasi konsentrasi P terekstrak terhadap waktu ekstraksi pada laju cepat ( $k_1$ ) dan laju lambat ( $k_2$ ) .....	57

Tabel 12. Hubungan antara fraksi P pada koloid tanah $[P]_t$ pada waktu ekstraksi.....	58
Tabel 13. Fraksi P pada koloid tanah $\ln[P]_t$ vs waktu ekstraksi .....	59
Tabel 14. Perbandingan P terekstrak dengan larutan bray I dan larutan HCl 25% pada kesetimbangan dan kinetika .....	60



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Plot $-\ln[P]_t$ vs $t$ pada reaksi kinetika pelepasan P dari koloid tanah .....	8
Gambar 2. Hubungan kumulatif P terekstrak (ppm) dengan lamanya ekstraksi .....	25
Gambar 3. Hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan lamanya ekstraksi.....	26
Gambar 4. Hubungan $[P]_t$ terhadap waktu ( $t$ ) menurut hukum kinetika orde satu. ....	27
Gambar 5. Grafik kumulatif P terekstrak menggunakan larutan Bray I pada setiap perlakuan sebagai fungsi waktu. ....	29
Gambar 6. Hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu ekstraksi pada setiap perlakuan.....	33
Gambar 7. Hubungan antara $-\ln[P]_t$ terhadap waktu ekstraksi menurut hukum kinetika berorde satu. ....	35
Gambar 8. Hubungan antara $-\ln[P]_t$ terhadap waktu ekstraksi pada kinetika cepat ( $k_1$ ).....	37
Gambar 9. Hubungan antara $-\ln[P]_t$ terhadap waktu ekstraksi pada kinetika lambat ( $k_2$ ). ....	40

Gambar 10. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah (T), Tanah+FeCl <sub>3</sub> (TF), Tanah+Konkresi Besi (TK), Tanah+FeCl <sub>3</sub> +Bahan Organik (TFO), dan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO). .....	61
Gambar 11. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah (T).....	61
Gambar 12. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah+FeCl <sub>3</sub> (TF). .....	62
Gambar 13. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah+Konkresi Besi (TK).....	62
Gambar 14. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah+FeCl <sub>3</sub> +Bahan Organik (TFO).....	63
Gambar 15. Grafik akumulasi P terekstrak dari tanah dari perlakuan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO). .....	63
Gambar 16. Grafik hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu inkubasi (pengekstrakan) pada perlakuan Tanah (T). .....	64
Gambar 17. Grafik hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu inkubasi (pengekstrakan) pada perlakuan Tanah+FeCl <sub>3</sub> (TF).....	64
Gambar 18. Grafik hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu inkubasi (pengekstrakan) pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi (TK). .....	65
Gambar 19. Grafik hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu inkubasi (pengekstrakan) pada perlakuan Tanah+FeCl <sub>3</sub> +Bahan Organik (TFO). .....	65
Gambar 20. Grafik hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan waktu inkubasi (pengekstrakan) pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO).....	66
Gambar 21. Hubungan antara [P] <sub>t</sub> terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah (T). .....	66
Gambar 22. Hubungan antara [P] <sub>t</sub> terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+FeCl <sub>3</sub> (TF). .....	67

Gambar 23. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi (TK).....	67
Gambar 24. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+ $FeCl_3$ +Bahan Organik (TFO). ....	68
Gambar 25. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO). ....	68
Gambar 26. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah (T) pada laju cepat (k1). ....	69
Gambar 27. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+ $FeCl_3$ (TF) pada laju cepat (k1).....	69
Gambar 28. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi (TK) pada laju cepat (k1). ....	70
Gambar 29. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+ $FeCl_3$ +Bahan Organik (TFO) pada laju cepat (k1). ....	70
Gambar 30. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO) pada laju cepat (k1).....	71
Gambar 31. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah (T) pada laju lambat (k2).....	71
Gambar 32. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+ $FeCl_3$ (TF) pada laju lambat (k2).....	72
Gambar 33. Hubungan antara $[P]_t$ terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi (TK) pada laju lambat (k2).....	72

- Gambar 34. Hubungan antara  $[P]_t$  terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+FeCl<sub>3</sub>+Bahan Organik (TFO) pada laju lambat (k<sub>2</sub>). ..... 73
- Gambar 35. Hubungan antara  $[P]_t$  terhadap waktu (t) menurut hukum kinetika berorde 1 pada perlakuan Tanah+Konkresi Besi+Bahan Organik (TKO) pada laju lambat (k<sub>2</sub>). ..... 73

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan pangan membuat para petani harus tetap memproduksi tanaman pangan walaupun di lahan yang memiliki kesuburan yang rendah seperti tanah Ultisol. Penggunaan lahan Ultisol terus meningkat walaupun kesuburan tanah tersebut sangat rendah. Rendahnya kesuburan tanah ini karena kadar unsur hara yang tersedia dan bahan organik dalam konsentrasi yang rendah, rendahnya KTK, pH tanah yang bersifat masam, dan adanya kejenuhan Fe dan Al yang tinggi (Sutedjo, 2002). Tanah Ultisol merupakan tanah tua yang sudah mengalami pelapukan lanjut dan kandungan fosfor terikat kuat pada koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Apabila keadaan tanah masam maka Fe dan Al terlarut dapat membentuk senyawa Fe-P dan Al-P sehingga fosfor tidak tersedia. Tingginya kandungan Fe pada tanah juga mampu membuat tanaman keracunan (Hasibuan dkk., 2014). Menurut Wahida dkk. (2007), juga menyatakan bahwa permasalahan yang sering dialami pertanian di tanah Ultisol adalah ketersediaan fosfor dalam tanah yang rendah akibat adanya fiksasi fosfor di tanah.

Bentuk fosfor yang tersedia dalam tanah dan dapat diserap langsung oleh tanaman adalah bentuk ion ortofosfat  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Bentuk P di dalam tanah yang dapat diserap tanaman berbeda-beda dipengaruhi oleh kemasaman (pH) tanah. Pada pH tanah yang rendah atau masam ( $\text{pH} < 7$ ), tanaman akan menyerap fosfor dalam bentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Pada pH tanah yang netral ( $\text{pH} 5,5-7$ ), tanaman akan menyerap bentuk  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Pada pH tanah basa atau alkalin ( $\text{pH} > 7$ ), tanaman akan menyerap dengan bentuk  $\text{PO}_4^{3-}$  (Hanafiah, 2007).

Banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor pada tanah Ultisol untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman seperti penambahan pupuk fosfat dan bahan organik. Pemberian pupuk fosfat seperti SP-36 dan TSP merupakan salah satu cara menambah unsur P di tanah untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Hal ini karena pupuk tersebut menyediakan unsur hara yang langsung tersedia bagi tanaman. Saat penambahan pupuk ke dalam tanah tidak semua P dari pupuk akan diserap tanaman. Unsur hara P yang tidak diserap tanaman akan dijerap oleh koloid tanah atau terfiksasi oleh ion lain seperti Fe dan Al. Menurut Hasibuan dkk. (2014) unsur hara P yang terjerap di koloid tanah masih dapat terekstraksi oleh akar tanaman melalui difusi atau kontak langsung.

Fosfor yang terjerap dapat diserap tanaman tergantung bagaimana penjerapan P di koloid tanah. Penambahan pupuk P akan kurang efektif jika terdapat banyak kandungan Fe di tanah dan akan menjerap P menjadi senyawa Fe-P. Jika unsur hara P terikat kuat di koloid tanah atau terfiksasi Fe dan Al di tanah, tanaman akan kesulitan menyerap P sehingga pelepasan P dari koloid tanah juga ikut berkurang dan ketersediaan P di tanah berkurang (Syahputra dkk., 2015). Bentuk Fe di tanah umumnya berbentuk  $Fe^{3+}$  di lahan kering dan  $Fe^{2+}$  pada lahan tergenang. Kandungan Fe-dd termasuk sangat tinggi apabila digenangi akan terjadi reduksi dari  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$  yang larut dan jumlahnya bisa meningkat sampai pada tingkat meracuni terhadap tanaman. Penambahan  $FeCl_3$  mampu menambah kandungan Fe pada tanah sehingga memungkinkan terbentuknya koloid dengan komposisi Fe oksida/hidroksida yang dapat mengikat P. Selain itu, karatan Fe juga bisa terbentuk pada tanah serta karatan tersebut dapat berkembang menjadi konkresi besi di tanah (Syaiful dan Untung, 2013). Tanah yang tergenang air dan mengering dapat mempengaruhi keberadaan ion Fe. Proses penjenuhan air dan pengeringan di tanah yang terjadi secara bergilir dapat membentuk konkresi besi. Konkresi ini terbentuk akibat proses reduksi dan oksidasi secara bergilir, makin merah warna konkresi semakin besar kadar Fe-nya (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Konkresi ini dapat larut (hancur) yang kemungkinan melepaskan Fe yang terkandung dan kembali aktif tetapi kemampuan jerap P nya tidak sekuat sebelum menjadi konkresi.

Bahan organik dikenal mampu meningkatkan kesuburan tanah. Menurut Tufaila dkk. (2014), penambahan bahan organik dapat meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah. Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P dapat secara langsung melalui proses mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang terfiksasi. Hasil dekomposisi bahan organik yang berupa asam-asam organik dapat membentuk ikatan khelat dengan ion-ion Fe dan Al sehingga dapat menurunkan kelarutan ion Fe dan Al, maka dengan begitu ketersediaan P menjadi meningkat. Asam-asam organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik juga dapat melepaskan P yang terjerap sehingga ketersediaan P untuk tanaman meningkat.

Secara kuantitatif bahan organik mengandung sedikit unsur hara, akan tetapi bahan organik berperan penting dalam meningkatkan KTK tanah sehingga mampu meningkatkan penyediaan hara di dalam tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk kandang kotoran ayam secara nyata menambah unsur hara P dan K ke dalam tanah cukup besar dibandingkan pupuk organik lainnya. Asam-asam organik hasil dekomposisi bahan organik melalui aktivitas mikroorganisme tanah akan menghasilkan anion organik, dimana anion organik yang dihasilkan mampu mengkelat ion logam seperti Fe, Al, dan Ca membentuk senyawa kompleks sehingga pengkelatan ini membebaskan P anorganik dan ketersediaan P tanah akan meningkat (Hasibuan dkk., 2014) dan mampu mendesak P yang telah berada pada kompleks jerapan tanah. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh positif dari permukaan organik terhadap daya jerap P di koloid tanah sehingga mampu membebaskan fraksi P (Lopez-Hernandez dkk., 1979).

Metode-metode penetapan P seperti P tersedia (Bray I) dan P potensial (HCl 25%) berlangsung satu kali pengestrakan yang mengacu pada reaksi kesetimbangan. Sedangkan proses tanaman mengambil P di koloid dilakukan terus-menerus tidak hanya satu kali. Diperlukan uji reaksi kinetika untuk mengetahui kecepatan pelepasan P di koloid tanah yang sesuai dengan keadaan tanaman menyerap P di koloid tanah secara terus-menerus. Reaksi kinetika kecepatan pelepasan P

menggunakan waktu akan menghasilkan kumulatif produk P yang terekstrak dari reaktor akan lebih tinggi dibanding reaksi kesetimbangan. Menurut Lumbanraja (2017), kondisi reaksi kimia di dalam tanah umumnya bukan reaksi tertutup dan kecil kemungkinan reaksi kimia dalam keadaan kesetimbangan. Kinetika mempelajari kimia tanah dengan cara eksperimental untuk menetapkan kecepatan reaksi yang tentunya bergantung dengan waktu.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kadar P tersedia yang terlepas dari koloid tanah pada perlakuan  $\text{FeCl}_3$ , dan konkresi besi serta akibat pengaruh bahan organik terhadap kedua perlakuan.
2. Membandingkan konstanta kecepatan pelepasan P (k) akibat pengaruh bahan organik pada perlakuan  $\text{FeCl}_3$  dan konkresi besi.
3. Membandingkan P yang terekstrak pada P tersedia saat reaksi kinetika dengan P tersedia dan P potensial yang terlepas dari koloid tanah saat reaksi kesetimbangan.

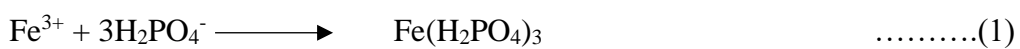
## 1.3 Kerangka Pemikiran

Kandungan hara pada tanah Ultisol umumnya rendah karena pencucian basa-basa berlangsung secara intensif dan kandungan bahan organik yang rendah karena proses dekomposisi bahan organik sendiri berjalan dengan cepat. Curah hujan yang intensif juga membuat kandungan bahan organik dan unsur hara di tanah ini mengalami pencucian sehingga tanah menjadi kurang subur (Hardjowigeno, 2003). Kurangnya kandungan unsur hara tanah salah satunya unsur P pada Ultisol dapat diatasi dengan penambahan pupuk. Tetapi pada tanah tersebut mengandung ion-ion yang mampu memfiksasi P dengan kuat seperti ion-ion Al, Fe, dan Mn. Kandungan besi pada tanah dapat mengganggu ketersediaan P yang membuat pemupukan P kurang efektif. Reaksi jerapan dapat terjadi antara fosfor dan hidro-



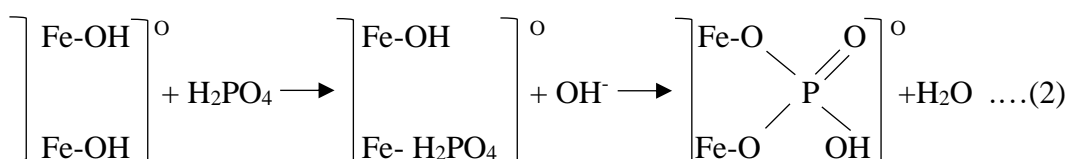
oksida besi dan aluminium. Semakin tinggi kadar senyawa–senyawa tersebut dalam tanah semakin tinggi pula kapasitas jerapan fosfornya. Hanya saja, bentuk Fe bebas tersebut sangat reaktif pada keadaan teroksidasi terhadap ion fosfor, sehingga kelarutan ion fosfor menurun (Damanik dkk., 2010).

Perlakuan  $\text{FeCl}_3$  bertujuan untuk menambah konsentrasi Fe di tanah. Fosfat umumnya akan dipresipitasi sebagai Fe(III)-fosfat dan Al-fosfat selama tanah berada pada kondisi kering. Reaksi dapat dilihat sebagai berikut:



Hasil reaksi ini sulit larut dalam air dan terpresipitasi dari larutan, dengan berjalannya waktu, endapan fosfat ini akan semakin sulit melarut dan sulit tersedia bagi tanaman. Dengan semakin rendahnya pH tanah, semakin tinggi konsentrasi Al, Fe, dan Mn terlarut. Akibatnya akan semakin banyak fosfor yang diendapkan dengan proses ini. Pada saat kemudian digenangi kembali, Fe(III)-fosfat akan tereduksi menjadi bentuk Fe(II)-fosfat yang lebih mudah larut. Pada keadaan ini, ketersediaan P bagi tanaman akan meningkat.

Kemudian proses penjerapan P pada koloid Fe-oksida mula-mula Fe oksida bereaksi dengan cepat dengan fosfat terlarut, membentuk seri hidroksifosfat sukar larut. Berdasarkan teori pertukaran ligan, reaksi fiksasi fosfat oleh hidrus oksida, misalnya besi, dapat digambarkan dengan reaksi berikut. Fosfat mula-mula menggantikan gugus  $\text{OH}^-$  pada salah satu sisi ikatan koordinasi Fe, kemudian diikuti dengan pengaturan struktur oksida dimana ion fosfat menjadi jembatan ikatan antara kedua kation Fe. Pada bentuk pertama (disebut kompleks monodentat), fosfat terfiksasi masih bersifat labil. Bentuk kedua (disebut kompleks bidentat), ion fosfat menjadi sangat stabil (Syaiful dan Untung, 2013).



Menurut Syaiful dan Untung (2013), dalam keadaan oksidatif, misalnya pada lahan kering atau ketika tanah sawah sedang diberakan, maka Fe berada dalam bentuk oksidatif  $\text{Fe}^{3+}$  sehingga dapat membentuk bercak-bercak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dapat berkembang menjadi konkresi besi yang keras dan berwarna lebih merah dapat berlanjut menjadi batu besi. Pada konkresi besi tanah, Fe di tanah memiliki kelarutan yang sedikit untuk menjerap P karena telah mengalami oksidasi-reduksi dan kemampuan menjerap P lebih lemah. Fe dapat berbentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeOOH}$ , atau  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  menjadi Fe tidak tersedia. Hal ini mampu mengurangi Fe dalam menjerap P sehingga P menjadi lebih tersedia untuk tanaman. Penumbukan konkresi besi diharapkan mampu membuat Fe menjadi aktif.

Bahan organik dikenal sebagai sumber hara makro dan mikro bagi tanaman. Selain itu, bahan organik mempunyai nilai KTK yang tinggi sebagai akibat ionisasi gugus-gugus fungsional seperti karboksil ( $-\text{COOH}$ ) bermuatan negatif dan gugus amin ( $-\text{NH}_2$ ) bermuatan positif. Muatan positif dapat berikatan elektrostatik dengan muatan negatif dari koloid tanah. Asam-asam organik dan bahan organik mampu melarutkan ion Fe dan mampu melepaskan fosfat dari ikatan Fe-P sehingga pengendapan Fe terhadap P berkurang dan P dapat tersedia bagi tanaman (Lumbanraja, 2017). Ekstraksi yang terjadi dapat diukur dengan P dari koloid ke dalam tanaman melalui akar (rambut akat). Menurut Hardjowigeno (2013), kandungan tanah yang berbeda seperti adanya bahan organik dan besi memiliki pelepasan fosfor yang berbeda.

Bentuk P dalam tanah dapat diketahui dengan analisis penetapan P tanah yang dapat dilakukan dalam beberapa kali pengukuran. Pengukuran P tersedia dapat dilakukan dengan metode Bray Khurtz I dengan ekstraksi P yang dilakukan satu kali disebut sebagai pengukuran P saat reaksi kesetimbangan hal ini juga berlaku untuk pengukuran P Potensial sedangkan pengukuran P tersedia pada waktu tertentu disebut sebagai reaksi kinetika pelepasan P. Kadar P yang diukur akan lebih banyak saat kinetika karena P yang terukur adalah jumlah kumulatif dari ekstraksi berdasarkan waktu. Menurut Zaini dkk. (2016), reaksi kesetimbangan ditentukan secara termodinamika dimana jika salah satu konsentrasi pereaksi

dalam reaksi ditingkatkan maka kesetimbangan reaksi bergeser ke arah produk, sedangkan kinetika memiliki konsep kecepatan dan mekanisme reaksi yang berhubungan dengan waktu.

Menurut Lumbanraja dkk. (2017), model kinetika orde I adalah model kinetika yang pertama untuk sistem liquid-solid yang memiliki konsep kapasitas solid. Metode kinetik ini adalah salah satu persamaan kinetika yang telah diaplikasikan secara umum yang mampu menjabarkan adsorpsi suatu zat yang terlarut dalam larutan. Pada reaksi orde I, kecepatan reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan. Reaksi pelepasan P tersedia dari koloid dapat dijabarkan berikut:



Keterangan:

$[P]_0$  = Fraksi P pada awal reaksi

$[P]_t$  = fraksi P yang tertinggal pada koloid  $(1 - \frac{P_t}{P_\alpha})$  \dots\dots\dots(4)

$P_t$  = konsentrasi P terekstrak pada waktu (t)

$P_\alpha$  = maksimum P terjerap pada koloid tanah

$k_t$  = nilai konstanta kecepatan P ditentukan dari garis regresi

- Untuk kinetika berorde 1:

$$-\frac{d[P]}{dt} = k[P]^1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

- k adalah konstanta kecepatan reaksi

$$-\frac{d[P]}{[P]^1} = k dt \quad \dots\dots\dots(6)$$

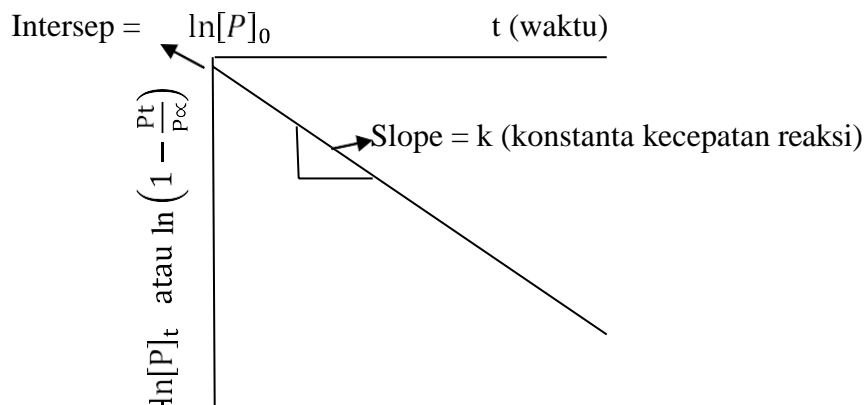
- Persamaan di atas diintegrasikan menjadi:

$$\int_{[P]_0}^{[P]_t} \frac{d[P]}{[P]} = -k \int_0^t dt \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$(\ln [P]_t - \ln [P]_0) = -kt \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\ln [P]_t = \ln [P]_0 - kt \quad \dots\dots\dots(9)$$

Jika diplotkan  $\ln [P]_t$  vs t, maka didapat grafik yang menyerupai grafik kinetika berorde I (Lumbanraja, 2017). Grafik disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot (  $\ln [P]_t$  ) vs t pada reaksi kinetika pelepasan P dari koloid tanah

Menurut Lumbanraja (2017), saat pengestrakan berlangsung terjadi dalam keadaan suhu dan tekanan yang stabil (tetap) dan juga wadah tertutup sehingga menunjukkan reaksi kesetimbangan. Tetapi reaksi kesetimbangan belum tepat menggambarkan bagaimana koloid tanah mengekstrak P dan menunjukkan adanya ketersediaan P di tanah. Diperlukan uji kinetika selain uji kesetimbangan karena mampu menunjukkan ketersediaan P yang terjadi terus-menerus dengan waktu ekstraksi dan mampu menggambarkan bagaimana ekstraksi P di koloid tanah. Sehingga jumlah P yang terlepas dari koloid lebih banyak menggunakan kinetika dibandingkan kesetimbangan.

#### 1.4 Hipotesis

Berdasarkan hasil dari kerangka pemikiran maka dapat dikemukakan hipotesis sebagai berikut:

1. Kadar P tersedia yang terlepas akibat pengaruh bahan organik pada perlakuan konkresi besi lebih tinggi daripada perlakuan  $\text{FeCl}_3$  baik pada reaksi kesetimbangan dan kinetika.
2. Konstanta kecepatan pelepasan P (k) akibat perlakuan pengaruh bahan organik pada perlakuan konkresi besi lebih cepat dari pada perlakuan  $\text{FeCl}_3$ .
3. Kadar P yang terekstrak dari koloid tanah lebih tinggi pada pengestrakan P tersedia (Bray I) saat reaksi kinetika daripada saat reaksi kesetimbangan pada P tersedia (Bray I) dan P terekstrak pada P potensial (HCl 25%).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sifat dan Ciri Tanah Ultisol

Tanah Ultisol mempunyai keterbatasan sifat fisik dan kimia yang dapat menjadi masalah. Mengingat sebaran Ultisol yang luas, maka tanah ini mempunyai masih memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan yang produktif. Tanah Ultisol seringkali terkendala dengan pertumbuhan dan produktifitas tanaman yang lambat karena kondisi tanah yang kurang mendukung dalam hal tersebut (Damanik dkk., 2010).

Ultisol merupakan tanah yang sudah berkembang lanjut, di Indonesia banyak ditemukan di daerah dengan bahan induk bantuan liat. Ultisol mempunyai horison diagnostik argilik dengan kejenuhan basah. Ciri khas Ultisol adalah nilai pH tanah rendah, persentase kejenuhan basa rendah dan kandungan aluminium dapat ditukar tinggi. Pada kondisi masam, P yang dilepaskan dalam larutan tanah akan bereaksi cepat sekali dengan Al atau Fe membentuk senyawa yang tidak larut. Umumnya mempunyai nilai KTK rendah, akumulasi seskuioksida dan horison oksidik. Dua sifat terakhir dicerminkan oleh kadar besi tinggi oksida dan aluminium hidroksida tinggi dalam tanah. Kapasitas adsorpsi P oleh tanah secara umum dipengaruhi oleh kandungan liat, Al-bebas dan Fe-oksida, pH, kekuatan ion larutan tanah, bahan organik, dan mineralogi tanah (Thaha, 2001).

Tanah yang berkembang lanjut (tua), liat didominasi oleh gibsit, kaolinit dan oksida-oksida besi dan aluminium. Sebagian liat mempunyai kapasitas tukar anion atau bermuatan positif dan cadangan mineral sangat rendah (Sutedjo, 2002).

Tanah masam ini juga telah mengalami pencucian basa-basa yang intensif dan

umumnya dijumpai pada lingkungan dengan drainase baik. Kondisi tersebut sangat menunjang untuk pembentukan mineral kaolinit. Namun, dominasi kaolinit tersebut tidak mempunyai kontribusi yang nyata pada sifat kimia tanah, karena KTK kaolinit sangat rendah, berkisar 1,20–12,50 cmol kg<sup>-1</sup>, mineral liat lainnya yang sering dijumpai adalah haloisit dan gipsit (Subagyo dkk., 2004)

Tanah Ultisol umumnya mempunyai nilai kejenuhan basa < 35%, karena batas ini merupakan salah satu syarat untuk klasifikasi Tanah Ultisol menurut *Soil Taxonomy*, beberapa jenis tanah Ultisol mempunyai kapasitas tukar kation < 16 cmol kg<sup>-1</sup> liat, yaitu Ultisol yang mempunyai horizon kandik. Reaksi Tanah Ultisol pada umumnya masam hingga sangat masam (pH 5–3,10), kecuali Tanah Ultisol dari batu gamping yang mempunyai reaksi netral hingga agak masam (pH 6,80–6,50) (Hermawan dkk., 2013). Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada Tanah Ultisol dari granit, sedimen, dan tufa tergolong rendah masing-masing berkisar antara 2,90–7,50 cmol kg<sup>-1</sup>, 6,11–13,68 cmol kg<sup>-1</sup>, dan 6,10–6,80 cmol kg<sup>-1</sup>, sedangkan yang dari bahan volkan andesitik dan batu gamping tergolong tinggi (>17 cmol kg<sup>-1</sup>) (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Kemudian tanah berkembang lanjut tercermin pada sifat fisik tanah ini. Sifat fisika tanah berhubungan erat dengan kelayakan pada banyak penggunaan lahan yang diharapkan dari tanah. Kekokohan dan kekuatan pendukung drainase dan kapasitas penyimpan hara, kemudahan ditembus akar, aerasi dan penyimpanan hara tanaman secara erat berkaitan dengan kondisi fisik tanah. Sifat-sifat fisik tanah meliputi tekstur tanah, struktur tanah, konsistensi tanah dan porositas tanah. Umumnya Ultisol berwarna kuning kecoklatan hingga merah, terbentuk dari bahan induk tufa masam, batu pasir dan sedimen kuarsa, sehingga tanahnya bersifat masam dan miskin unsur hara, kejenuhan basa, kapasitas tukar kation dan kandungan bahan organik rendah. Ultisol memiliki permeabilitas lambat hingga sedang, dan kemantapan agregat rendah sehingga sebagian besar tanah ini mempunyai daya kapasitas air yang rendah dan peka terhadap erosi (Prasetyo dan Suriadikarta, 2007).

Horison A pada tanah merupakan kesuburan alami yang hanya dimiliki Tanah Ultisol dan bagian horizon ini tipis dengan kandungan bahan organik yang rendah (Damanik dkk., 2010). Menurut Sutedjo (2002), kandungan unsur hara makro seperti fosfor dan kalium juga seringkali rendah, pH tanah yang masam, kandungan aluminium dan liat yang tinggi serta tingkat erosivitas tanah yang tinggi merupakan sifat-sifat tanah Ultisol yang seringkali menghambat pertumbuhan dan produktifitas tanaman. Beberapa upaya perbaikan produktifitas tanah dapat dilakukan seperti perlindungan terhadap erosi, penambahan bahan organik tanah, pemberian amelioran, pemupukan, pemanfaatan mikoriza dan pengolahan tanah yang tepat diharapkan dapat meningkatkan kemampuan tanah ini dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

## **2.2 Ketersediaan P di Tanah Ultisol**

Unsur hara P merupakan hara yang sangat dibutuhkan untuk tanaman dalam jumlah banyak setelah N dan lebih banyak daripada K. Fosfat diperlukan oleh tanaman untuk pembentukan adenosin dan triphosphate (ADP dan ATP) yang merupakan sumber energi untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Lastianingsih dkk., 2008). Selain itu kecukupan P sangat penting untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan bagian vegetatif dan reproduktif tanaman; meningkatkan kualitas hasil; dan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Dengan demikian, pengelolaan hara P merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam meningkatkan produksi pertanian dalam bidang pangan (Damanik dkk., 2010).

Secara garis besar, fosfor tanah dibedakan menjadi fosfor organik dan anorganik. Fosfor masuk ke dalam tanah melalui proses adsorpsi oleh tanaman dan jasad renik. Sumber P dalam tanah ditentukan oleh susunan mineral primer dan sekunder (bahan induk), sedangkan ketersediaannya tergantung pada pH, jumlah ion dan senyawa Al, Fe, Mn, Ca, Cu, Zn, kadar bahan organik, suhu atau adanya mineral yang mengandung Fe, Al, dan Mn. Ketersediaan unsur P dalam tanah

sangat dipengaruhi oleh tingkat kemasaman tanah, yaitu apabila kemasaman tanah tinggi maka misel tanah larut lebih banyak sehingga cenderung untuk mengikat fosfat (Wahida dkk., 2007). fiksasi P dalam tanah pada  $pH > 5$  sampai  $pH < 8$  dilakukan oleh hidro-oksida Fe, Al, dan Mn baik dalam bentuk amorf maupun kristalin seperti limonit dan goetit dengan jumlah P yang difiksasi mineral tersebut dalam tanah masam melebihi pengendapan yang disebabkan oleh kation Fe, Al, dan Mn dapat larut (Hakim dkk., 1986).

Terdapat paling tidak tiga masalah utama yang harus diperhatikan yaitu jumlah total unsur P sangat rendah, ketersediaan unsur P sangat rendah, dan daya jerap tanah yang sangat tinggi, terutama pada tanah-tanah yang telah mengalami pelapukan intensif, seperti pada tanah Ultisol. Jerapan P adalah suatu keadaan dimana P yang ada di dalam tanah bereaksi dengan koloid maupun mineral liat di dalam tanah yang menyebabkan P tidak tersedia bagi tanaman (Nursyamsi dan Setyorini, 2009). Besarnya jerapan P yang terjadi pada koloid tanah berhubungan dengan kandungan Fe dan Al terekstrak, kandungan oksida atau oksida hidrat dari Fe dan Al, dan kandungan liat. Semakin tinggi kandungan tersebut di dalam tanah, maka semakin besar pula kemampuan tanah tersebut dalam menjerap P.

Menurut Damanik dkk. (2010), Fiksasi P oleh bentuk hidro-oksida tersebut dalam tanah pada kisaran pH yang relatif lebar. Rendahnya kadar P dalam tanah serta terjadinya fiksasi P yang tinggi merupakan permasalahan yang aktual pada tanah yang berkembang lanjut. Pemupukan P pada tanah ini harus mempertimbangkan ketersediaan P dalam tanah dan fiksasi P yang tinggi, serta kebutuhan hara tanaman merupakan suatu pendekatan yang rasional agar diperoleh pertumbuhan dan hasil yang optimum.

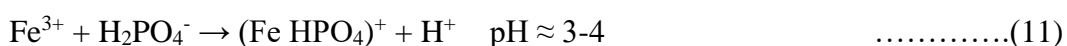
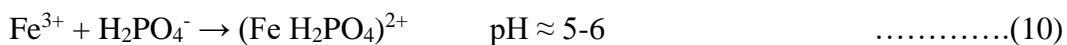
### **2.3 Pengaruh Fe terhadap Pelapasan P pada Tanah Ultisol**

Ion besi sering dijumpai di tanah termasuk Ultisol. Menurut Hakim dkk. (1986), tingginya kandungan Fe di dalam tanah mampu menjerap P sehingga P tidak



tersedia. Anion fosfat bereaksi dengan senyawa Fe aktif membentuk ikatan kovalen, reaksi ini menyebabkan fosfat terjerap sulit untuk terdesorpsi. Walaupun P ada di dalam tanah berjumlah banyak dan terdapat banyak ion Fe juga, P tersebut tidak dapat diambil oleh akar tanaman dan tanaman menunjukkan gejala kekurangan unsur hara P. Tanah akan menjadi miskin P dan pH tanah akan menurun akibat reaksi Fe yang melepaskan  $H^+$  untuk menjerap P (Nursyamsi dan Setyorini, 2009).

Tanah asam dengan  $pH < 5,5$  didominasi oleh kation  $Fe^{3+}$  dan  $Al^{3+}$  yang mengikat anion  $H_2PO_4^-$  dan mengendapkannya sebagai hidroksi Fe<sup>-</sup> fosfat dan Al-fosfat melalui reaksi (Sari, 2015).



Senyawa-senyawa Al-fosfat dan Fe-fosfat semakin tersedia jika keasaman meningkat hingga  $pH \leq 5,5$  dan pada  $pH > 5,5$  kelarutannya berkurang sehingga menyusutkan pengaruh meracuni dan mengurangi kemampuannya dalam mengendapkan fosfat dari larutan tanah (Lopez-Hernandez *et al.*, 1979). Saat tanah tergenang air pH tanah akan meningkat, sehingga Al menjadi tidak larut. Tetapi kandungan Fe-dd akan sangat tinggi apabila tanah tergenang air hal ini akan menyebabkan terjadinya reduksi dari  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$  yang larut dan jumlahnya bisa meningkat sampai pada tingkat meracuni terhadap tanaman (Herviyanti dkk., 2011). Berbagai macam upaya untuk mengatasi masalah keracunan Fe telah dilakukan seperti dengan pengelolaan air, penambahan bahan organik dan pemakaian varietas yang toleran, tetapi teknologi yang tepat dan efisien belum ditemukan. Menurut Sutedjo (2002), pada saat tanah tergenang Fe ada dalam bentuk  $Fe^{2+}$  dan dapat diserap tanaman, sedangkan pada saat tanah dikeringkan sebagian  $Fe^{2+}$  yang tertinggal akan berubah menjadi  $Fe^{3+}$  yang mudah bereaksi dengan unsur lain dan umumnya tidak dapat diserap tanaman.

Kandungan besi di Tanah Ultisol sangat berlimpah dan dapat berbentuk konkresi besi. Konkresi adalah bentuk butir-butir ataupun batangan keras yang terbentuk akibat konsentrasi lokal berbagai senyawa kimia Fe maupun Mn. Susunan kimia yang dibentuk konkresi besi ini bervariasi sehingga bentuk, ukuran dan warnanya berbeda-beda. Campuran bahan-bahan tanah seperti pasir, debu, dan liat akan direkatkan oleh akumulasi oksida-oksida Fe atau Mn yang bentuknya konkresi bundar ataupun lonjong yang keras dan padat yang ukurannya 0,05-20 mm. Konkresi besi ini dapat tercipta karena adanya aksi reaksi reduksi dan oksidasi secara bergilir akibat air permukaan tanah yang mengalami penurunan dan kenaikan secara intens. Jika warna makin merah maka makin besar juga kadar Fe-nya sedangkan makin warnanya hitam maka makin tinggi juga kadar Mn-nya. Terkadang konkresi terdapat sebagai sisipan di dalam horizon yang mengalami gleisasi (Darmawijaya, 1997).

#### **2.4 Pengaruh Bahan Organik terhadap Pelapasan P pada Tanah Ultisol**

Tanah Ultisol umumnya peka terhadap erosi serta mempunyai pori aerasi dan indeks stabilitas rendah sehingga tanah mudah menjadi padat. Akibatnya pertumbuhan akar tanaman terhambat karena daya tembus akar kedalam tanah menjadi berkurang. Menurut Kononova (1966), bahan organik selain dapat meningkatkan kesuburan tanah juga mempunyai peran penting dalam memperbaiki sifat fisik tanah. Bahan organik dapat meningkatkan agregasi tanah, memperbaiki aerasi dan perkolasi, serta membuat struktur tanah menjadi lebih remah dan mudah diolah. Bahan organik tanah melalui fraksi-fraksinya mempunyai pengaruh nyata terhadap pergerakan dan pencucian hara. Asam fulvat berkolerasi positif dan nyata dengan kadar dan jumlah ion yang tercuci, sedangkan asam humat berkolerasi negatif dengan kadar dan jumlah ion yang tercuci

Penambahan bahan organik dapat meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah. Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P dapat secara langsung melalui

proses mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang terfiksasi. Hasil dekomposisi bahan organik yang berupa asam-asam organik dapat membentuk ikatan khelasi dengan ion-ion Al dan Fe sehingga dapat menurunkan kelarutan ion Al dan Fe, maka dengan begitu ketersediaan P menjadi meningkat. Asam-asam organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik juga dapat melepaskan P yang terjerap sehingga ketersediaan P meningkat (Subagyo dkk., 2004).

Menurut Syahputra dkk. (2015), ion P yang telah terfiksasi oleh kation-kation tersebut dapat dilepaskan oleh asam karboksilat. Asam karboksilat akan melepaskan ikatan P pada Al atau Fe dengan menukar  $\text{OH}^-$  dengan P. Proses pelepasan P oleh  $\text{OH}^-$  dari ikatan Al dan Fe ini akan membuat P menjadi tersedia. Hal ini juga yang membuat alasan penambahan bahan organik tanah mampu meningkatkan KTK tanah. KTK tinggi akibat ionisasi gugus-gugus fungsional seperti karboksil ( $-\text{COOH}$ ), fenol ( $-\text{OH}$ ), enol ( $-\text{OH}$ ), quinon dan amida ( $-\text{NH}$ ) (Tan, 1991).

Menurut Tan (1991), asam-asam organik sederhana seperti asam oksalat merupakan salah satu senyawa penting dalam proses pelepasan jerapan P. Mekanisme asam oksalat dalam meningkatkan ketersediaan P, dapat dengan menggantikan P yang terjerap melalui pertukaran ligan pada permukaan Al dan Fe oksida. Selain itu juga dapat dengan melalui pelarutan permukaan logam oksida dan melepaskan P yang terjerap, serta dapat juga melalui pengkompleksan Al dan Fe pada larutan, lalu mencegah pengendapan ulang dari senyawa Plogam dan penjerapan P oleh Al dan Fe. Hasil dekomposisi bahan organik berupa asam-asam organik mempunyai kemampuan yang besar untuk mengikat kation melalui ikatan korelasi dan mampu menyelimuti koloida bermuatan positif (Kononova, 1966).

Lahan tetap berproduktivitas walaupun tanah Ultisol memiliki unsur hara yang rendah, petani wajib melakukan peningkatan ketersediaan unsur hara dan sifat kimia tanah. Banyak cara dapat dilakukan dan salah satu caranya adalah pemberian bahan organik. Bahan organik yang mengandung sejumlah unsur hara

yang akan menyumbangkan unsur hara tersebut apabila bahan organik tersebut mengalami proses dekomposisi di dalam tanah. Contoh bahan organik contohnya seperti kotoran ayam (Hermawansyah, 2013).

Menurut Musnawar (2003), kotoran ayam mengandung unsur hara lengkap yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhannya seperti nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Selain itu, bahan organik yang telah terdekomposisi juga melepaskan asam-asam organik yang dapat mengikat Al dan Fe di larutan tanah sehingga pH tanah sedikit demi sedikit mengalami kenaikan (Hermawansyah, 2013).

## 2.5 Kinetika Kimia

Dalam kimia fisik, kinetika kimia atau kinetika reaksi mempelajari laju reaksi dalam suatu reaksi kimia. Analisis terhadap pengaruh berbagai kondisi reaksi terhadap laju reaksi memberikan informasi mengenai mekanisme reaksi dan keadaan transisi dari suatu reaksi kimia. Menurut Mon dkk. (2012), kinetika kimia adalah studi tentang laju reaksi, perubahan konsentrasi reaktan (atau produk) sebagai fungsi dari waktu. Sebuah reaksi kimia dapat ditulis menggunakan rumus:



Dari reaksi kimia tersebut, dapat diketahui a, b, c, dan d adalah koefisien reaksi dan A, B, C, dan D adalah zat-zat yang terlibat dalam reaksi

$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = -\frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = -\frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dimana [A], [B], [C], dan [D] menyatakan konsentrasi zat-zat tersebut. Dalam bidang kinetika kimia, orde reaksi suatu substansi (seperti reaktan, katalis atau produk) adalah banyaknya faktor konsentrasi yang mempengaruhi kecepatan

reaksi. Menurut Zaini dkk. (2016), untuk persamaan laju reaksinya sebagai berikut:

$$r = k[A]^x [B]^y \quad \dots\dots\dots(14)$$

$[A]$  dan  $[B]$  adalah konsentrasi, orde reaksinya adalah  $x$  untuk  $A$  dan  $y$  untuk  $B$ . Orde reaksi secara keseluruhan adalah jumlah total  $x + y + \dots$ . Orde reaksi atau tingkat reaksi terhadap suatu komponen merupakan pangkat dari konsentrasi komponen tersebut dalam hukum laju (reaksi 15). Konsentrasi merupakan salah satu faktor yang dapat mempercepat laju reaksi (Mon dkk., 2012).

$$r = -\frac{d[A]}{dt} = k(A)^1 \text{ Atau } -\frac{d[A]}{dt} = k dt \quad \dots\dots\dots(15)$$

Jika diintegrasikan dengan batasan  $A=A_0$  pada  $t=0$  dan  $A=A$  pada  $t=t$  akan didapatkan:

$$-\int_{(A)_0}^{(A)} \frac{d(A)}{(A)} = k \int_0^t dt \longrightarrow \ln \frac{(A_t)}{(A_0)} = -kt \text{ atau } \ln (A_t) - \ln (A_0) = -kt \dots\dots\dots(16)$$

Persamaan ini digunakan untuk menafsirkan data hasil penelitian dalam menentukan orde reaksi, konstanta laju dan persamaannya. Bila rumus digunakan dalam mengelola data hasil penelitian dan hasil  $k$  yang diperoleh konstan, maka dapat disimpulkan reaksi adalah orde satu. Kurva linier yang dibentuk dari rumus  $y = ax + b$ . Salah satu tujuan dalam kinetika adalah membuktikan bentuk mekanisme yang tepat berdasarkan hukum laju reaksi. Langkah penting dalam kinetika sendiri adalah penentuan komponen yang aktif dari sistem reaksi yang diukur melalui perubahan konsentrasi setiap perubahan waktu. Terdapat beberapa orde reaksi yaitu orde nol, orde satu, dan orde dua. Dikatakan orde nol jika kecepatan reaksi tidak dipengaruhi konsentrasi sehingga garis linear akan konstan (Mon dkk., 2012).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Pelaksanaan penelitian ini dari Bulan Oktober sampai Desember 2022.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah botol kocok 100 ml, tabung reaksi, gelas beaker 50 ml dan 500 ml, gelas ukur 10 ml dan 100 ml, botol film 100 ml, rak tabung reaksi, batang pengaduk, labu ukur 100 ml, 250 ml, dan 1000 ml, botol gelap 200 ml, buret, *rubber bulb*, kuvet, shaker, timbangan analitik, sentrifuge, spektrofotometer, dan alat laboratorium lainnya.

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Tanah Ultisol yang berasal dari kebun percobaan FP Unila Kecamatan Natar Kabupaten Lampung Selatan, konkresi besi, bahan organik berupa kotoran ayam,  $\text{FeCl}_3$ , kertas saring, aquades, dan bahan lainnya untuk analisis laboratorium. Variabel utama adalah P tersedia (kinetika), konstantan (slope) kecepatan pelepasan P, dan P potensial.

### 3.3 Metode

Penelitian ini dirancang untuk mengetahui P tersedia yang terlepas dari koloid tanah yang memiliki bentuk Fe yang berbeda. Hal tersebut dilakukan dengan perlakuan menambah  $\text{FeCl}_3$  dan konkresi besi ke tanah.  $\text{FeCl}_3$  akan menambah Fe di tanah dalam bentuk Fe bebas sedangkan konkresi besi akan menambah Fe dalam bentuk koloid Fe.

Pupuk P yang diberikan pada penelitian ini adalah bentuk 10 mol  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{KH}_2\text{PO}_4$  200 ppm. Setelah semua perlakuan sudah siap akan ditambahkan larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{KH}_2\text{PO}_4$  pada semua perlakuan. Pada analisis kadar P tersedia akan dilakukan dalam beberapa kali pengekstrakan yaitu pada saat 2 hari setelah pupuk P diaplikasikan (saat reaksi kesetimbangan P) dan pada saat beberapa hari setelah aplikasi pupuk P (saat reaksi kinetika P) yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana ketersediaan P yang diamati berdasarkan waktu serta kecepatan pelepasan P di koloid tanah yang sesuai dengan keadaan tanaman menyerap P di koloid tanah secara terus-menerus.

Analisis P tanah metode Bray dan Kurtz P 1 diperkenalkan oleh Roger Bray dan Touby Kurtz dari Stasiun Percobaan Pertanian Illionis pada tahun 1945 dan sampai sekarang banyak digunakan di Midwestern dan Utara Sentral Amerika Serikat (Frank dkk., 1998). Menurut Hardjowigeno (2003), Penggunaan metode Bray I membantu mengetahui ketersediaan P dan juga mampu untuk mengekstrak P dalam fiksasi Fe. Pengekstrak  $\text{NH}_4\text{F}$  dan  $\text{HCl}$  mampu membebaskan ion-ion P yang terikat Fe.

Pada tanah asam, larutan florida ekstraksi Bray dan Kurtz P-1 dapat meningkatkan pelarutan P dari aluminium fosfat dengan cara menurunkan aktivitas Al dalam larutan melalui pembentukan berbagai kompleks Al-F. Florida juga efektif

menekan terjadinya adsorpsi P kembali oleh koloid tanah. Sifat asam dari larutan ekstraktan (pH=2,6) juga memberikan kontribusi dalam pelarutan P tersedia dari berbagai bentuk ikatan dengan Al, Ca dan Fe (Hanafiah, 2007).

Selain pengukuran menggunakan P tersedia dilakukan juga pengukuran P potensial untuk mengetahui perbandingan total jumlah P yang di dalam tanah dengan satu kali ekstraksi yang sesuai dengan reaksi kesetimbangan.

### **3.4 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.4.1 Persiapan Awal**

##### **3.4.1.1 Persiapan Sampel Tanah**

Sampel tanah yang diambil dari Kebun Percobaan Unila di Natar Lampung Selatan pada kedalaman 10-20 cm karena di lahan merupakan tanah tidak terganggu dan dibagian atas tanah terdapat bahan organik yang dikhawatirkan dapat mempengaruhi perlakuan penambahan bahan organik nantinya. Tanah dikeringudarkan, ditumbuk, lalu diayak dengan menggunakan ayakan 0,5 mm dan dimasukkan ke dalam kantong plastik kemudian diberi label di setiap kantong.

##### **3.4.1.2 Persiapan Konkresi**

Konkresi yang diambil dari PT.GGP Lampung Tengah dikeringudarkan, kemudian ditumbuk, lalu diayak dengan menggunakan ayakan 0,5 mm dan dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel.



### 3.4.1.3 Persiapan Kotoran Ayam

Kotoran ayam yang menjadi bahan organik (BO) dalam perlakuan ini diambil dari PT Protindo Karisma Utama di Katibung Lampung Selatan lalu dikeringudarkan, kemudian ditumbuk, dan diayak dengan menggunakan ayakan 0,5 mm dan dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel.

### 3.4.1.4 Persiapan Analisis Penelitian

Langkah awal persiapan analisis penelitian yaitu menyiapkan semua bahan penelitian berupa tanah Ultisol,  $\text{FeCl}_3$ , konkresi besi, dan bahan organik. Sampel tanah sebelumnya dikeringkan dan dicampur dengan  $\text{FeCl}_3$ , konkresi Besi, dan bahan organik sesuai perlakuan yang akan diterapkan pada penelitian ini dengan perbandingan sebagai berikut:

T = 500 g Tanah Ultisol (100%)

TF = 490 g Tanah Ultisol (98%) + 10 g  $\text{FeCl}_3$  (2%)

TK = 400 g Tanah Ultisol (80%) + 100 g Konkresi Besi (20%)

TFO = 465 g Tanah Ultisol (93%) + 10 g  $\text{FeCl}_3$  (2%) + 25 g Bahan Organik (5%)

TKO = 375 g Tanah Ultisol (75%) + 100 g Konkresi Besi (20%) + 25 g Bahan Organik (5%)

## 3.4.2 Prosedur Analisis

### 3.4.2.1 Pembuatan Larutan Penjenuh P

Pembuatan larutan ini menggunakan campuran larutan 200 ppm P dalam 1 ml/mol  $\text{CaCl}_2$ . Mr  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  adalah 147 g/mol, artinya 147 g untuk 1 mol dalam 1000 ml sedangkan dibutuhkan 10 mol sehingga dibagi 100 dan didapat 1,47 g untuk 10 mol. Kemudian Mr  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  136 g/mol di dalam tersebut P bobot molekul 31

g/mol dan  $31 \times 1000$  dalam 1 l didapat 31000 P / l dan dibuat 1000 ppm. Dibuat rumus:

$$\frac{1000}{31000} \times \frac{136}{31} = 0,14 \text{ g KH}_2\text{PO}_4$$

Ditimbang 1,47 g  $\text{CaCl}_2$  dilarutkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml. Pada bahan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ditimbang 0,14 g dilarutkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml lalu ditambah aquades hingga tera. Diambil 200 ml dari labu ukur tersebut karena dibutuhkan 200 ppm P dalam 1 ml/mol  $\text{CaCl}_2$  dan lalu dimasukkan ke dalam labu ukur yang berisi  $\text{CaCl}_2$  lalu ditera dengan aquades.

#### 3.4.2.2 Larutan Bray Khurtz I

Pembuatan larutan ekstraksi Bray yang pertama adalah pengenceran 4,15 ml HCl dan 3,7 g  $\text{NH}_4\text{F}$  di dalam labu ukur 100 ml dan ditambah aquades pada keduanya hingga tera. Kedua diambil 50 ml HCl dan 30 ml  $\text{NH}_4\text{F}$  dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml dan ditambah aquades hingga tera.

#### 3.4.2.3 Larutan HCl 25%

Pembuatan larutan ekstraksi HCl 25% menggunakan 169 ml HCl lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 250 ml kemudian ditera dengan aquades.

#### 3.4.2.4 Larutan Kerja

Larutan kerja Peraksi Amonium Molibdat, dilarutkan 6,25 g  $\text{NH}_4\text{Mo}$  di dalam 20 ml aquades di labu ukur 100ml, dinginkan secara perlahan. Lalu 0,145 g antimonyl kalium tartarat dilarutkan ke dalam larutan ammonium molibdat dan dituangkan 75 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat secara perlahan dan dinginkan. Kemudian 10,56 g kristal asam askorbat dilarutkan ke dalam labu ukur 100 ml dan aquades ditambahkan hingga tera.

### 3.4.2.5 Larutan P dan Larutan Standar

Larutan standar P  $100 \text{ mg L}^{-1}$  yang akan dibuat dalam 250 ml yaitu diambil 25 ml dari larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1000 ppm. Hal tersebut didapat dari perhitungan sebagai berikut:

$$V1 = \frac{M2 \times V2}{M1} \Rightarrow V1 = \frac{100 \times 250}{1000} \Rightarrow V1 = 25 \text{ ml}$$

25 ml larutan standar P  $100 \text{ mg L}^{-1}$  dipipet dan dimasukkan ke labu ukur 100 ml dan ditambahkan aquades hingga tera. Kemudian deret P dibuat pada kisaran 0; 0,5 ;1,0 ;1,5 ;2,0 ;2,5  $\text{mg P L}^{-1}$ .

Tabel 1. Komposisi Pembuatan Deret Standar P.

Konsentrasi P ( $\text{mg P L}^{-1}$ )	Larutan Standar 25 mg $\text{P L}^{-1}$ (ml)	Volume Akhir (ml)
0	0	100
0,5	2	100
1,0	4	100
1,5	6	100
2,0	8	100
2,5	10	100

### 3.4.2.6 Langkah-Langkah Penambahan Larutan Penjenuh P pada Sampel Tanah

Setiap sampel tanah dari perlakuan T, TF, TK, TFO, dan TKO diambil dan ditimbang sebanyak 3 g dan dimasukkan ke dalam botol kocok. Larutan Penjenuh 200 ppm- P dalam 1 ml/mol  $\text{CaCl}_2$  diambil 30 ml dan dimasukkan ke sampel tanah yang berada di dalam botol kocok. Sampel tanah dikocok selama 2 jam dengan kecepatan 500 rpm. Kemudian suspensi tanah disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit sampai larutan bening. Selanjutnya larutan kerja dibuat dengan menambahkan 5 ml asam molibdat dan 2,5 ml asam askorbat ke dalam labu ukur 250 ml lalu ditera. Sampel disaring agar larutan dan fraksi tanah terpisah larutan bening sampel yang telah disaring menggunakan kertas saring diambil 5 ml dan dimasukan ke tabung reaksi. Pada larutan standar P, 5 ml larutan standar diambil dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian

ditambahkan 10 ml larutan kerja. Larutan kerja tadi diambil sebanyak 10 ml dan ditambahkan ke setiap sampel, ditunggu selama 15-30 menit sampai warna larutan menjadi biru. Larutan dipindah ke dalam kuvet dan akan diukur di spektrofotometer pada gelombang 720 nm. Sedangkan fraksi tanah yang telah terpisah diisolasi selama 2 hari untuk analisis P Potensial dan P Tersedia.

#### 3.4.2.7 Langkah-Langkah Ekstraksi P Potensial pada Sampel Tanah

Setelah diberi larutan penjenih dan diinkubasi 2 hari sampel tanah dari perlakuan T, TF, TK, TFO, dan TKO ditambah 30 ml larutan pengestrak HCl 25% dan dikocok dengan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Kemudian suspensi tanah disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit sampai larutan bening. Selanjutnya larutan kerja dibuat dengan menambahkan 5 ml asam molibdat dan 2,5 ml asam askorbat ke dalam labu ukur 250 ml lalu ditera. Sampel disaring agar larutan dan fraksi tanah terpisah. Larutan bening sampel disaring menggunakan kertas saring dan diambil 5 ml lalu dimasukkan ke tabung reaksi. Larutan kerja tadi diambil sebanyak 10 ml dan ditambahkan ke setiap sampel. Pada larutan standar P, 5 ml larutan standar dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 10 ml larutan kerja. Setelah itu, larutan diukur transmittannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 720 nm dan dicatat hasilnya.

#### 3.4.2.8 Langkah-Langkah Ekstraksi P Tersedia pada Sampel Tanah

Setelah 48 jam diinkubasi sampel tanah T, TF, TK, TFO, dan TKO ditambah 30 ml larutan pengestrak Bray dan dikocok dengan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Kemudian disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit sampai larutan bening. Selanjutnya dibuat larutan kerja dibuat dengan menambahkan 5 ml asam molibdat dan 2,5 ml asam askorbat ke dalam labu ukur 250 ml lalu ditera. Sampel disaring agar larutan dan fraksi tanah terpisah. Larutan bening sampel disaring menggunakan kertas saring dan diambil 5 ml lalu dimasukan ke tabung reaksi. Larutan kerja tadi diambil sebanyak 10 ml dan ditambahkan ke setiap sampel. Pada larutan standar P, 5 ml larutan standar dimasukkan ke dalam tabung

reaksi lalu ditambahkan 10 ml larutan kerja. Setelah itu, larutan diukur transmisinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 720 nm dan dicatat hasilnya. Pada endapan fraksi tanah tadi diisolasi kembali dan dilakukan pengestrak menggunakan Bray I kembali sesuai prosedur pengestrakan.

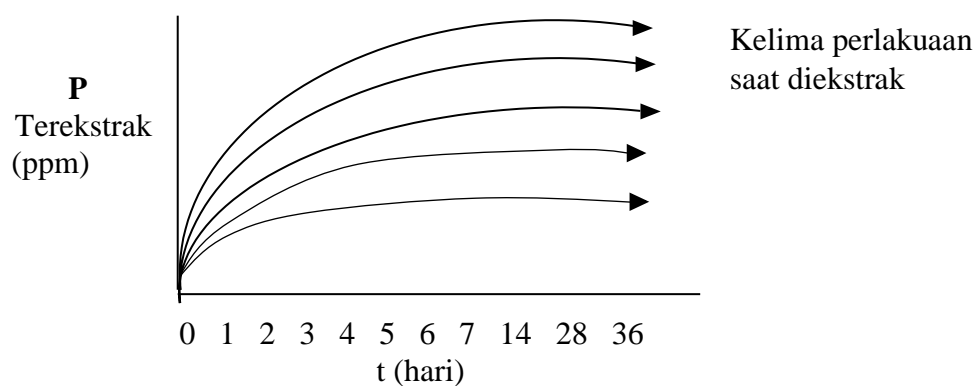
### 3.4.3 Waktu Pengamatan

Waktu pengamatan pelepasan P dari tanah secara kumulatif adalah:

$t_0$  = Penambahan larutan penjenruh ke sampel,  $t_1$  = 1 hari diekstrak,  $t_2$  = 2 hari diekstrak,  $t_3$  = 3 hari diekstrak,  $t_4$  = 4 hari diekstrak,  $t_5$  = 5 hari diekstrak,  $t_6$  = 8 hari diekstrak,  $t_7$  = 11 hari diekstrak,  $t_8$  = 18 hari diekstrak,  $t_9$  = 25 hari diekstrak, dan  $t_{10}$  = 32 hari diekstrak.

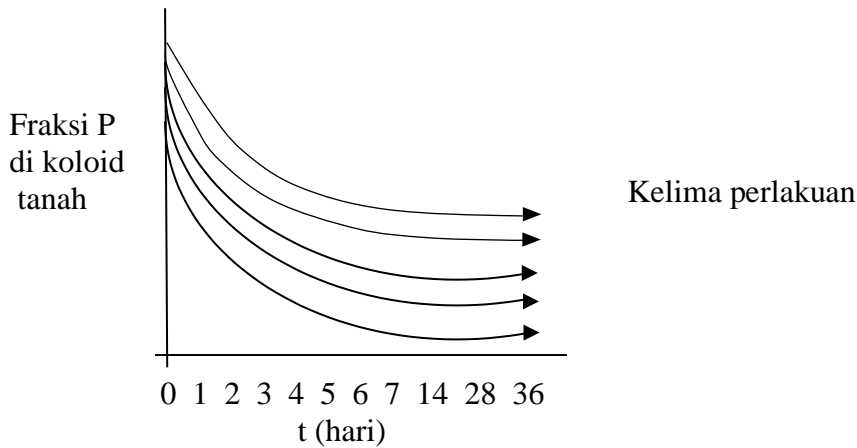
### 3.5 Analisis Data

Sebelum membuat kurva kinetikanya dibuat dahulu kurva P teresktrak dari koloid tanah (kurva kumulatif P terekstrak). Gambar 2 menunjukkan bahwa kumulatif P yang lepas dari koloid tanah yang semakin tinggi hingga mencapai maksimum. Semakin tinggi nilai kumulatif P yang ditunjukkan maka semakin banyak P yang dilepaskan dari koloid tanah (Lumbanraja dkk., 2017).



Gambar 2. Hubungan kumulatif P terekstrak (ppm) dengan lamanya ekstraksi.

Kemudian menentukan kurva kinetika reaksi yaitu menentukan kurva fraksi fosfat yang tertinggal pada koloid tanah. Gambar 3 menunjukkan bahwa fraksi fosfat yang tertinggal pada koloid tanah yang semakin rendah hingga mencapai minimum. Data ini digunakan untuk membuat kurva berorde (Lumbanraja dkk., 2017).



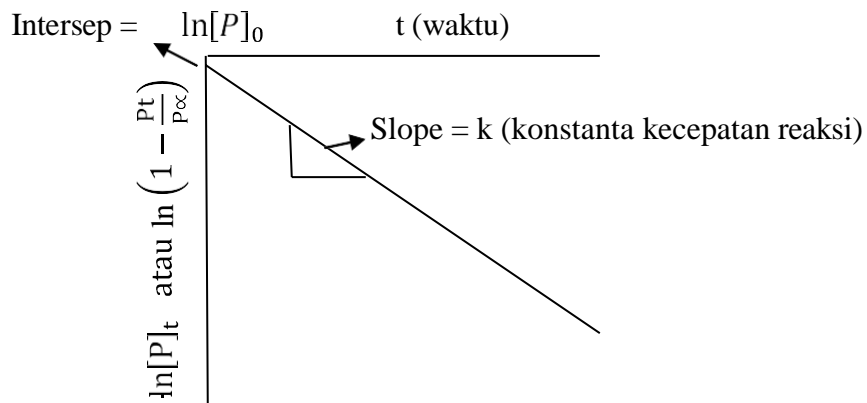
Gambar 3. Hubungan antara fraksi P yang tertinggal pada koloid tanah dengan lamanya ekstraksi.

Data ditabulasi dan diinterpretasikan berdasarkan hasil pada kondisi kesetimbangan dan kinetika. Berikut persamaan kinetika yang menggambarkan laju pelepasan P dari reaktan (tanah, FeCl<sub>3</sub>, konkresi besi, dan bahan organik) menurut persamaan kinetika orde satu semu (Frank dkk, 1998).

$$\ln [ P ]_t = \ln [ P ]_0 - kt \quad \dots\dots\dots(17)$$

- [ P ]<sub>0</sub> = fraksi P pada awal reaksi
- [ P ]<sub>t</sub> = fraksi P yang tertinggal pada koloid (  $1 - \frac{P_t}{P_\alpha}$  )
- P<sub>t</sub> = konsentrasi P terekstrak pada waktu (t)
- P<sub>α</sub> = maksimum P terjerap pada koloid tanah
- k<sub>t</sub> = nilai konstanta kecepatan P ditentukan dari garis regresi

Ketika ln P<sub>t</sub> diplot sebagai fungsi dari t (hari), itu adalah persamaan linier untuk membuat gambar kinetika orde pertama semu untuk menentukan konstanta laju k. Kurva kinetika reaksi ditentukan dengan cara membandingkan ln [P]<sub>t</sub> terhadap t (hari) (Gambar 4).



Gambar 4. Hubungan  $[P]_t$  terhadap waktu ( $t$ ) menurut hukum kinetika orde I.

Persamaan  $\ln [P]_t = \ln [P]_0 - k_t$  digunakan untuk mendapatkan nilai  $k$  (sebagai konstantan kecepatan P tersedia yang terlepas) pada setiap perlakuan tanah.

Kemudian hasil konstanta (slope) dan hasil kumulatif P yang terekstrak dibandingkan dengan uji statistika. Perbandingan antar perlakuan tersebut dilakukan dengan uji t sebagai uji nilai tengah antar perlakuan untuk mengetahui perbedaan nyata atau tidak nyata.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat dibuat simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kadar P tersedia yang terlepas akibat pengaruh bahan organik pada perlakuan konkresi besi lebih tinggi daripada perlakuan  $\text{FeCl}_3$  baik pada keadaan kesetimbangan dan kinetika.
2. Konstanta kecepatan pelepasan P (k) akibat perlakuan pengaruh bahan organik pada perlakuan konkresi besi lebih cepat dari pada perlakuan  $\text{FeCl}_3$ .
3. Kadar P yang terekstrak dari koloid tanah lebih tinggi pada pengekstrakan P tersedia (Bray I) saat kinetika daripada dalam kesetimbangan pada P tersedia (Bray I) dan P terekstrak pada P potensial (HCl 25%).

### 5.2 Saran

Saya memberi saran untuk penelitian yang lebih lanjut berupa:

1. Diperlukannya penelitian lebih lanjut terkait kinetika penyerapan P dengan tanaman di dalam rumah kaca.
2. Perlunya kajian lagi terkait pengaruh konkresi besi terhadap ketersediaan unsur hara bagi tanaman.



## DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian Tanah. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 136 hlm.
- Damanik, M. M. B., Hasibuan, B. E., Fauzi, S., dan Hanum, H. 2010. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. USU Press. Medan. 303 hlm.
- Darmawijaya, I. 1997. *Klasifikasi Tanah*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 245 hlm.
- Dewayani, S. D., Sakya, T. A., dan Sulanjari. 2018. Pengaruh Aplikasi Hara Mikro Fe terhadap Analisis Pertumbuhan Tomat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agribisnis UNS*. 2(1): 212-219.
- Frank, K. D., Beegle, and Denning, J. 1998. *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region (Phosphorus)*. Missouri Agricultural Experiment Station (revised). Missouri. 71 hlm.
- Hakim, L., dan Sedyarsa, M. 1986. Percobaan Perbandingan Beberapa Sumber Pupuk Fosfat Alam di Daerah Lampung Utara. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*. 18:179–194.
- Hanafiah, K. A. 2007. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 386 hlm.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta. 286 hlm.
- Hasibuan, Y. S., Damanik, M.M.B., dan Sitanggang, G. 2014. Aplikasi Pupuk Sp-36 dan Pupuk Kandang Ayam terhadap Ketersediaan dan Serapan Fosfor serta Pertumbuhan Tanaman Jagung pada Ultisol Kwala Bekala. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(3): 1118-1125.

- Hermawansyah, A. 2013. Pengaruh Pemberian Pupuk kandang Kotoran Sapi, dan Ayam Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Yogyakarta. 126 hlm.
- Herviyanti, T. Prasetyo, B., Ahmad, F., dan Harianti, M. 2011. Upaya Mengendalikan Keracunan Besi (Fe) dengan Bahan Humat dari Kompos Jerami Padi dan Pengelolaan Air untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sawah Bukaan Baru di Sitiung, Sumatera Barat. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 3(34): 40-47.
- Kononova, M. M. 1966. *Soil Organic Matter its Nature its Role its Fertility*. Translated by T.Z. Novakowski and A.C.D. Newman Pergamon Press. Oxford. 314 hlm.
- Lastianingsih, T. 2008. Uji Efektivitas Fosfat Alam terhadap Pertumbuhan Produksi dan Serapan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) pada Oxic Dystrudept Darmaga. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*. 2(3): 10-14.
- Lopez-Hernandez, D. D., Flores, G., Siegert, and Rodrigues, J.V. 1979. The Effect of Some Organic Anions on Phosphate Removal from Acid and Calcareous. *Journal Soils Sci*. 12(8): 321-326.
- Lumbanraja, J., Mulyani, S., Utomo, M., dan Sarno. 2017. Kinetika Ekstraksi Fosfat pada Tanah Ultisol Natar dan Batuan Fosfat dengan Larutan Pengekstrak Bray-I, Mehlich, dan Olsen. *Jurnal Tanah Tropis*. 22(2): 67-76.
- Lumbanraja, J. 2017. *Kimia Tanah dan Air: Prinsip Dasar dan Lingkungan*. Aura Publishing. Bandar Lampung. 297 hlm.
- Mon, I., Yerimadesi, dan Hardeli. 2012. *Kimia Fisika*. UNP. Padang. 210 hlm
- Musnamar. 2003. *Pupuk Organik Cair dan Padat, Pembentukan dan Aplikasi*. Penebar Swadaya. Jakarta. 134 hlm.
- Nursyamsi, D. dan Setyorini. D. 2009. Ketersediaan P Tanah-Tanah Netral dan Alkalin. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 30(5): 25-36.
- Prasetyo, B.H. dan Suriadikarta, A. 2006. Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*. 25(2): 39-46.

- Sari, P. T. 2015. Pengaruh Besi dan Bahan Organik terhadap Jerapan Maksimum dan Energi Ikatan Fosfor pada Tanah Ultisol Natar. *Skripsi*. Universitas Lampung. 52 hlm.
- Sims, T. J. 2009. *Soil Test : Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters. 2nd ed.* Virginia State University. Virginia. 515 hlm.
- Subagyo, H. N., Suharta, dan Siswanto, A. B. 2004. *Tanah-tanah Pertanian di Indonesia*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor. 187 hlm.
- Sutedjo, M. M. 2002. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Rineka Cipta. Jakarta. 177 hlm.
- Syahputra, E., Fauzi, dan Razali. 2015. Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1): 1796-1803.
- Syaiful, A. dan Untung, S. 2013. *Kimia Tanah*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 212 hlm.
- Tan, K. H. 1991. *Principles of Soil Chemistry*. Terjemahan: Didiek Hadjar Goenadi, H. D. 1998. *Dasar-Dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 295 hlm.
- Thaha, A. M. A. 2001. Perubahan Sifat Kimia Tanah Utisol Kuliawi akibat Pemberian Bokasi. *Jurnal Agroland*. 8(3):235-259.
- Tufaila, M. D. D., Laksana, dan Alam, S. 2014. Aplikasi Kompos Kotoran Ayam untuk Meningkatkan Hasil Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.) Di Tanah Masam. *Jurnal Agroteknos*. 4(2): 119-126.
- Wahida, A., Fahmi, A., dan Jamberi. 2007. Pengaruh Pemberian Pupuk Fosfat Alam Asal Maroko terhadap Pertumbuhan Padi di Lahan Sulfat Masam. *Jurnal Tanah Tropika*. 12(2): 85-90.
- Zaini, H. dan Sami, H. 2016. Kinetika Adsorpsi Pb(II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 4(1): 1-9.