

**KAJIAN KOMPOSISI FRAKSI FOSFOR PADA LAHAN KERING  
DAN LAHAN YANG DISAWAHKAN**

Oleh:

**RIZKY FORTUNELLA**

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN  
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2014**

**KAJIAN KOMPOSISI FRAKSI FOSFOR PADA LAHAN KERING  
DAN LAHAN YANG DISAWAHKAN**

Oleh :

**RIZKY FORTUNELLA  
105040200111208**

**MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA LAHAN  
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2014**

repository.ub.ac.id

Judul Skripsi : **KAJIAN KOMPOSISI FRAKSI FOSFOR PADA LAHAN KERING DAN LAHAN YANG DISAWAHKAN**  
Nama Mahasiswa : **RIZKY FORTUNELLA**  
NIM : 105040200111208  
Jurusan : Tanah  
Program Studi : Agroekoteknologi  
Minat : Manajemen Sumber Daya Lahan  
Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc, Ph.D  
NIP. 19611028 198701 2 001

Cahyo Prayogo, SP, MP, Ph.D  
NIP. 19730103 199802 1 002

Mengetahui

Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan :

## LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

### MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU

NIP. 19540501 198103 1 006

Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc, Ph.D

NIP. 19611028 198701 2 001

Penguji III

Penguji IV

Cahyo Prayogo, SP, MP, Ph.D

NIP. 19730103 199802 1 002

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS

NIP. 19611109 198503 2 001

Tanggal Lulus:

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RIZKY FORTUNELLA  
NIM : 105040200111208  
Jurusan / Program Studi : Jurusan Tanah / Agroekoteknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Kajian Komposisi Fraksi Fosfor pada Lahan Kering dan Lahan yang Disawahkan” merupakan karya tulis yang saya buat sendiri, dan bukan merupakan bagian dari skripsi maupun karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan di sebutkan dalam daftar pustaka. Bilamana ternyata dikemudian hari pernyataan saya ini tidak benar, saya sanggup menerima sanksi akademik apapun yang ditetapkan oleh Universitas Brawijaya Malang.

Malang, Agustus 2015

Yang menyatakan,

RIZKY FORTUNELLA

105040200111208

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Skripsi ini kupersembahkan untuk  
kedua orang tuaku, nenek, serta  
adikku tercinta....*



## RINGKASAN

**RIZKY FORTUNELLA. 105040200111208.** Kajian Komposisi Fraksi Fosfor Pada Lahan Kering dan Lahan yang Disawahkan. Dibawah bimbingan Sri Rahayu Utami dan Cahyo Prayogo.

---

Lahan sawah dan lahan kering (tegalan) memiliki karakteristik yang berbeda pada pengelolaan airnya. Pada lahan kering, tanah tidak pernah tergenang air pada sebagian besar waktu dalam setahun atau sepanjang waktu sedangkan lahan sawah merupakan lahan yang pengelolaannya memerlukan genangan air. Penggenangan pada lahan sawah menyebabkan terbentuknya lapisan tapak bajak yang tidak ditemui pada lahan tegalan.

Perubahan pengelolaan tersebut dapat dipelajari dari perubahan komposisi fraksi fosfor. Dalam penelitian ini, komposisi P ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ ,  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ ,  $\text{NaOH-Po}$ ,  $\text{NaOH-Pi}$ ,  $\text{HCl-Pi}$ , dan residu-P) diteliti pada lapisan di atas tapak bajak, di lapisan tapak bajak, dan lapisan dibawah tapak bajak di lahan sawah pada tiga jenis tanah yang berbeda (Andisol, Vertisol, dan Ultisol). Fraksi-fraksi P juga diukur pada lahan yang tidak disawahkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lahan sawah, fraksi P labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  dan  $\text{NaOH-Po}$ ) menurun pada lapisan tapak bajak. Sebaliknya, fraksi P stabil ( $\text{HCl-Pi}$  dan residu-P) meningkat pada lapisan tapak bajak. Sedangkan pada lahan tegalan tidak terbentuk pola seperti pada lahan sawah. Kandungan P total pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Pada Andisol dan Ultisol kandungan P labil dan P organik lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Pada Vertisol kandungan P labil dan P organik lapisan di atas tapak bajak lahan sawah lebih tinggi, namun pada lapisan dibawah tapak bajak lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan pada kedalaman tanah yang sama. Faktor-faktor yang mempengaruhi fraksi P labil adalah kandungan C-organik, reaksi tanah (pH tanah), kandungan liat, dan jenis pengelolaan lahan yang digunakan.

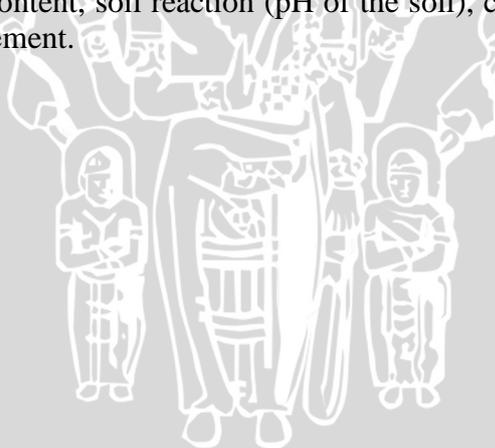
## SUMMARY

**RIZKY FORTUNELLA. 105040200111208.** Composition of Phosphorus Fractions on Rice and Non Rice Cultivation. Supervised by Sri Rahayu Utami and Cahyo Prayoga.

---

Rice cultivation in Java commonly involve soil tillage under water saturated condition. Water is always kept saturated nearly the whole period of plant growth. Submerging in rice cultivation lead to the formation of the plow layer that does not exist on non rice cultivation. This condition may result in different soil characteristics between rice and non rice cultivated land. One of the soil properties which is easily affected is P fractions composition. The composition of P fractions ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ ,  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ ,  $\text{NaOH-Po}$ ,  $\text{NaOH-Pi}$ ,  $\text{HCl-Pi}$ , residue-P) at plow pan (PP), and the layer above (AP) or below (BP) was then studied in paddy fields, as well as in non paddy fields. For comparison, three different soils types (Andisols, Vertisols, Ultisols) were evaluated.

The results showed that total P in paddy fields was higher than in non paddy fields. Labile P ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  and  $\text{NaOH-Po}$ ) and stable P ( $\text{HCl-Pi}$  and residue-P) respectively tended to decrease and increase in the PP, whereas in non paddy fields, no regular pattern were found. Composition of P fractions were relatively different in different soils. In Andisol and Ultisol, labile P and organic P were higher in paddy fields. Whereas in Vertisol, labile P and organic P were higher in AP, but lower in BP than in non paddy soils. Labile P was largely affected by C-organic content, soil reaction (pH of the soil), clay content, and the type of land use management.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena telah mencurahkan hidayah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Kajian Komposisi Fraksi Fosfor pada Lahan Kering dan Lahan yang Disawahkan”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing utama dan Cahyo Prayogo, SP, MP, Ph.D sebagai pembimbing pendamping yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi hingga selesai.
2. Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS, selaku tim penguji atas koreksi dan masukan yang diberikan untuk perbaikan skripsi.
3. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku ketua Jurusan Tanah Universitas Brawijaya, Malang.
4. Dewo Ringgih, SP, MP yang telah membantu penulis serta bersedia memberikan sebagian data analisis tanah untuk menunjang penelitian ini.
5. Kedua orang tua, nenek, dan adik yang senantiasa memberikan nasehat, dukungan baik materiil maupun moril selama menyelesaikan pendidikan di perguruan tinggi.
6. Dosen-dosen Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama kuliah.
7. Ibu Wulandari dan Bapak Wahyu yang telah membimbing penulis dalam analisis di laboratorium.
8. Teman-teman Relios'10, seluruh kakak, dan adik seperjuangan di Jurusan Tanah atas semua motivasi dan bantuannya selama ini, serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas terselesainya penelitian ini.

Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, dan semua pihak yang memerlukan informasi dari skripsi ini.

Malang, Agustus 2014

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Ngawi, pada tanggal 11 Februari 1992 dan merupakan putri sulung dari Bapak Sumarsono dan Ibu Sri Dwi Untari. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Tambakromo I (1998-2004), kemudian melanjutkan di SMPN 2 Ngawi (2004-2007), dan selanjutnya meneruskan di SMA Negeri 2 Ngawi (2007-2010). Pada tahun yang sama, penulis diterima di Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama kuliah, penulis aktif dalam organisasi jurusan yaitu HMIT (Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah) sebagai anggota Departemen III Divisi Minat dan Bakat periode 2012-2013. Penulis juga aktif menjadi asisten praktikum, diantaranya adalah Dasar Ilmu Tanah dan Teknologi Produksi Tanaman aspek Tanah pada tahun 2011, Survey Tanah dan Evaluasi Lahan pada tahun 2013, Manajemen Agroekosistem aspek tanah pada tahun 2011 dan 2014, Tanah-Tanah Utama Pertanian Indonesia, Agroforestri, dan Manajemen Tanah Berlanjut pada tahun 2014. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan yang diadakan di jurusan.

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Hipotesis .....	3
1.4. Manfaat .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Karakteristik dan Permasalahan P pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol.....	4
2.2. Fraksionasi P Sebagai Gambaran Ketersediaan P di Dalam Tanah.....	7
2.3. Faktor yang Mempengaruhi Ketersediaan P.....	11
2.4. Perubahan Lahan Kering menjadi Lahan Sawah .....	17
<b>III. METODOLOGI .....</b>	<b>20</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	20
3.2. Alat dan bahan .....	22
3.3. Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.4. Analisis Data.....	25
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Fosfor Total pada Lahan Kering dan Lahan Sawah.....	26
4.2. Komposisi Fraksi Fosfor pada Lahan Kering dan Lahan Sawah.....	27
4.3. Distribusi Fraksi Fosfor pada Beberapa Jenis Tanah, Pengelolaan lahan, dan Lapisan .....	40
4.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fraksi P Labil/P Tersedia .....	47
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>52</b>
5.1. Kesimpulan .....	52
5.2. Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>



DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Fraksi P inorganik dan P organik (0-10 cm) pada tanah yang dipupuk dengan pupuk kandang sapi (M) dan padang rumput tanpa perlakuan (NS) Amazon, Venezuela .....	15
2.	Dinamika Status Fe, Al dan P pada Berbagai Tinggi Genangan .....	16
3.	Lokasi atau Daerah yang Diamati .....	23
4.	Parameter Utama yang Diamati .....	23
5.	Kandungan P total lahan sawah dan lahan tegalan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol .....	26
6.	Kandungan Fraksi-Fraksi P Lahan Sawah dan Lahan Tegalan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol .....	30

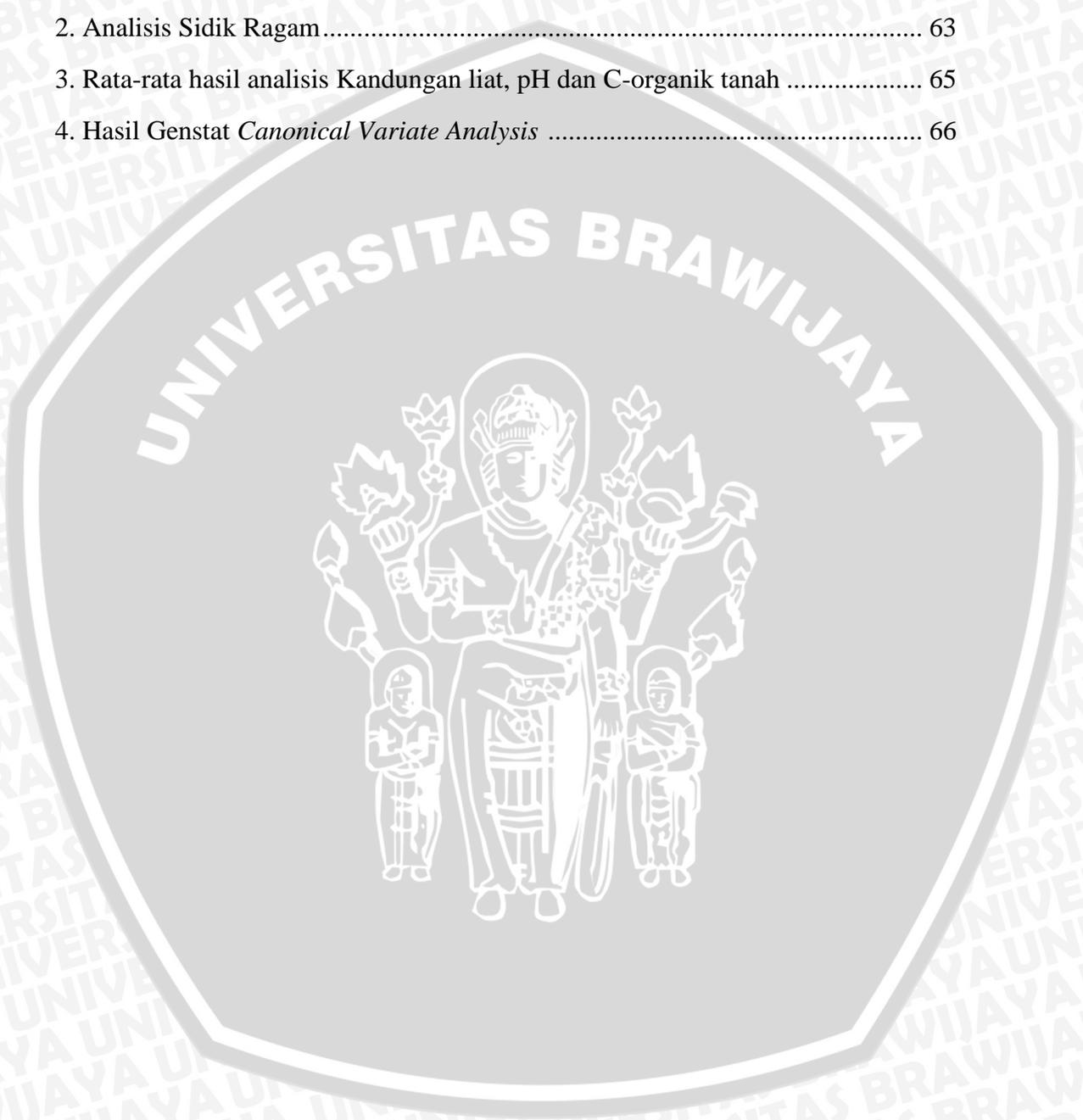


## DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Hubungan P Terjerap dengan P dalam Larutan Keseimbangan pada (A) Andisol dan (B) Tanah Latosol .....	4
2.	Kadar (A) dan Proporsi (B) Bentuk-bentuk P Tanah Inseptisol, Vertisol, dan Alfisol .....	6
3.	Pengaruh pH terhadap Distribusi Kelarutan Ion Ortofosfat.....	7
4.	Hubungan pH Tanah dengan Ketersediaan P.....	8
5.	Fraksi Fosfor pada Model P .....	9
6.	Hubungan Bahan Induk dengan Jumlah P dalam Tanah .....	11
7.	Perbedaan Fraksi P dalam Tanah pada Berbagai Tingkat Perkembangan Tanah.....	12
8.	Hubungan Peningkatan Kandungan Liat terhadap Jumlah P dalam Tanah.....	13
9.	Hubungan pH terhadap Jumlah P dalam Tanah.....	14
10.	Pengaruh Lama Penggenangan terhadap Kelarutan P .....	16
11.	Pengaruh Lama Penggenangan terhadap pH Tanah.....	18
12.	Skema Penetapan Fraksionasi P Tanah.....	24
13.	Komposisi Fraksi P Lahan Tegalan dan Lahan Sawah pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol.....	28
14.	Distribusi Semua Fraksi P pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).....	41
15.	Distribusi Fraksi P Labil pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).....	44
16.	Distribusi Fraksi P Stabil pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).....	46
17.	Hubungan antara C-Organik dengan P Labil.....	47
18.	Hubungan pH dengan P Labil.....	48
19.	Hubungan Kandungan Liat dengan P Labil.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Penetapan Analisis Fraksionasi P.....	57
2.	Analisis Sidik Ragam.....	63
3.	Rata-rata hasil analisis Kandungan liat, pH dan C-organik tanah .....	65
4.	Hasil Genstat <i>Canonical Variate Analysis</i> .....	66



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Di Indonesia sistem pertanian yang banyak digunakan untuk budidaya pertanian tanaman pangan dapat dikelompokkan ke dalam dua bagian yaitu lahan kering dan lahan basah atau yang sering disebut dengan lahan sawah. Kedua jenis lahan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda pada pengelolaan airnya. Lahan kering merupakan lahan yang tidak pernah tergenang air pada sebagian besar waktu dalam setahun atau sepanjang waktu (Hidayat dan Mulyani, 2002), sedangkan lahan sawah merupakan lahan yang pengelolaannya memerlukan genangan air (Puslittanak, 2003).

Pada periode 1999 – 2002 terjadi pengurangan lahan sawah sebesar 563.156 ha di seluruh Indonesia, akibat alih fungsi lahan sawah menjadi lahan bukan sawah seperti pemukiman dan industri yang 30% diantaranya terjadi di pulau Jawa. Untuk tetap dapat memenuhi kebutuhan pangan, luas lahan sawah yang diperlukan pada tahun 2010 sekitar 9,29 juta ha (Nasution, 2004). Karena alih fungsi lahan tersebut menyebabkan menyusutnya jumlah lahan sawah sehingga banyak lahan kering dialih fungsikan menjadi lahan sawah. Badan Pusat Statistik (2010) mencatat bahwa luas lahan sawah di Indonesia pada tahun 2009 sebesar 6.048.447 ha, meningkat sebesar 6,12% dari tahun sebelumnya yang luas padi sawahnya sebesar 5.742.270 ha. Selain itu, data luas panen tahun 2013 juga meningkat mencapai 13.769.923 ha (Badan Pusat Statistik, 2014).

Pada lahan sawah, tanah berada pada kondisi jenuh air bahkan tergenang. Ketika tanah berada dalam kondisi tergenang, tidak terdapat udara dalam tanah dan dengan cepat tanah menjadi tereduksi sehingga dapat mempengaruhi sifat fisik, biologi, dan kimia tanah (Abolfazli *et al.*, 2013). Penggenangan pada tanah sawah akan menyebabkan perilaku fosfor (P) mudah berubah. Setelah tanah tergenang, pH tanah menjadi netral sehingga P tersedia dalam jumlah yang cukup banyak. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi P yang terlarut dalam tanah meningkat setelah tanah tergenang (Najafi, 2013). Hal ini berbeda pada lahan kering, sekitar 80 sampai 90% tanah di daerah kering dan semi kering kekurangan P yang tersedia untuk tanaman (Malik *et al.*, 2014). Ketersediaan P di dalam tanah sangat menentukan pertumbuhan dan perkembangan tanaman

dikarenakan P adalah salah satu unsur hara makro esensial yang sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan vegetatif dan reproduktif tanaman, meningkatkan kualitas hasil, serta ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Ketersediaan P di dalam tanah tergantung kepada jumlah dan jenis mineral tanah, pH tanah, pengaruh kation, pengaruh anion, tingkat kejenuhan P, bahan organik, waktu dan suhu, serta penggenangan (Nursyamsi dan Setyorini, 2009). Selain itu, menurut Acquaye dan Oteng (1972) ketersediaan P juga dipengaruhi oleh mineral liat dan bahan induk. Andisol, Vertisol, dan Ultisol merupakan tanah yang mengandung jenis mineral liat, karakteristik morfologi, sifat fisik, dan kimia yang sangat berbeda sehingga perbedaan karakteristik dari ketiga tanah tersebut akan dapat mempengaruhi ketersediaan P dalam tanah.

Pengelolaan unsur hara P memerlukan informasi tentang komposisi fraksi-fraksi P di dalam tanah karena tanaman mengambil P dari larutan tanah yang terdiri dari berbagai fraksi P di dalam tanah (Malik *et al.*, 2014). Terdapat tiga fraksi P inorganik dalam tanah yaitu labil, aktif, dan stabil serta dua fraksi P organik yaitu labil dan stabil (Daroub *et al.*, 2002). Fraksi-fraksi tersebut menunjukkan tingkat ketersediaan P yang dapat cepat atau lambat digunakan oleh tanaman. Perbedaan manajemen penggunaan lahan akan dapat mempengaruhi fraksi-fraksi P termasuk ketersediaan P di dalam tanah. Oleh karena itu, informasi mengenai perbedaan fraksi P dalam perbedaan manajemen tanah dan hubungannya dengan ketersediaan P serta sifat tanah lainnya sangat berpotensi untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P dalam tanah (Malik *et al.*, 2014).

Penelitian tentang fraksionasi P sudah dilakukan pada beberapa jenis tanah seperti tanah berpasir oleh Contreras *et al.* (2007), pada tanah netral dan alkalin dilakukan oleh Malik *et al.* (2014) dan oleh Nursyamsi dan Setyorini (2009) dengan menggunakan prosedur Kuo. Pada tanah dengan tingkat perkembangan lambat hingga cepat oleh Yang dan Post (2011), pada tanah yang diberikan perlakuan batuan fosfat oleh Kolawole dan Tian (2007), dan bahan organik oleh Hartono *et al.* (2000), namun belum banyak penelitian yang mengkaji tentang perbedaan fraksi P pada sistem pengelolaan tanah yang berbeda yaitu lahan kering dan lahan sawah pada tingkat ordo yang sama. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Ringgih (2014) hanya mempelajari perubahan sifat

fisik, kimia, dan pengaruhnya terhadap klasifikasi tanah dari lahan kering dan lahan yang disawahkan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol. Sehingga masih diperlukannya penelitian untuk mengkaji perbedaan fraksi P pada lahan kering dan lahan sawah pada ketiga ordo tanah tersebut (Andisol, Vertisol, dan Ultisol).

## 1.2. Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pola komposisi fraksi P pada lahan kering dan lahan sawah dengan semakin meningkatnya kedalaman tanah di tiga ordo tanah (Andisol, Vertisol, dan Ultisol).
2. Mengetahui jumlah P total, P tersedia, dan P organik pada lahan kering dan lahan sawah di tiga ordo tanah (Andisol, Vertisol, dan Ultisol).
3. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi fraksi P labil (P tersedia) di dalam tanah

## 1.3. Hipotesis

1. Adanya penurunan fraksi P labil dan meningkatnya fraksi P stabil pada lapisan tapak bajak di lahan sawah di tiga ordo tanah (Andisol, Vertisol, dan Ultisol).
2. P total, P organik, dan P tersedia pada lahan sawah lebih tinggi daripada lahan kering di tiga ordo tanah (Andisol, Vertisol, dan Ultisol)
3. Perbedaan pengelolaan akan mempengaruhi kandungan fraksi P labil (P tersedia)

## 1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengelolaan P di lahan kering dan lahan sawah pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol supaya petani dapat memberikan pupuk P yang tepat sehingga dapat meningkatkan produksi pertanian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

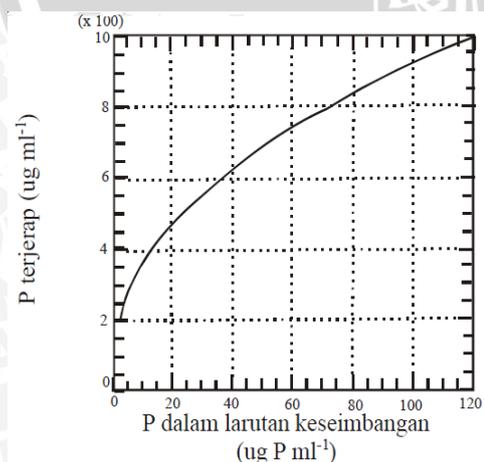
### 2.1. Karakteristik dan Permasalahan P pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol

#### 2.1.1. Andisol

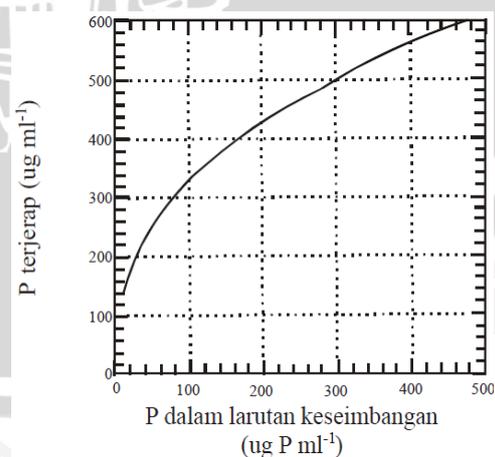
Andisol merupakan tanah yang ringan, gembur, dan porous, pada bagian atas berwarna hitam atau gelap, bertekstur sedang (lempung, lempung berdebu), secara khusus terbentuk dari bahan piroklastik yang kaya gelas vulkan (Subagyo *et al.*, 2000). Soil Survey Staff (2010) mendefinisikan Andisol sebagai tanah yang mempunyai sifat-sifat tanah andik, bobot isi ditetapkan pada retensi air 33 kPa sebesar  $0,9 \text{ g cm}^{-3}$  atau kurang, memiliki retensi fosfat 85% atau lebih. Kebanyakan Andisol memiliki pH antara 5 – 7, dan memiliki kandungan C-organik berkisar antara 2 – 5% (Saridevi *et al.*, 2013).

Ketersediaan P pada tanah yang berasal dari bahan vulkanik dengan mineral liat amorf (alofan) sangat rendah (Djuniwati *et al.*, 2012). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nuryani *et al.* (1993) dengan menggunakan persamaan isotherm Langmuir dan Freundlich, persentase P terjerap dalam Andisol jauh lebih banyak daripada tanah Latosol (Gambar 1). Kapasitas jerapan maksimum Andisol dalam menyerap P adalah  $1000 \mu\text{g g}^{-1}$ , sementara tanah Latosol sebesar  $555,5 \mu\text{g g}^{-1}$ . Jerapan P pada Andisol berkorelasi positif dengan jumlah Al dan Fe amorf dan Al dan Fe dalam ikatan organik.

a.



b.



**Gambar 1.** Hubungan P Terjerap dengan P dalam Larutan Keseimbangan pada (A) Andisol dan (B) Tanah Latosol (Nuryani *et al.*, 1993).

Kapasitas jerapan P pada Andisol melebihi jerapan P oleh oksida hidrat Al dan Fe. Hal ini disebabkan karena bahan amorf mempunyai permukaan spesifik yang begitu luas, sehingga jerapan P lebih tinggi (Nuryani *et al.*, 1993). Tingginya kemampuan Andisol menyerap P yang dihubungkan dengan reaktivitas fiksasi yang tinggi dan disertai dengan mineralisasi P-organik yang lambat menentukan rendahnya ketersediaan P (Nursyamsi dan Widjaya, 2003).

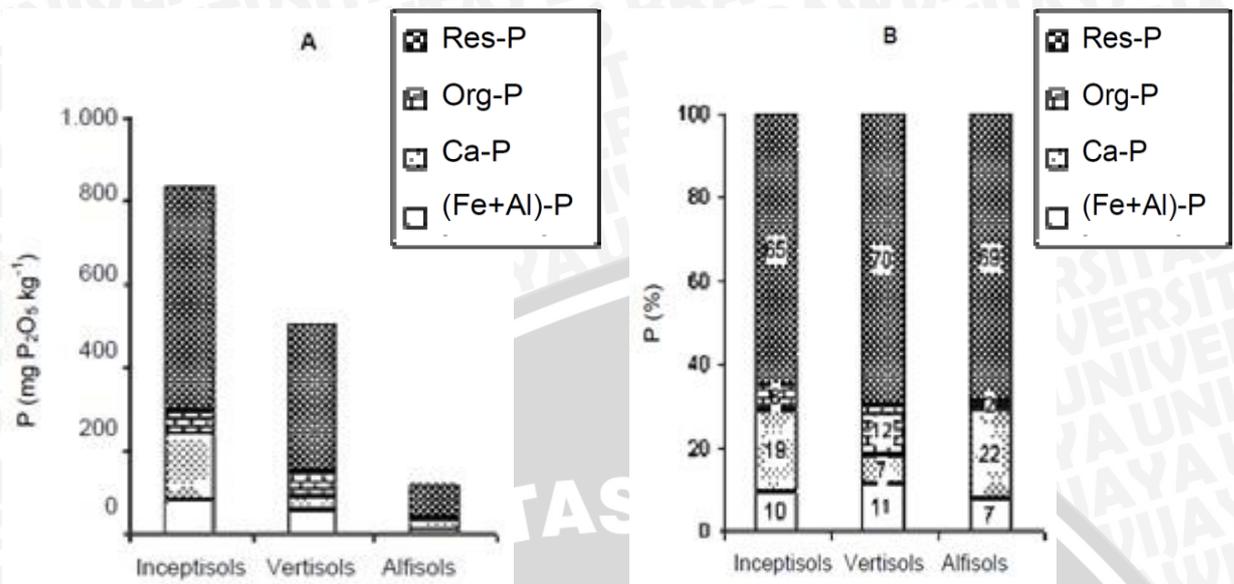
### 2.1.2. Vertisol

Vertisol merupakan tanah yang memiliki bidang kilir atau ped berbentuk baji, rata-rata tertimbang kandungan liat dalam fraksi tanah halus sebesar 30 persen atau lebih, rekahan-rakahan yang terbuka dan tertutup secara periodik (Soil Survey Staff, 2010).

Menurut Nursyamsi dan Setyorini (2009) karakteristik utama Vertisol diantaranya adalah reaksi tanah netral hingga alkalin ( $\text{pH} = 6,5-8,0$ ), mengandung mineral liat smektit (tipe 2:1) tinggi sehingga memiliki sifat-sifat vertikal serta kadar P potensial dan aktual tanah-tanah tersebut berkisar dari rendah hingga tinggi, tergantung bahan induk tanah dan tingkat pengelolaan lahan.

Pada tanah netral dan alkalin seperti Vertisols, P banyak terjerap oleh Ca karena pada pH tinggi kelarutan Ca tinggi dan dapat menyerap P. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nursyamsi dan Setyorini (2009) pada tanah netral dan alkalin seperti Inseptisol, Vertisol, dan Alfisol proporsi bentuk P dari tinggi ke rendah adalah residu-P > Ca-P > (Fe+Al)-P > organik-P. Bentuk residu-P berkisar antara 65-70%, Ca-P 7-22%, (Fe+Al)-P 7-10%, dan organik-P 2-12% (Gambar 2).

Tanah-tanah yang banyak mengandung mineral P (apatit, fluoroapatit, dan lain-lain) dan dikelola secara intensif biasanya mengandung P tinggi. Sebaliknya tanah-tanah yang miskin mineral P dan tingkat pengelolaannya masih belum intensif biasanya mengandung P relatif rendah (Nursyamsi dan Setyorini, 2009).



**Gambar 2.** Kadar (A) dan Proporsi (B) Bentuk-bentuk P Tanah Inceptisol, Vertisol, dan Alfisol (Nursyamsi dan Setyorini, 2009).

### 2.1.3. Ultisol

Ultisol didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai penciri horison argilik atau kandik dan kejenuhan basa < 35%. Horison argilik dan kandik merupakan horison iluviasi (horison akumulasi liat), yang membedakan keduanya adalah besarnya KTK-liat, yaitu pada horison kandik < 16 cmolc kg<sup>-1</sup> dan horison argilik > 16 cmolc kg<sup>-1</sup> (Soil Survey Staff, 2010). Ultisol merupakan tanah yang telah mengalami pelapukan dan pencucian lanjut sehingga mempunyai banyak faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman salah satunya adalah terjadinya defisiensi P (Sunarminto, 2000).

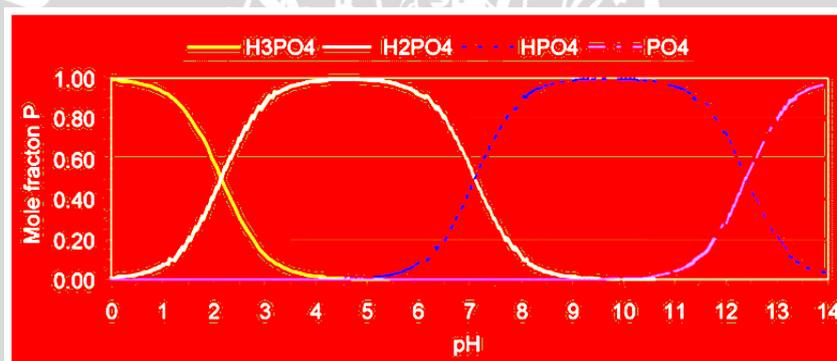
Pada tanah masam seperti Ultisol, P biasanya dijerap oleh Al dan Fe (kation, oksida, dan hidroksida) serta liat tanah (Nursyamsi dan Setyorini, 2009). Yatno *et al.* (2000) dalam Suharta (2010) juga mengemukakan bahwa selain Al, Fe-bebas juga banyak dijumpai pada tanah Plinthudults Kalimantan Selatan sehingga akan berpengaruh terhadap ketersediaan P.

Semakin lanjut perkembangan tanah, semakin meningkat retensi P yang disebabkan oleh meningkatnya Fe-oksida (Suharta, 2010). Pada tanah dengan tingkat perkembangan yang tinggi seperti Ultisol dan Oksisol dimana tanah berada pada dalam kondisi masam, Al dan Fe oksida menjadi dominan dalam tanah. Hal ini menyebabkan rendahnya total P inorganik labil dan P mineral sekunder yaitu sebesar 20% dari total P tanah, sedangkan P *occluded* sebesar 50% - 59%, dan P apatit hanya sebesar 3% (Yang dan Post, 2011).

## 2.2. Fraksionasi P Sebagai Gambaran Ketersediaan P di Dalam Tanah

### 2.2.1. Fraksionasi P berdasarkan Kompleks Jerapan

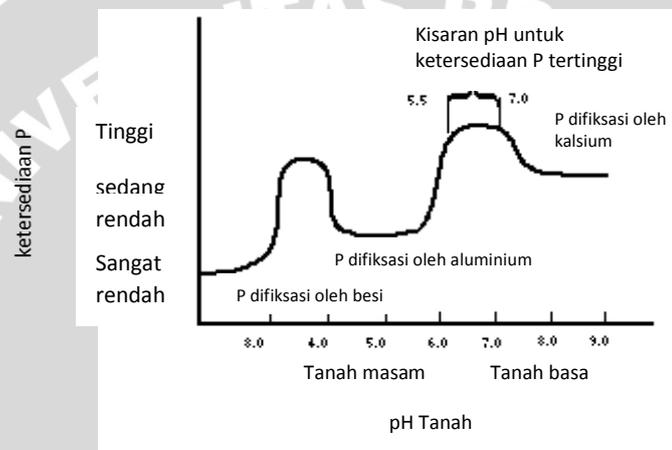
Fosfor merupakan salah satu hara makro yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Tanaman memperoleh unsur hara P dari tanah yang berasal dari pelapukan mineral simpanan tanah itu sendiri dan juga dari pemupukan serta masukan bahan organik. Fosfor dibutuhkan untuk pembentukan *adenosin di- dan triphosphate* (ADP dan ATP) yang merupakan sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Nursyamsi dan Setyorini, 2009). Tanaman menyerap P dari tanah dalam bentuk ion fosfat, terutama  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  yang terdapat dalam larutan tanah. Ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  lebih banyak dijumpai pada tanah yang lebih masam (4-6). Apabila tanah terlalu basa, ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  akan menurun kembali dan digantikan dengan ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  yang banyak dijumpai pada pH yang lebih tinggi atau alkalin (7-9) (Wijanarko dan Taufiq, 2008), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3 oleh Tisdale *et al.* (1993).



**Gambar 3.** Pengaruh pH terhadap Distribusi Kelarutan Ion Ortofosfat (Tisdale *et al.* 1993).

Bentuk P dalam tanah dibagi menjadi 2 bagian yaitu P-organik (Po) dan P-inorganik (Pi) (Phiri *et al.*, 2001). Fosfor inorganik dikelompokkan menjadi lima kategori Fe-P, Al-P, Ca-P, P yang larut dalam kondisi tereduksi, dan P *occluded* (Snyder, 2002), sedangkan bentuk fosfor organik terdiri dari tiga kelompok yaitu asam nukleat, *phytin*, dan fosfolipid. Bentuk-bentuk tersebut belum tersedia kecuali *phytin* yang dapat diserap oleh tanaman secara langsung (Djuniwati *et al.*, 2012). Bentuk P organik ini dapat berasal dari sisa tanaman, hewan, mikroba, dan juga pupuk organik, sedangkan bentuk P inorganik dalam tanah umumnya berasal dari pelapukan mineral primer, pemupukan serta mineralisasi P organik (Handayanto dan Hairiah, 2007).

Fosfor bersifat immobil di dalam tanah karena sebagian besar P tanah dijerap menjadi bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Ketersediaan P paling tinggi berada pada kisaran pH 5,5 – 7,0. Pada tanah masam seperti Ultisol dan Oxisol P biasanya dijerap oleh Al dan Fe serta liat, sedangkan pada tanah netral dan alkalin seperti Alfisols dan Vertisols, P dijerap selain oleh Al, Fe, dan liat tanah juga oleh Ca (Nursyamsi dan Setyorini, 2009), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 oleh Busman *et al.* (2002). Pada tanah alkalin Ca-P lebih dominan, sedangkan pada tanah masam Fe-P lebih dominan dan Al-P predominan (Abolfazli *et al.*, 2012).

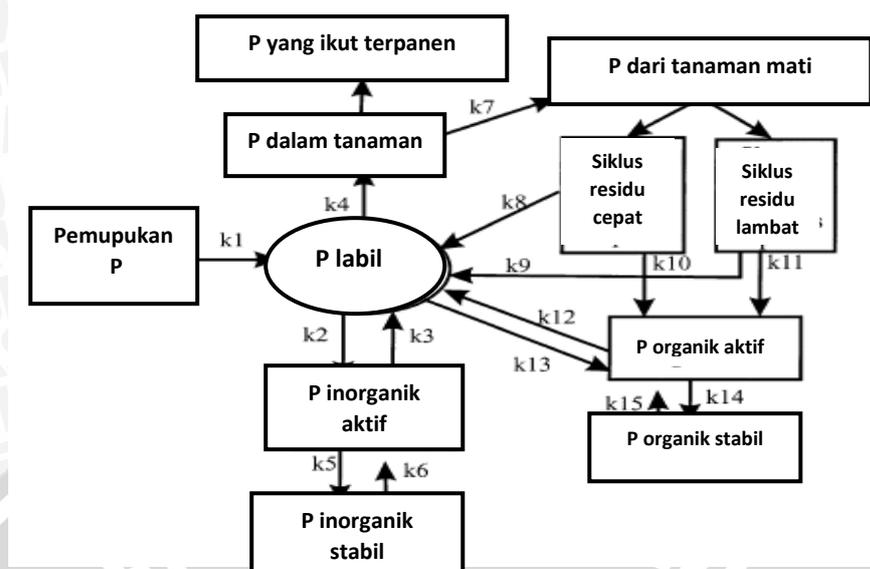


**Gambar 4.** Hubungan pH Tanah dengan Ketersediaan P (Busman *et al.*, 2002).

### 2.2.2. Fraksionasi P Berdasarkan Tingkat Ketersediaan untuk Tanaman

Berkenaan dengan ketersediaannya bagi tanaman, unsur P dibedakan menjadi bentuk P labil yang merupakan bentuk P tersedia dengan cepat bagi tanaman, P medium labil atau P yang terikat pada kompleks permukaan koloid, serta P stabil atau P yang terjerap kuat dan sukar larut (Handayanto dan Hairiah, 2007). Informasi mengenai perbedaan fraksi P dalam tanah dan hubungannya dengan ketersediaan P serta sifat tanah lainnya sangat berpotensi untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P dalam tanah (Malik *et al.*, 2014).

Terdapat tiga fraksi P inorganik dalam tanah yaitu labil, aktif, dan stabil, serta dua fraksi P organik yaitu labil dan stabil yang ditunjukkan dalam model P (Gambar 5). Fosfor yang terlarut dalam tanah merupakan fraksi P labil. Fosfor yang berasal dari tambahan adanya pemupukan menghasilkan fraksi P residu dalam tanaman dengan siklus yang lambat dan cepat (Daroub *et al.*, 2002).



**Gambar 5.** Fraksi Fosfor pada Model P (Daroub *et al.*, 2002).

Tanaman mengambil P yang disimpan untuk hidupnya. Ketika tanaman dipanen, P tersebut akan hilang bersama hasil panen dan sisa-sisa panen apabila tidak dikembalikan lagi ke dalam tanah. Tanaman mengambil P dari larutan tanah. Fosfor yang larut dalam tanah didefinisikan sebagai fraksi P labil. Fosfor labil merupakan fraksi P yang paling dinamis yang terdapat dalam larutan tanah dan terjerap oleh koloid tanah. Fosfor labil tergantung pada kapasitas penyerapan dari tanah yang dipengaruhi oleh kandungan liat, konsentrasi Fe dan Al oksida serta konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  (Daroub *et al.*, 2002).

Fraksi P inorganik dan P organik yang aktif berperan sebagai fraksi yang medium sampai lambat terganti lagi menjadi fraksi P labil. Fraksi P inorganik dan P organik stabil merupakan fraksi yang sangat lambat berubah menjadi fraksi P labil yang dapat digunakan tanaman namun ukuran atau jumlahnya dapat meningkat atau menurun tergantung pada tingkat pemupukan yang diberikan (Daroub *et al.*, 2002). Ketersediaan P organik sangat tergantung pada aktivitas mikroba. Mikroba tanah menghasilkan enzim fosfatase yang berfungsi untuk melepaskan P ke dalam tanah (Handayanto dan Hairiah, 2007).

### 2.2.3. Metode Fraksionasi P

Fraksionasi P merupakan suatu kegiatan pemisahan fraksi-fraksi P yang ada di dalam tanah. Pemisahan bentuk P-organik (Po) dan P-inorganik (Pi) sangat sulit dilakukan karena tidak semua kandungan P-organik dapat diketahui.

Pendekatan fraksionasi telah terbukti berguna untuk menilai perubahan status P pada berbagai jenis tanah. Teknik ini memisahkan secara berurutan berbagai fraksi  $P_i$  dan  $P_o$  berdasarkan ketersediaan dan asosiasi biologis (Contreras *et al.*, 2007). Fraksionasi P inorganik biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi pengaruh dari tipe tanah dan sumber P serta potensi ketersediaan dan mobilitas P di dalam tanah (Mostashari *et al.*, 2008).

Beberapa metode fraksionasi P telah dikembangkan salah satunya adalah metode dari Hedley *et al.* (1982). Dalam penelitian ini, metode fraksionasi ini digunakan untuk membedakan dan memisahkan fraksi P di dalam tanah. Prosedur fraksionasi untuk mengekstrak fraksi P dalam tanah dimulai dengan bentuk yang labil dan berakhir pada bentuk yang lebih stabil.

Fraksi P inorganik diekstrak menggunakan  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , dan  $\text{HCl}$ . Sedangkan fraksi P organik diekstrak dengan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ . Fosfor residu tidak terekstrak dengan ekstraksi kimia sebelumnya karena merupakan  $P_i$  dan  $P_o$  yang sulit terdekomposisi (Daroub *et al.*, 2002).

Bentuk P organik memainkan peran yang penting bagi ketersediaan P biologi dalam tanah, namun konsentrasi, dan dinamika P organik di dalam tanah sangat kurang dimengerti (Hansen *et al.*, 2004). Senyawa P organik seperti RNA dan gliserofosfat terekstrak dengan  $\text{NaHCO}_3$  dan dianggap sebagai bagian P organik yang aktif (Daroub *et al.*, 2002).  $P_o\text{-NaHCO}_3$  bersumber dari mineralisasi bahan organik merupakan bentuk P labil dan berada dalam larutan tanah yang segera tersedia untuk tanaman (Djuniwati *et al.*, 2012).

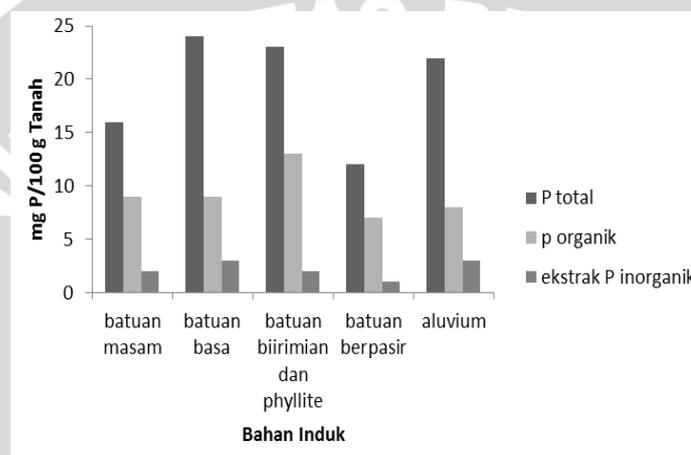
Fraksi yang terekstrak dengan  $\text{NaOH}$  merupakan fraksi  $P_i$  dan  $P_o$  medium labil dan terjerap oleh Al dan Fe (Ryden *et al.*, 1977 dalam Daroub *et al.*, 2002). Fraksi  $\text{NaOH-P}_i$  merupakan fraksi P yang tersedia untuk tanaman pada umur 18 tahun di Ultisol (Beck and Sanchez, 1994 dalam Daroub *et al.*, 2002).  $\text{NaOH-}$  ( $P_i$  dan  $P_o$ ) dianggap sebagai P terikat dengan permukaan amorf dan beberapa kristal Fe dan Al mineral dan mungkin tersedia dalam jangka menengah (Malik *et al.*, 2014).

Fosfor yang terekstrak dengan  $\text{HCl}$  adalah P yang berasal dari mineral. Sebagian besar Ca-P juga akan terekstrak dengan  $\text{HCl}$ . Residu P dapat berasal dari  $P_i$  dan  $P_o$  yang resisten untuk terdekomposisi (Daroub *et al.*, 2002). Residual P merupakan bagian yang sangat stabil dari total fraksi P dan tersedia bagi tanaman hanya dalam jangka panjang (Malik *et al.*, 2014).

### 2.3. Faktor yang Mempengaruhi Ketersediaan P

#### 2.3.1. Bahan Induk dan Tingkat Perkembangan Tanah

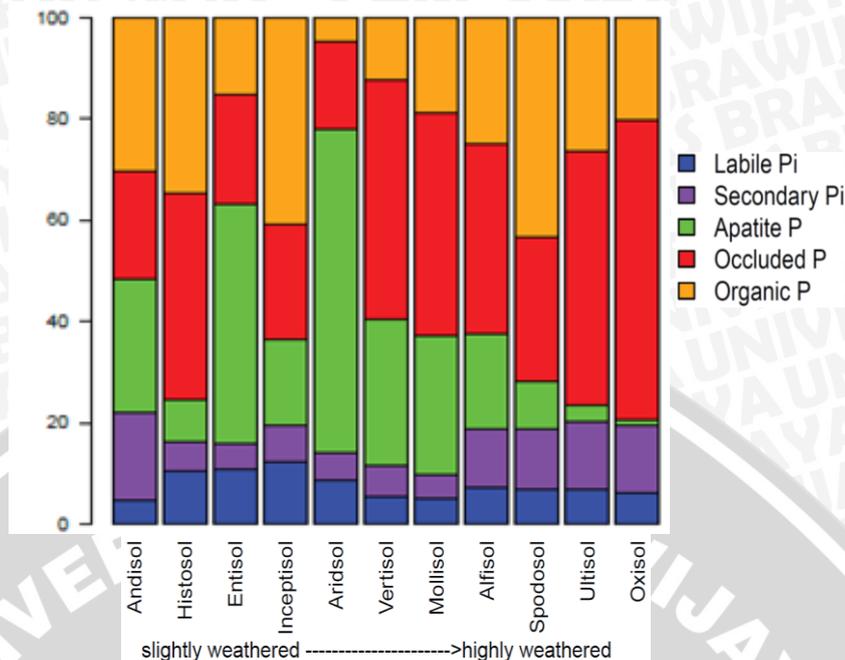
Ketersediaan serta fraksi-fraksi P dalam tanah dipengaruhi oleh bahan induk yang menyusun tanah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Acquye dan Oteng (1972), tanah dengan bahan induk yang berasal dari batuan basa menunjukkan P total dan ekstrak P inorganik yang tinggi. P organik tertinggi berasal dari bahan induk batuan birrimian dan *phyllite*. Sedangkan P total, P organik, dan ekstrak P inorganik terendah berasal dari bahan induk batuan berpasir (Gambar 6).



**Gambar 6.** Hubungan Bahan Induk dengan Jumlah P dalam Tanah (Acquyue dan Oteng, 1972).

Andisol, Vertisol dan Ultisol memiliki bahan induk yang berbeda dan juga tingkat perkembangan tanah yang berbeda sehingga fraksi P dalam tanah antara ketiga tanah tersebut juga berbeda. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yang dan Post (2011) menunjukkan perbedaan fraksi-fraksi tanah dengan tingkat perkembangan tanah yang berbeda (Gambar 7).

Pada tanah dengan tingkat perkembangan tanah yang tinggi seperti Oxisol memiliki total P labil sebesar 5% yang sebanding dengan tanah dengan tingkat perkembangan sedang. Fraksi dari mineral P sekunder meningkat dengan semakin meningkatnya tingkat perkembangan tanah. Semakin tingginya tingkat perkembangan tanah P apatit semakin menurun. Pada tanah dengan tingkat perkembangan yang masih rendah seperti Entisol memiliki persentase P apatit tinggi yaitu sebesar 47%, sedangkan pada tanah dengan tingkat perkembangan tinggi seperti Oksisol jumlah P apatit hanya sekitar 3% dari total P tanah.

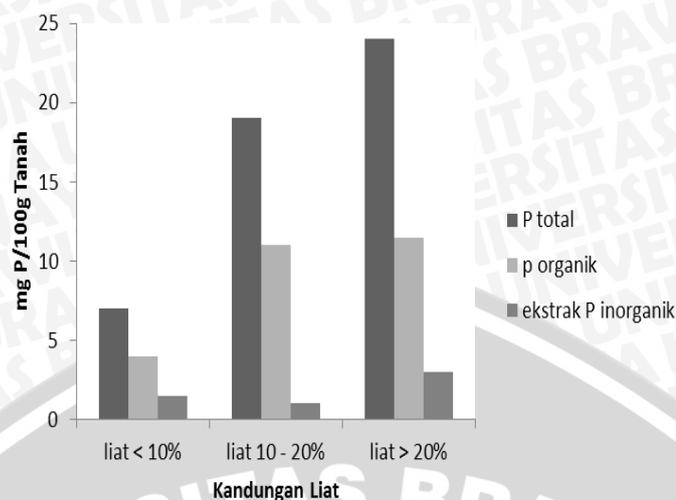


**Gambar 7.** Perbedaan Fraksi P dalam Tanah pada Berbagai Tingkat Perkembangan Tanah (Yang dan Post, 2011).

P apatit pada Aridisol menunjukkan total yang paling tinggi diantara tanah-tanah yang lainnya yaitu mencapai 64%. Semakin tingginya tingkat perkembangan tanah, P *occluded* semakin meningkat. Pada tanah dengan tingkat perkembangan rendah seperti Entisol, Inseptisol dan Aridisol memiliki P *occluded* 20% dari total P dalam tanah, sedangkan pada tanah dengan tingkat perkembangan tinggi seperti Ultisol dan Oksisol P *occluded* sebesar 50% - 59% dari total P dalam tanah.

### 2.3.2. Kandungan dan Tipe Liat

Kandungan dan tipe liat dapat mempengaruhi ketersediaan P di dalam tanah. Tipe liat 1:1 yang banyak mengandung kaolinit lebih kuat mengikat P daripada tipe 2:1. Disamping itu oksida hidrous dari Al dan Fe pada tipe liat 1 : 1 juga ikut menjerap P (Winarso, 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Acquyaye dan Oteng (1972) menunjukkan bahwa tanah dengan tekstur antara pasir dan lempung berpasir memiliki rata-rata total P sebesar 10 mg P/100 g tanah sedangkan tanah dengan terkstur yang lebih berat yaitu lempung, liat berpasir dan liat memiliki rata-rata P sebesar 21 mg P/100 g tanah (Gambar 8).



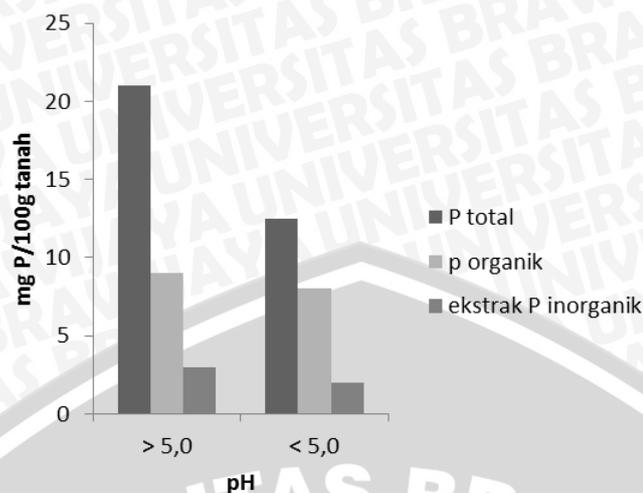
**Gambar 8.** Hubungan Peningkatan Kandungan Liat terhadap Jumlah P dalam Tanah (Acquyue dan Oteng, 1972)

Bagian terbesar dari total P dalam tanah sebagian besar berada dalam kombinasi dengan fraksi liat yang merupakan oksida hidrous Fe dan Al serta kaolinit. Sehingga dengan semakin bertambahnya kandungan liat dalam tanah dapat meningkatkan total P inorganik (Acquqye dan Oteng, 1972).

### 2.3.3. Reaksi Tanah

Ketersediaan dan bentuk-bentuk P di dalam tanah berhubungan erat dengan pH tanah. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Acquqye dan Oteng (1972), baik P total, P organik, maupun ekstrak P inorganik lebih banyak dijumpai pada kisaran pH antara 5,5 – 7 dan menurun pada pH tanah lebih rendah dari 5,5 atau lebih tinggi dari 7 (Gambar 9).

Pada tanah dengan pH rendah atau masam, P banyak diikat oleh Al dan Fe, karena pada pH yang rendah kelarutan Al dan Fe tinggi sedangkan pada tanah netral sampai alkalin, ion P akan mengendap sebagai Ca-P. Peningkatan pH bergantung pada *buffer capacity* dalam tanah. Pengendapan Ca merupakan bagian yang penting untuk ketersediaan P tanah dimana Ca tersedia lebih banyak pada pH yang lebih tinggi (Abolfazli *et al.*, 2012).



**Gambar 9.** Hubungan pH terhadap Jumlah P dalam Tanah (Acquayae dan Oteng, 1972).

#### 2.3.4. Bahan Organik

Bahan organik tanah dapat mempengaruhi ketersediaan P melalui hasil dekomposisinya yang menghasilkan asam-asam organik dan  $\text{CO}_2$ . Asam organik berperan mengkhelat kompleks Al dan Fe yang larut sehingga pH tanah dapat meningkat (Djuniwati *et al.*, 2012). Dengan demikian konsentrasi ion Al, Fe, dan Ca yang bebas dalam larutan akan berkurang dan diharapkan P tersedia akan lebih banyak.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Contreras *et al.* (2007) di lokasi padang rumput dengan tanah berpasir, kandungan fraksi-fraksi P dalam tanah secara signifikan meningkat setelah tanah diberikan perlakuan pupuk kandang sapi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Peningkatan kandungan P di dalam tanah mencapai 15 kali lebih banyak setelah diberikan perlakuan pupuk kandang sapi. Seperti yang terlihat pada jumlah fraksi Pi-resin supernatan, sebelum diberikan perlakuan kandungan P dalam tanah  $0 \text{ mg kg}^{-1}$ , setelah ditambahkan pupuk kandang sapi kandungan P menjadi meningkat mencapai  $15,8 \text{ mg kg}^{-1}$ . Peningkatan ini juga terjadi pada fraksi-fraksi yang lain.

Tanah dengan C-organik tinggi memiliki nilai fraksi P labil yang tinggi dikarenakan ada hubungan langsung antara C-organik dan jumlah kandungan mikrobial P di dalam tanah yang sebagian besar menjadi fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  dalam tanah (Malik *et al.*, 2014).

**Tabel 1.** Fraksi P inorganik dan P organik (0-10 cm) pada tanah yang dipupuk dengan pupuk kandang sapi (M) dan padang rumput tanpa perlakuan (NS) Amazon, Venezuela (Contreraz *et al.*, 2007).

Sequential P Fractionation (mgPkg <sup>-1</sup> )	NS	M
<b>Inorganic-P</b>		
Resin supernatant-Pi	0.0a	15.8b
Resin-Pi	0.6a	60.9b
Bic-Pi	6.9a	42.4b
NaOH-Pi	12.2a	281.7b
NaOH sonicate-Pi	3.4a	48.2b
HCl-Pi	0.2a	68.6b
Total Pi fractions	23.3a	517.6b
<b>Organic-P</b>		
Bic-Po	6.3a	27.2b
NaOH-Po	36.9a	66.1b
NaOH sonicate-Po	11.1a	76.5b
Total-Po fractions	54.3a	169.8b
Residual P	114.6a	163.9b
Total P (sum of fractions)	192a	851b

### 2.3.5. Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah dapat menyebabkan berubahnya sifat fisik, biologi, dan kimia dalam tanah. Salah satu pengolahan tanah yang dapat mengubah sifat-sifat tanah adalah adanya penggenangan dalam tanah. Tanah yang tergenang akan berubah dari kondisi yang oksidatif menjadi reduktif. Kondisi ini mempengaruhi aktivitas-aktivitas mikroba tanah yang menstimulasi proses reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup>, meningkatkan pH, menurunkan Eh, dan terjadi peningkatan ketersediaan P (Cyio, 2008).

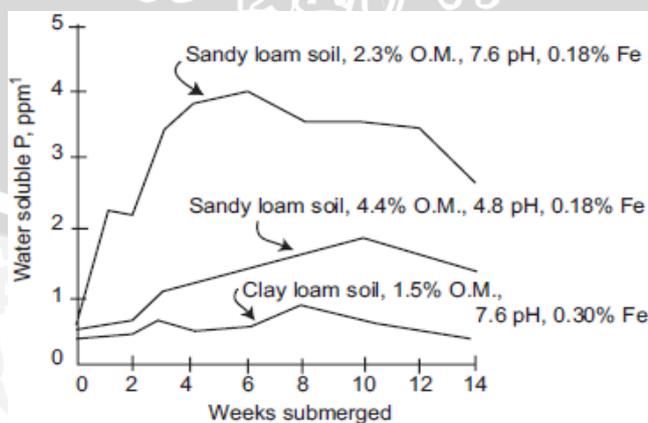
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cyio (2008) semakin tinggi genangan maka akan dapat menurunkan kandungan Fe dan Al serta meningkatkan kandungan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabel 2). Pada tanah dengan tinggi genangan 15 cm dapat menurunkan kandungan Fe dari 169,82 mg kg<sup>-1</sup> menjadi 159,47 mg kg<sup>-1</sup> dan diikuti dengan peningkatan kandungan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dari 12,36 mg kg<sup>-1</sup> menjadi 17,69 mg kg<sup>-1</sup>. Penurunan Fe dan peningkatan kandungan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> semakin meningkat dengan ditambahkannya bahan organik (Cyio, 2008).

**Tabel 2.** Dinamika Status Fe, Al dan P pada Berbagai Tinggi Genangan (Cyio, 2008)

Variasi Tinggi Genangan (cm)	Bahan Organik (t ha <sup>-1</sup> )				Bahan Organik (t ha <sup>-1</sup> )	
	0		15		Al <sub>dd</sub> (me/100g)	
	Fe (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	0	15
0 (Macak)	169,82 <sup>a</sup>	12,36 <sup>a</sup>	145,34 <sup>a</sup>	14,35 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>
	A	α	B	λ	A	B
10	165,27 <sup>b</sup>	15,29 <sup>b</sup>	104,13 <sup>b</sup>	17,56 <sup>b</sup>	0,72 <sup>b</sup>	0,58 <sup>b</sup>
	A	α	B	λ	A	B
15	159,47 <sup>c</sup>	17,69 <sup>c</sup>	99,56 <sup>c</sup>	18,87 <sup>c</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,51 <sup>c</sup>
BNJ	3,50	0,50	3,50	0,50	0,03	0,03

Sumber lain menyebutkan bahwa lama penggenangan tanah dengan kandungan bahan organik, pH, konsentrasi Fe, serta tekstur yang berbeda-beda juga dapat mempengaruhi tingkat kelarutan P dalam tanah (Gambar 10).

Pada tanah dengan tekstur lempung berpasir dan kandungan Fe sebesar 0,18 % jumlah P terlarut terus meningkat sampai pada minggu keenam setelah penggenangan. Setelah itu kelarutan P mengalami penurunan pada minggu kedelapan sampai keempat belas. Pada tanah dengan tekstur lempung berliat dan kandungan Fe sebesar 0,3 %, tingkat kelarutan P paling rendah. Namun setelah tanah semakin lama tergenang kelarutan P dalam tanah meningkat yang terlihat pada minggu kedelapan dan menurun kembali pada minggu kesepuluh. Peningkatan P tersebut dapat terserap kembali ke dalam partikel liat dan Al hidroksida sehingga untuk beberapa waktu terjadi penurunan kembali ketersediaan P pada tanah dengan jumlah Fe dan Al aktif yang tinggi (Snyder, 2002).



**Gambar 10.** Pengaruh Lama Penggenangan terhadap Kelarutan P (Snyder, 2002).

#### 2.4. Perubahan Lahan Kering menjadi Lahan Sawah

Pengelolaan air merupakan perbedaan yang paling mendasar dari lahan kering dan lahan basah atau lahan sawah. Lahan kering merupakan lahan yang tidak pernah tergenang air pada sebagian besar waktu dalam setahun atau sepanjang waktu (Hidayat dan Mulyani, 2002). Sedangkan lahan sawah merupakan lahan yang pengelolaannya memerlukan genangan air (Puslittanak, 2003).

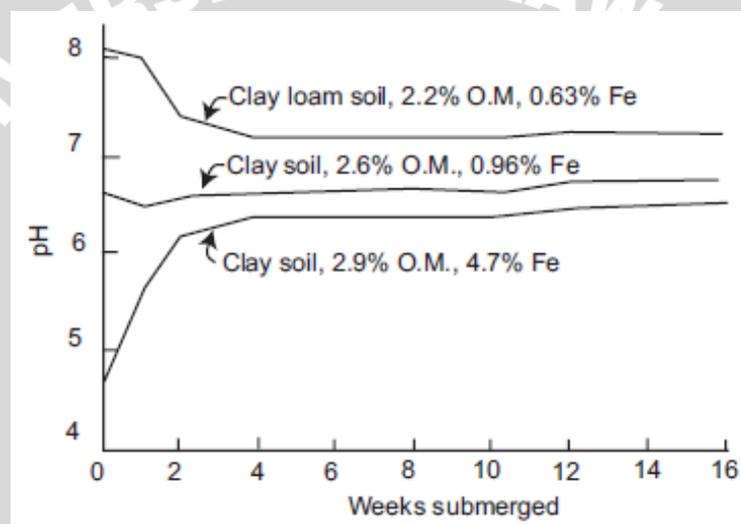
Dalam proses penyawahana terdapat proses penggenangan dan juga pelumpuran. Pengolahan tanah dalam kondisi tergenang yang sengaja dilakukan menyebabkan terjadinya berbagai perubahan sifat tanah, baik sifat fisika, kimia, maupun biologi tanah (Najafi, 2013). Proses pelumpuran mengakibatkan agregat tanah menjadi hancur. Perubahan sifat fisik tanah akibat aktivitas penyawahana menyebabkan tanah menjadi padat sehingga berat jenis tanah meningkat (Cyio, 2008). Perubahan karakteristik kimia tanah yang dominan diantaranya adalah perubahan potensial redoks (Eh) dan keasaman (pH) tanah yang merupakan dua faktor utama yang saling berkaitan dalam mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan hara, kelarutan besi dari ion  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ . Perubahan bentuk  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$  terjadi karena adanya perubahan suasana oksidatif menjadi reduktif (Cyio, 2008).

Hasil penelitian Edem dan Ndaeyo (2007) menunjukkan bahwa lahan basah yang diteliti memiliki banyak masalah yaitu adalah pH tanah saat basah menjadi netral (6,4) tetapi menjadi ekstrim sangat asam (3,5) ketika kering. Selain itu kandungan N total rendah, kandungan kation seperti Ca, Mg, K, dan Na rendah namun kation asam seperti Al dan H tinggi, kapasitas tukar kation rendah, yaitu di bawah  $20 \text{ cmol kg}^{-1}$ , kejenuhan basa rendah yaitu  $< 38\%$ , jumlah Al-dd dan Al jenuh tinggi ( $>60\%$ ), nilai daya hantar listrik di atas nilai kritis  $2 \text{ dsm}^{-1}$ , P tersedia rendah yakni  $< 10 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan rasio  $Fe_2O_3$ /liat bebas  $< 0,15$ .

Ketika tanah tergenang (anaerob), mikroorganisme menggunakan oksigen yang tersedia untuk bertahan hidup. Oksigen yang bebas dalam tanah biasanya menurun bahkan hilang. Semakin lama tanah tergenang, keberadaan oksigen akan semakin berkurang (Snyder, 2002). Keadaan reduksi akibat penggenangan akan mengubah aktivitas mikroba tanah aerob menjadi anaerob. Aktivitas dari mikroba

tanah tersebut menstimulasi proses reduksi  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi  $\text{Fe}^{2+}$ , meningkatkan pH, menurunkan Eh, dan terjadi peningkatan ketersediaan P. Pada kondisi anaerob, mikroorganisme fakultatif dan obligat menggunakan oksida anorganik selain oksigen sebagai akseptor elektron, seperti  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}^+$ , yang kemudian akan direduksi berturut-turut menjadi  $\text{N}_2$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{NH}_2$  (Cyio, 2008).

Berapapun pH tanah sebelum tergenang, setelah tanah tergenang pH tanah akan mendekati netral (6,7 – 7,7). Tanah dengan pH yang tinggi, setelah tergenang pH tanah akan menurun sedangkan tanah dengan pH rendah, setelah tergenang pH tanah akan meningkat menjadi netral (Gambar 11).



**Gambar 11.** Pengaruh Lama Penggenangan terhadap pH Tanah (Snyder, 2002).

Perubahan kimia yang lain akibat proses penyawahan adalah penurunan Eh tanah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cyio (2008) dengan meningkatnya tinggi genangan, Eh tanah semakin menurun. Proses penggenangan akan menyebabkan terjadinya deplesi  $\text{O}_2$ , dan penurunan tersebut akan diikuti oleh penurunan Eh. Semakin lama tanah tergenang maka semakin tinggi deplesi  $\text{O}_2$  dan semakin menurun pula Eh tanah (Cyio, 2008).

Selain itu, terjadi pula perubahan unsur hara dalam tanah salah satunya adalah unsur hara P. Akibat adanya penyawahan ketersediaan P dalam tanah menjadi meningkat. Hal tersebut disebabkan karena adanya perubahan ferifosfat ( $\text{Fe}^{3+}$ ) yang tereduksi menjadi ferofosfat ( $\text{Fe}^{2+}$ ) pada tanah sawah sehingga P dilepaskan menjadi bentuk yang lebih mudah larut. Reduksi ferioksida merupakan



### III. METODOLOGI

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga jenis tanah yang berbeda yaitu Andisol (Sukabumi, Jawa Barat), Vertisol (Ngawi, Jawa Timur), dan Ultisol (Bogor, Jawa Barat). Pada setiap lokasi diamati dua jenis lahan yaitu lahan kering (tegalan) dan juga lahan basah (sawah).

##### 1. Desa Perbawati, Kecamatan Kota, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.

Jenis tanah di daerah ini adalah Andisol dengan curah hujan rata-rata mencapai 4500 mm. Ketinggian titik pengamatan untuk lahan tegalan adalah 900 – 1000 mdpl sedangkan untuk lahan sawah terletak pada ketinggian 80 – 90 mdpl. Vegetasi yang tumbuh di lahan tegal adalah ketela pohon (*Manihot esculenta*) yang merupakan tanaman utama dan jagung (*Zea mays*) sebagai tanaman pendamping. Pengelolaan lahan yang dilakukan petani pada lahan tegalan ini adalah aplikasi pupuk kandang dan juga NPK, tanpa adanya sistem irigasi melainkan memanfaatkan air hujan, serta tidak adanya pengembalian sisa panen karena sisa panen digunakan untuk pakan ternak. Sedangkan pada lahan sawah ditanami dengan tanaman padi (*Oryza sativa*) dengan dua kali tanam pada setiap tahunnya. Pengelolaan lahan yang dilakukan petani diantaranya adalah aplikasi pupuk kandang, Urea dan Phonska. Selain itu sisa hasil panen juga dikembalikan ke dalam lahan. Hasil deskripsi yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Ringgih (2014) pada lahan sawah di Andisol ini terdapat lapisan tapak bajak pada pada lapisan ketiga dengan kedalaman 22 – 35 cm.

##### 2. Desa Ploso Lor, Kecamatan Karang Jati, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur

Jenis tanah di daerah ini adalah Vertisol dengan curah hujan rata-rata di daerah ini mencapai 2500 – 4800 mm. Ketinggian titik pengamatan untuk lahan tegalan dan lahan sawah adalah 70 – 80 mdpl. Vegetasi yang tumbuh di lahan tegalan adalah tebu (*Saccharum officinale*) dengan pengelolaan lahan berupa aplikasi pupuk ZA, NPK dan pupuk kandang/hijau, serta adanya pengembalian sisa hasil panen ke dalam lahan. Sedangkan pada lahan sawah ditanami dengan tanaman padi (*Oryza sativa*) dengan dua kali tanam pada setiap tahunnya.

Pengelolaan lahan dengan menggunakan sistem irigasi sederhana, aplikasi pupuk anorganik yaitu NPK, ZA, Urea, dan SP36 serta adanya pengembalian sisa hasil panen ke dalam lahan. Hasil deskripsi yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya Ringgih (2014), pada lahan sawah di Vertisol ini terdapat lapisan tapak bajak pada lapisan ketiga dengan kedalaman 17 – 20 cm.

### 3. Desa Sukamaju, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Jenis tanah di daerah ini adalah Ultisol dengan curah hujan rata-rata di daerah ini mencapai 2500 – 4000 mm. Ketinggian titik pengamatan untuk lahan tegalan adalah 236 – 238 mdpl sedangkan untuk lahan sawah terletak pada ketinggian 238 – 248 mdpl. Vegetasi yang tumbuh di lahan tegalan berupa tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.), pisang (*Musa paradisiaca*), talas (*Colocasia esculenta*) dan dikelilingi tanaman kayu *Leucaena leucocephala*. Penggunaan lahan berupa kebun campuran dengan tanaman semusim sebagai tanaman yang dominan. Pengelolaan lahan dengan tidak menggunakan irigasi melainkan memanfaatkan air hujan dan adanya aplikasi pupuk kandang. Sedangkan pada lahan sawah ditanamami dengan tanaman padi (*Oryza sativa*) dengan dua kali tanam dalam satu tahun. Pengelolaan lahan yang dilakukan petani pada lahan sawah ini adalah dengan irigasi sederhana, aplikasi pupuk anorganik Urea dan ZA serta pupuk kandang. Hasil deskripsi yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya Ringgih (2014), pada lahan sawah di Ultisol ini juga terdapat lapisan tapak bajak pada lapisan ketiga dengan kedalaman 15 – 25 cm.

Analisis sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya pada Bulan April – Mei 2014.

### 3.2. Alat dan bahan

#### 3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam analisis fraksionasi fosfor meliputi tabung *centrifuge* plastik, *centrifuge*, pengocok, botol plastik 100 ml, pendingin, *beaker glass*, kertas saring, *digestion block*, *volumetric flash*, alat titrasi, *Spectofotometer vitatron*. Sedangkan untuk mengolah data menggunakan *software* Ms. Exel 2010 dan GenStat.

#### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi sampel Andisol, Vertisol, dan Ultisol. sedangkan untuk analisis fraksionasi menggunakan bahan-bahan sesuai dengan petunjuk fraksionasi dalam Hedley *et al.* (1982) yang meliputi air destilasi, 0,5 M  $\text{NaHCO}_3$  pH 8,5, 0,1 M NaOH, 0,1 M NaCl, 0,1 M HCl, 97% M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 35%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 0,9 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 4 M NaOH, indikator phenolphthalein, *reagen* B.

### 3.3. Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1. Pengambilan Sampel Tanah

Tanah diambil dari lapisan satu sampai lapisan keempat berdasarkan deskripsi profil oleh Ringgih (2014). Sampel tanah yang digunakan berasal dari tanah sawah dan bukan sawah atau tegalan yang berasal dari 3 lokasi yang memiliki ordo tanah berbeda yaitu Andisol, Vertisol, dan Ultisol. Pada setiap lokasi penelitian diamati profil tanah sawah dan tanah bukan sawah yang telah diamati sebelumnya oleh Ringgih (2014). Jarak antar profil dalam satu lokasi  $\pm$  100 m untuk tetap menjaga sifat dan karakter asli tanah yang diamati tidak berbeda terutama antara profil sawah dan bukan sawah. Jumlah profil tanah yang diamati dari ke-3 lokasi penelitian adalah 18 profil tanah. Informasi tentang pedon yang diamati untuk ke-3 lokasi/daerah penelitian disajikan dalam Tabel 3.

Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian berasal dari profil-profil yang telah diamati dengan mengambil sampel pada empat lapisan teratas disetiap ulangan pada masing-masing penggunaan lahan dan ordo tanah.

**Tabel 3.** Lokasi atau Daerah yang Diamati.

No.	Lokasi/Daerah	Jenis Tanah	Titik Pengamatan	Keterangan	Simbol
1.	Desa Perbawati, Kecamatan Kota, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat	Andisol	Ulangan 1	Lahan Sawah	LS A1
			Ulangan 2		LS A2
			Ulangan 3		LS A3
			Ulangan 1	Lahan Kering (Tegalan)	LT A1
			Ulangan 2		LT A2
			Ulangan 3		LT A3
2.	Desa Ploso Lor, Kecamatan Karang Jati, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur	Vertisol	Ulangan 1	Lahan Sawah	LS V1
			Ulangan 2		LS V2
			Ulangan 3		LS V3
			Ulangan 1	Lahan Kering (Tegalan)	LT V1
			Ulangan 2		LT V2
			Ulangan 3		LT V3
3.	Desa Sukamaju, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat	Ultisol	Ulangan 1	Lahan Sawah	LS U1
			Ulangan 2		LS U2
			Ulangan 3		LS U3
			Ulangan 1	Lahan Kering (Tegalan)	LT U1
			Ulangan 2		LT U2
			Ulangan 3		LT U3

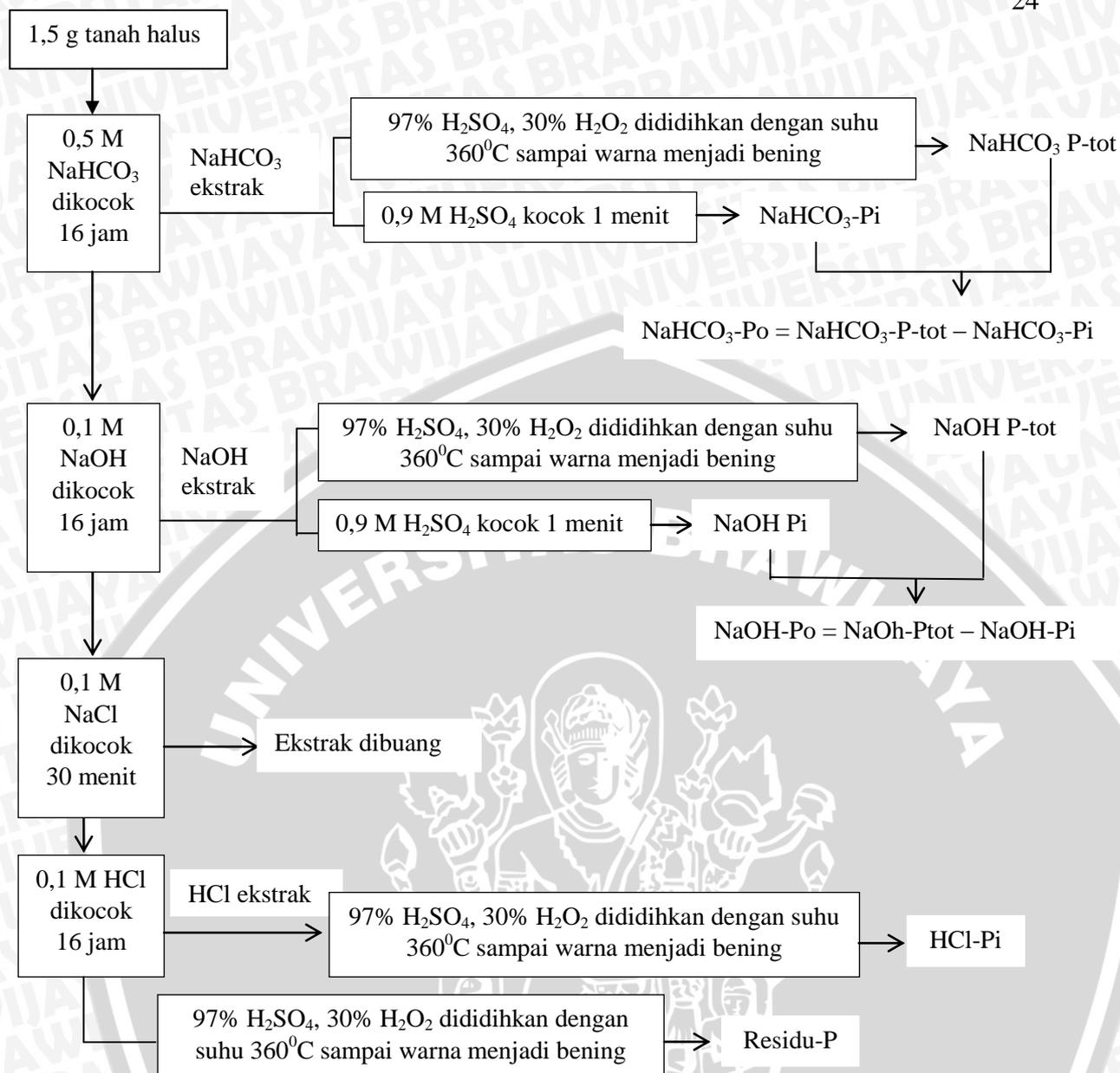
### 3.3.2. Metode Analisis Tanah

Analisis fraksionasi P sampel tanah menggunakan metode Hedley *et al.* (1982). Metode ini digunakan untuk mengetahui komposisi fraksi-fraksi P dalam tanah. Fraksi P yang diamati meliputi fraksi P labil, P medium labil, dan P stabil. Parameter yang diamati disajikan dalam Tabel 4 sedangkan metode analisis tanah ditunjukkan dalam Gambar 12.

**Tabel 4.** Parameter Utama yang Diamati.

No	Parameter	Fraksi P	Metode Analisis
1.	Fraksionasi P(mg kg <sup>-1</sup> )		Hedley <i>et al.</i> , 1982
	NaHCO <sub>3</sub> -Po	Labil	NaHCO <sub>3</sub> -P tot – NaHCO <sub>3</sub> -Pi
	NaHCO <sub>3</sub> -Pi	Medium Labil	0,5 M NaHCO <sub>3</sub> + 0,9 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	NaOH-Po	Medium Labil	NaOH-P tot – NaOH-Pi
	NaOH-Pi	Medium Labil	0,1 M NaOH + 0,9 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	HCl-Pi	Stabil	Ekstrak 0,1 M HCl+97% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dan 35% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	P-residu	Stabil	0,1 M HCl + 97% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dan 35% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	P-total	P Labil + P Stabil	Fraksi P labil + P medium labil + P stabil
	P-labil	Labil	Fraksi P labil + P medium labil
2.	pH (H <sub>2</sub> O) *	-	pH meter
3.	C-Organik *	-	Walkey and Black
4.	Tekstur Tanah *	-	Metode Pipet

Keterangan: \* data diperoleh dari hasil analisis yang dilakukan oleh Ringgih (2014)



-Analisa P tersedia untuk semua ekstrak berdasarkan *Colorimetric Ascorbic Molybdate*-

<b>Keterangan:</b>		
NaHCO <sub>3</sub> -Po	= P-organik labil	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 100px; margin: 0 10px;"></div> <div style="text-align: center;"> <p>Lebih tersedia</p> <p>↓</p> <p>Sulit tersedia</p> </div> </div>
NaHCO <sub>3</sub> -Pi	= P-inorganik medium labil	
NaOH-Po	= P-organik medium labil	
NaOH-Pi	= P-inorganik medium stabil	
Pi-HCl-Pi	= P-inorganik stabil	
Residu-P	= P-sisa	

Frakasi P yang tersedia berada dalam bentuk P-labil (NaHCO<sub>3</sub>-Po, NaHCO<sub>3</sub>-Pi, NaOH-Po), dan P yang sulit tersedia berada dalam bentuk P-stabil (NaOH-Pi, HCl-Pi, Residu-P).

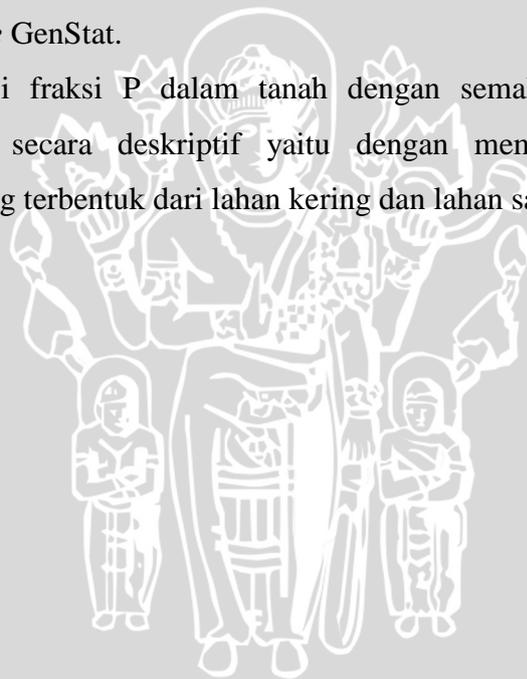
**Gambar 12.** Skema Penetapan Fraksionasi P Tanah Metode Hedley *et al.* (1982).

### 3.4. Analisis Data

Penelitian ini menggunakan rancangan tersarang (*Nested Design*), yang terdiri dari tiga faktor. Faktor satu adalah jenis tanah yang meliputi Andisol, Vertisol, dan Ultisol, faktor kedua adalah penggunaan lahan yang meliputi lahan kering (tegalan) dan lahan sawah, serta faktor ketiga adalah kedalaman sesuai horizon tanah, dan percobaan dulang sebanyak 3 kali.

Data yang diperoleh diuji secara statistik menggunakan analisis sidik ragam dengan uji F (taraf 5%) untuk melihat perbedaan fraksi P antara lahan kering dan lahan sawah. Bila terdapat pengaruh antar perlakuan dilanjutkan dengan uji BNJ pada taraf 5%. Kemudian untuk mengetahui keeratan hubungan dilakukan uji regresi dengan menggunakan *software* Ms. Excel 2010 dan untuk mengetahui distribusi fraksi-fraksi fosfor menggunakan *Canonical Variate Analysis* pada *software* GenStat.

Pola komposisi fraksi P dalam tanah dengan semakin meningkatnya kedalaman disajikan secara deskriptif yaitu dengan membandingkan pola komposisi fraksi P yang terbentuk dari lahan kering dan lahan sawah.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Fosfor Total pada Lahan Kering dan Lahan Sawah

Hasil analisis fraksionasi P menunjukkan kandungan P total pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan lahan tegalan pada semua jenis tanah. P total pada Andisol lebih tinggi dibandingkan dengan Vertisol dan Ultisol (Tabel 5).

**Tabel 5.** Kandungan P Total Lahan Sawah dan Lahan Tegalan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol.

Jenis lahan	Andisol	Vertisol	Ultisol
Tegalan	3066,26 a	2289,85 a	2182,33 a
Sawah	3691,16 b	2371,31 a	2509,81 b
<b>BNJ 5%</b>		225	

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5 %

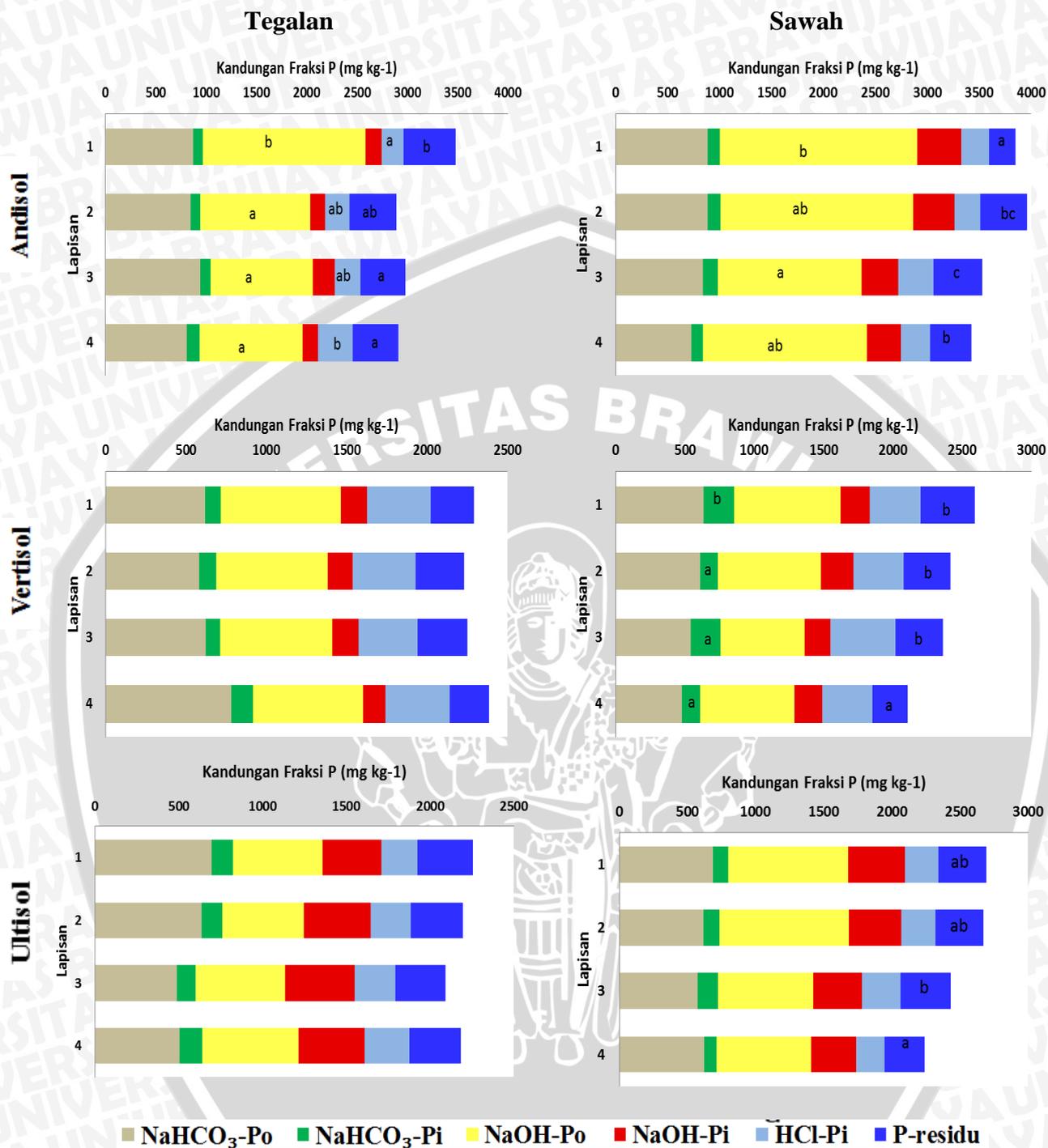
Manajemen yang dilakukan petani dalam mengolah lahan dapat mempengaruhi kandungan P total dalam tanah seperti pemilihan vegetasi yang ditanam dan pengaplikasian pupuk. Pada penelitian ini, jenis tanaman yang ditanam pada lahan sawah adalah padi yang merupakan tanaman pangan dan ditanam dua kali dalam satu tahun, dengan aplikasi pupuk kimia maupun organik dalam jumlah yang banyak. Berbeda dengan lahan tegalan pengaplikasian pupuk lebih rendah.

Tingginya kandungan P total pada lahan sawah juga dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik lahan. Lahan sawah dan lahan tegalan merupakan dua penggunaan lahan yang berbeda dalam pengelolaannya terutama dalam pengelolaan air. Penggenangan pada lahan sawah akan mengubah kondisi yang oksidatif menjadi reduktif. Kondisi ini mempengaruhi aktivitas-aktivitas mikroba tanah yang menstimulasi proses reduksi  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ , meningkatkan pH. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cyio (2008) semakin tinggi genangan maka akan dapat menurunkan kandungan Fe, Al, dan meningkatkan kandungan  $P_2O_5$ . Penurunan Fe serta peningkatan kandungan  $P_2O_5$  semakin meningkat dengan ditambahkan bahan organik. Pengelolaan pada lahan sawah juga menyebabkan terbentuknya lapisan tapak bajak dengan adanya lapisan tapak bajak maka kehilangan unsur hara menjadi lebih kecil sehingga P total pada lahan sawah menjadi lebih tinggi.

#### 4.2. Komposisi Fraksi Fosfor pada Lahan Kering dan Lahan Sawah

Komposisi fraksi P di dalam tanah terdiri dari fraksi P labil hingga stabil. Bentuk P labil terdiri dari fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ ,  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ , dan  $\text{NaOH-Po}$ . Sedangkan bentuk P stabil terdiri dari bentuk  $\text{NaOH-Pi}$ ,  $\text{HCl-Pi}$ , dan residu-P. Pada lahan sawah, lapisan 1-2, 3, dan 4 berturut-turut menggambarkan lapisan tanah diatas, lapisan tapak bajak, dan lapisan dibawah tapak bajak. Gambar 13 menunjukkan komposisi fraksi-fraksi P pada lahan sawah dan lahan tegalan pada berbagai lapisan dengan kedalaman yang kurang lebih untuk lahan sawah Andisol, lapisan diatas tapak bajak berkisar antara 0-20 cm, lapisan tapak bajak berkisar antara 20-30 cm, dan lapisan dibawah tapak bajak yang berkisar antara 30-60 cm. Sedangkan untuk lahan tegalan lapisan satu berkisar antara 0-9 cm, lapisan dua 9-20 cm, lapisan tiga 20-40 cm, dan lapisan empat 40-60 cm. Pada Vertisol kedalaman lapisan diatas tapak bajak berkisar antara 0-19 cm, pada lapisan tapak bajak berkisar antara 19-26 cm, dan lapisan dibawah tapak bajak berkisar antara 26-45 cm, sedangkan untuk lahan tegalan lapisan satu berkisar antara 0-10 cm, lapisan dua 10-20 cm, lapisan tiga 20-30 cm, dan lapisan empat 30-50 cm. Pada Ultisol, kedalaman tanah pada lapisan diatas tapak bajak berkisar antara 0-17 cm, lapisan tapak bajak berkisar antara 17-24 cm, dan lapisan dibawah tapak bajak berkisar antara 24-50 cm dan untuk lahan tegalan kedalaman lapisan satu berkisar antara 0-10 cm, lapisan dua 10-20 cm, lapisan tiga 20-40 cm, lapisan empat 40-60 cm.

Pada Gambar 13 menunjukkan P total dan P labil cenderung menurun pada lapisan tapak bajak dan lapisan dibawah tapak bajak pada lahan sawah. Sedangkan kandungan P stabil cenderung meningkat pada lapisan tapak bajak dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak. Pola yang sama tidak ditemui pada lahan yang bukan sawah/tegalan.



**Gambar 13.** Komposisi Fraksi P Lahan Tegalan dan Lahan Sawah pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol.

Keterangan: 1,2,3,4 menunjukkan lapisan tanah. Huruf-huruf yang berbeda pada setiap fraksi pada setiap lapisan menunjukkan berbeda nyata dengan Uji BNT taraf 5%.

#### 4.2.1. Fraksi P labil

##### 4.2.1.1. Fraksi Organik labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ )

Fraksi organik labil merupakan fraksi P organik yang mudah dan cepat tersedia untuk tanaman. Pada lahan sawah dan lahan tegalan pola distribusi fraksi organik labil menunjukkan bahwa adanya perbedaan dengan semakin bertambahnya kedalaman walaupun tidak berbeda nyata.

Pada Andisol, fraksi organik labil pada lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan walaupun tidak berbeda nyata (Tabel 6). Semakin bertambahnya kedalaman, pada lahan sawah membentuk pola kandungan fraksi organik labil yang semakin menurun sampai pada lapisan dibawah tapak bajak ( $889,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $885,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $843,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan  $731,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi organik labil menurun pada lapisan dua, selanjutnya meningkat pada lapisan tiga dan menurun kembali pada lapisan empat ( $868,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $848,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $944,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $805,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Vertisol kandungan fraksi organik labil pada lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pola kandungan fraksi organik labil yang terbentuk pada lahan sawah Vertisol sama dengan lahan sawah yang terdapat pada Andisol yang semakin menurun sampai pada lapisan dibawah tapak bajak ( $637,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $610,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $543,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $479,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), sedangkan pada lahan tegalan berbeda dengan lahan sawah dan juga berbeda dengan lahan tegalan yang berada di Andisol. Pada lapisan dua kandungan fraksi organik labil menurun, kemudian pada lapisan tiga dan empat meningkat kembali ( $620,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $582,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $624,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan  $782,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Ultisol kandungan organik labil lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan namun tidak berbeda nyata (Tabel 6). Pola fraksi organik labil yang terbentuk pada lahan sawah di Ultisol berbeda dengan Andisol dan Vertisol. Pada lahan sawah lapisan diatas sampai pada lapisan tapak bajak kandungan fraksi organik labil semakin menurun kemudian pada lapisan dibawah tapak bajak meningkat kembali ( $687,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $619,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $576,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $623,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dan pola tersebut dijumpai juga pada lahan tegalan Ultisol yaitu kandungan fraksi organik labil menurun sampai pada lapisan tiga dan meningkat kembali pada lapisan empat empat ( $694,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $637,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $490,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $507,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

**Tabel 6.** Kandungan Fraksi-Fraksi P Lahan Sawah dan Lahan Tegalan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol.

Fraksi P (mg kg <sup>-1</sup> )	Jenis lahan	Jenis Tanah		
		Andisol	Vertisol	Ultisol
<b>NaHCO<sub>3</sub>-Po</b> (P organik Labil)	<b>Tegalan</b>	866,88 a	652,48 b	582,49 a
	<b>Sawah</b>	837,76 a	567,94 a	626,80 a
	<b>BNJ 5%</b>	112,88		
<b>NaHCO<sub>3</sub>-Pi</b> (P inorganik medium labil)	<b>Tegalan</b>	103,30 a	105,98 a	124,04 a
	<b>Sawah</b>	123,47 a	173,17 b	116,84 a
	<b>BNJ 5%</b>	38,42		
<b>NaOH-Po</b> (P organik medium stabil)	<b>Tegalan</b>	1190,10 a	706,70 a	532,69 a
	<b>Sawah</b>	1679,16 b	699,81 a	805,48 b
	<b>BNJ 5%</b>	236,51		
<b>NaOH-Pi</b> (P inorganik medium stabil)	<b>Tegalan</b>	170,94 a	156,30 a	390,14 a
	<b>Sawah</b>	374,10 b	207,09 b	370,89 a
	<b>BNJ 5%</b>	94,58		
<b>HCl-Pi</b> (P inorganik stabil)	<b>Tegalan</b>	263,95 a	386,84 a	240,67 a
	<b>Sawah</b>	286,03 a	390,58 a	248,89 a
	<b>BNJ 5%</b>	61,41		
<b>Residu-P</b> (P inorganik stabil)	<b>Tegalan</b>	471,06 b	281,52 a	312,29 a
	<b>Sawah</b>	390,62 a	332,69 b	340,89 b
	<b>BNJ 5%</b>	33,98		

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5 %.

Fraksi organik labil sangat dipengaruhi oleh masukan-masukan bahan organik dan sangat mudah mengalami mineralisasi menjadi bentuk yang lebih tersedia. Menurut Malik *et al.* (2014) tanah dengan kandungan C-organik yang tinggi memiliki P organik labil (NaHCO<sub>3</sub>-Po) yang lebih tinggi. Hasil menunjukkan bahwa lahan sawah Andisol dan Vertisol memiliki kandungan fraksi organik labil yang lebih rendah daripada lahan tegalan. Namun berdasarkan hasil analisis C-organik yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Ringgih (2014), C-organik lahan sawah Andisol lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan (Lampiran 3). Hal ini dimungkinkan karena P organik yang telah dimineralisasi oleh mikroorganisme tanah menjadi fraksi NaHCO<sub>3</sub>-Pi. Fraksi NaHCO<sub>3</sub>-Po sangat mudah mengalami mineralisasi menjadi NaHCO<sub>3</sub>-Pi oleh aktivitas mikroba tanah. P organik dapat termineralisasi melalui proses biokimia oleh mikroba apabila ketersediaan P dalam tanah rendah (Yang dan Post, 2011). Sedangkan pada lahan sawah Ultisol kandungan fraksi organik labil lebih tinggi

daripada lahan tegalan namun dari hasil analisis C-organik menunjukkan bahwa kandungan C-organik pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Hal ini dimungkinkan bahwa  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  pada lahan sawah mengalami immobilisasi oleh mikroba tanah. Yang dan Post (2011) menjelaskan bahwa mineralisasi P akan dengan cepat diimmobilisasi oleh mikroba menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$  apabila digunakan oleh mikroba akan mengalami immobilisasi dan menjadi bentuk P organik (Buresh *et al.*, 1997). Jika dilihat dari tiga jenis tanah yang diamati, Vertisol memiliki kandungan fraksi organik labil yang lebih rendah. Vertisol merupakan tanah yang bereaksi basa dimana memiliki kandungan Ca yang lebih tinggi dibandingkan dengan Andisol dan Ultisol. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Malik *et al.* (2014) tanah yang mengandung Ca yang lebih tinggi akan memiliki fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan tanah yang memiliki kandungan Ca tinggi biasanya memiliki pH yang tinggi dan berkorelasi negatif antara pH tanah dengan  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ . Pada lahan sawah pada semua jenis tanah pola yang dibentuk antara lapisan diatas tapak bajak, pada lapisan tapak bajak, dan pada lapisan dibawah tapak bajak menunjukkan pola yang sama yaitu semakin menurun dengan semakin bertambahnya kedalaman tanah. Fraksi organik labil merupakan fraksi P yang mudah tersedia untuk tanaman. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Podder *et al.* (2012) menunjukkan bahwa P tersedia pada lapisan tapak bajak menurun dari lapisan diatasnya.

#### 4.2.1.2. Fraksi Inorganik Medium Labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ )

Fraksi inorganik medium labil merupakan fraksi P inorganik yang mudah dan cepat tersedia untuk tanaman. Pada Andisol kandungan fraksi inorganik medium labil lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan namun tidak berbeda nyata yang ditunjukkan pada Tabel 6. Pola distribusi kandungan fraksi inorganik medium labil lahan sawah dari lapisan satu hingga lapisan tapak bajak meningkat dan menurun pada lapisan empat ( $114 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $126,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $142,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $110,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan menunjukkan pola kandungan fraksi inorganik medium labil yang berbeda dengan lahan sawah. Pola yang terbentuk pada lahan tegalan adalah semakin menurun pada lapisan dua

kemudian meningkat kembali sampai pada lapisan empat (96,5 mg kg<sup>-1</sup>, 90,9 mg kg<sup>-1</sup>, 96,8 mg kg<sup>-1</sup>, dan 128,9 mg kg<sup>-1</sup>).

Pada Vertisol kandungan fraksi inorganik labil antara lahan sawah dan lahan tegalan berbeda nyata (Tabel 6) dimana pada lahan sawah lebih tinggi daripada lahan tegalan dan memiliki pola yang berbeda dengan lahan sawah pada Andisol dan Ultisol. Pada Vertisol ini, kandungan fraksi inorganik medium labil menunjukkan perbedaan yang nyata pada lapisan satu dibandingkan dengan lapisan yang lainnya. Pola kandungan fraksi inorganik medium labil yang terbentuk adalah menurun pada lapisan dua kemudian meningkat pada lapisan tapak bajak, dan pada lapisan dibawah tapak bajak menurun kembali kembali (219,6 mg kg<sup>-1</sup>, 127,6 mg kg<sup>-1</sup>, 216,1 mg kg<sup>-1</sup>, 129,2 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan, kandungan fraksi inorganik labil memiliki pola yang berlawanan dengan lahan sawah yaitu sampai pada lapisan dua meningkat kemudian menurun pada lapisan tiga dan meningkat kembali pada lapisan empat (97,1 mg kg<sup>-1</sup>, 104,6 mg kg<sup>-1</sup>, 89,2 mg kg<sup>-1</sup>, 132,9 mg kg<sup>-1</sup>).

Berbeda pada Ultisol, kandungan fraksi inorganik medium labil pada lahan sawah lebih rendah daripada lahan tegalan namun tidak berbeda nyata yang ditunjukkan pada Tabel 6. Dengan semakin bertambahnya kedalaman tanah, kandungan fraksi inorganik medium labil menunjukkan pola yang semakin meningkat sampai pada lapisan tapak bajak kemudian menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak (109,4 mg kg<sup>-1</sup>, 117,6 mg kg<sup>-1</sup>, 149,39 mg kg<sup>-1</sup>, 90,9 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi inorganik medium labil semakin menurun sampai pada lapisan tiga kemudian meningkat pada lapisan empat (130,2 mg kg<sup>-1</sup>, 121,8 mg kg<sup>-1</sup>, 109,7 mg kg<sup>-1</sup>, 134,3 mg kg<sup>-1</sup>).

Berdasarkan Malik *et al.* (2014) dengan meningkatnya kandungan C-organik tanah, maka kandungan NaHCO<sub>3</sub>-Pi juga akan meningkat. Karena dengan tingginya C-organik tanah P akan dilepaskan melalui proses mineralisasi dari NaHCO<sub>3</sub>-Po menjadi NaHCO<sub>3</sub>-Pi. Pada lahan sawah Andisol dan Vertisol, kandungan C-organik lebih tinggi dari pada lahan tegalan sehingga akan lebih banyak jumlah NaHCO<sub>3</sub>-Po yang termineralisasi menjadi NaHCO<sub>3</sub>-Pi. Selain itu seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada fraksi organik labil, bahwa kandungan NaHCO<sub>3</sub>-Po lebih rendah pada lahan sawah, oleh sebab itu NaHCO<sub>3</sub>-

Pada lahan sawah menjadi lebih tinggi. Sedangkan pada Ultisol kandungan fraksi inorganik medium labil pada lahan tegalan lebih tinggi dibandingkan dengan lahan sawah. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya kandungan C-organik pada lahan tegalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan sawah. Manajemen pengelolaan lahan sangat mempengaruhi kandungan C-organik dalam tanah dan sekaligus akan mempengaruhi fraksi-fraksi P dalam tanah. Pada lahan tegalan Ultisol merupakan lahan agroforestri yang memiliki masukan bahan organik lebih tinggi. Selain itu, dilakukan juga penambahan pupuk kandang dan tanpa adanya penambahan pupuk kimia. Berbeda dengan lahan sawah yang lebih banyak input pupuk kimia. Sehingga hal tersebut akan menyebabkan lebih banyaknya P yang termineralisasi pada lahan tegalan sehingga kandungan fraksi inorganik medium labil lebih tinggi.

#### 4.2.1.3. Fraksi Organik Medium Labil (NaOH-Po)

Fraksi organik medium labil merupakan fraksi P organik yang lebih sulit tersedia atau kurang cepat tersedia untuk tanaman dibandingkan dengan fraksi organik labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ ). Pada Andisol kandungan fraksi organik medium labil lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah lapisan satu berbeda nyata dengan lapisan tiga dan membentuk pola yang semakin menurun sampai pada lapisan tapak bajak kemudian meningkat kembali pada lapisan dibawah tapak bajak ( $1900,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1853,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1381 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1581,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Pada lahan tegalan juga membentuk pola yang sama dengan lahan sawah yaitu semakin menurun sampai pada lapisan tiga dan meningkat kembali pada lapisan empat ( $1618,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1094,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1021,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1025,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), serta menunjukkan perbedaan yang nyata antara lapisan satu dengan lapisan yang lainnya.

Pada Vertisol kandungan fraksi organik medium labil lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan dan tidak berbeda nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah, pola kandungan fraksi organik medium labil semakin menurun sampai pada lapisan tapak bajak kemudian meningkat kembali pada lapisan dibawah tapak bajak ( $766,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $745,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $602,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $683,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi organik medium labil menurun

sampai pada lapisan dua, kemudian meningkat pada lapisan tiga dan menurun kembali lapisan empat ( $747 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $694,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $699 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $686,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Ultisol, kandungan fraksi organik medium labil pada lahan sawah lebih tinggi daripada lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata. Pada lahan sawah kandungan fraksi organik medium labil menunjukkan pola yang semakin meningkat sampai pada lapisan dua diatas tapak bajak kemudian pada lapisan tapak bajak sampai pada lapisan dibawah tapak bajak semakin menurun ( $883,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $948,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $697,1 \text{ mg kg}^{-1}$  dan  $692,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan pola kandungan fraksi organik medium labil pada lapisan satu menurun pada lapisan dua, kemudian meningkat kembali pada lapisan tiga dan empat ( $535 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $486,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $534,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan  $573,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Perbedaan fraksi organik medium labil masih dipengaruhi oleh kandungan C-organik. Malik *et al.* (2014) menyebutkan bahwa kandungan NaOH-Po akan meningkat seiring dengan peningkatan kandungan C-organik tanah. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada lahan sawah Andisol memiliki kandungan C-organik tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan (Lampiran 3) sehingga kandungan fraksi organik medium labil pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Sedangkan pada Vertisol, kandungan C-organik pada lahan sawah dan lahan tegalan yang tidak terlalu berbeda jauh mengakibatkan kandungan fraksi organik medium labil ini juga tidak terlalu berbeda antara lahan sawah dan lahan tegalan. Namun hasil menunjukkan bahwa kandungan fraksi organik medium labil pada lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan. Hal ini dimungkinkan karena aktivitas mikroba dalam memineralisasi P organik menjadi P inorganik pada lahan tegalan lebih besar daripada pada lahan sawah. Sedangkan pada Ultisol, kandungan fraksi organik medium labil pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kandungan C-organik pada lahan sawah Ultisol lebih rendah dibandingkan lahan tegalan. Hal ini dimungkinkan karena aktivitas immobilisasi oleh mikroorganisme tanah. Jika dilihat dari jenis tanahnya, terlihat pada Andisol dan Vertisol kandungan fraksi organik medium labil lebih tinggi dibandingkan dengan Vertisol. Hal ini dikarenakan pH pada

Andisol dan Ultisol lebih rendah dibandingkan dengan Vertisol (Lampiran 3) sehingga pada tanah dengan pH rendah kelarutan Al dan Fe akan lebih besar. Malik *et al* (2014) juga menambahkan bahwa baik NaOH-Pi maupun NaOH-Po berasosiasi dengan Al dan Fe.

#### 4.2.2. Fraksi P Stabil

##### 4.2.2.1. Fraksi Inorganik Medium Stabil (NaOH-Pi)

Fraksi iorganik medium stabil merupakan fraksi P inorganik yang lebih sulit tersedia atau kurang cepat tersedia untuk tanaman dibandingkan dengan fraksi inorganik labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ ). Pada Andisol antara lahan sawah dan lahan tegalan kandungan fraksi inorganik medium stabil berbeda nyata dimana kandungan fraksi organik medium stabil pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan (Tabel 6). Baik pada lahan sawah maupun lahan tegalan pada setiap lapisan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Pada lahan sawah, kandungan fraksi inorganik medium stabil membentuk pola yang semakin menurun sampai pada lapisan dibawah tapak bajak bajak ( $425,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $394,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $351,1 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan  $325 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan, membentuk pola kandungan fraksi inorganik medium labil yang semakin menurun pada lapisan dua, kemudian meningkat pada lapisan tiga dan menurun kembali pada lapisan empat ( $163,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $217,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $152,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Vertisol kandungan fraksi inorganik medium stabil lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah kandungan fraksi inorganik medium stabil dengan semakin bertambahnya kedalaman menunjukkan pola yang fluktuatif yaitu semakin meningkat pada lapisan dua diatas tapak bajak, kemudian menurun pada lapisan tapak bajak, dan meningkat kembali pada lapisan dibawah tapak bajak ( $210,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $233,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $186,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $198,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan pola kandungan fraksi inorganik medium stabil pada lapisan satu menurun pada lapisan dua. Kemudian pada lapisan tiga meningkat dan menurun kembali pada lapisan empat ( $164,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $156,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $163,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $140,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Ultisol, kandungan fraksi inorganik medium stabil pada lahan sawah lebih rendah daripada lahan tegalan dan tidak berbeda nyata antar keduanya (Tabel 7). Dengan semakin bertambahnya kedalaman, kandungan fraksi inorganik medium stabil pada lahan sawah menunjukkan pola yang semakin menurun sampai pada lapisan dibawah tapak bajak (413,9 mg kg<sup>-1</sup>, 384,1 mg kg<sup>-1</sup>, 355,7 mg kg<sup>-1</sup>, 329,8 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan menunjukkan pola yang berbeda yaitu semakin meningkat sampai pada lapisan tiga kemudian menurun kembali pada lapisan empat (347,9 mg kg<sup>-1</sup>, 401,1 mg kg<sup>-1</sup>, 416,5 mg kg<sup>-1</sup>, 394,8 mg kg<sup>-1</sup>).

Kandungan fraksi inorganik medium stabil pada Andisol dan Ultisol lebih tinggi dibandingkan dengan Vertisol. Hal ini disebabkan karena pada Andisol dan Ultisol bereaksi masam dengan pH antara 4-5 (Lampiran 3). Dimana apabila tanah pada kondisi yang masam maka kandungan Al dan Fe tinggi. Menurut Guo *et al.* (2000) NaOH-Pi meningkat pada tanah dengan akumulasi Fe dan Al yang tinggi. Selain itu, menurut Malik *et al.* (2014) NaOH-Pi banyak ditemukan pada tanah dengan pH yang lebih rendah. Hal ini dijumpai pada Ultisol yang menunjukkan pH lahan tegalan sedikit lebih masam dibandingkan dengan lahan sawah. Hal inilah yang menyebabkan kandungan fraksi inorganik medium stabil pada Ultisol pada lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan. Sedangkan pada lahan sawah Andisol dan Vertisol kandungan fraksi inorganik medium stabil yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Hal ini diduga karena mineralisasi P organik oleh mikroba yang menjadikan P inorganik seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

#### 4.2.2.2. Fraksi Inorganik Stabil (HCl-Pi)

Fraksi inorganik stabil merupakan fraksi P inorganik yang sulit tersedia atau tidak cepat tersedia untuk tanaman. Pada Andisol lahan sawah kandungan fraksi inorganik stabil lebih tinggi daripada lahan tegalan namun tidak berbeda nyata (Tabel 7). Pada lahan sawah kandungan fraksi inorganik membentuk pola yang fluktuatif yaitu pada lapisan diatas tapak bajak semakin menurun, kemudian meningkat pada lapisan tapak bajak, dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak (266 mg kg<sup>-1</sup>, 253 mg kg<sup>-1</sup>, 343,9 mg kg<sup>-1</sup>, 281 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan, kandungan fraksi inorganik stabil pada lapisan satu berbeda

nyata dengan lapisan empat. Pola kandungan fraksi inorganik stabil yang terbentuk adalah semakin meningkat sampai pada lapisan empat ( $215,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $242,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $251,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $345,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Vertisol kandungan fraksi inorganik stabil lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan walaupun tidak berbeda nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah dengan semakin meningkatnya kedalaman kandungan fraksi inorganik stabil membentuk pola yang meningkat pada lapisan tapak bajak dan menurun pada lapisan dibawah tapak bajak ( $366,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $366,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $469,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $364,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi inorganik stabil dengan semakin bertambahnya kedalaman membentuk pola yang semakin menurun sampai pada lapisan tiga meningkat kembali pada lapisan empat ( $396 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $388,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $364,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $398,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Pada Ultisol, kandungan fraksi inorganik stabil pada lahan sawah lebih tinggi daripada lahan tegalan dan tidak berbeda nyata (Tabel 6). Semakin bertambahnya kedalaman kandungan fraksi inorganik stabil pada lahan sawah meningkat sampai pada lapisan tapak bajak kemudian pada lapisan dibawah tapak bajak menurun kembali ( $250 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $250,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $284,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $210 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan dengan semakin bertambahnya kedalaman, pola fraksi inorganik stabil semakin meningkat sampai pada lapisan empat ( $217,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $236,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $241 \text{ mg kg}^{-1}$ , dan  $268,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Secara umum kandungan fraksi inorganik stabil pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan hal ini diduga disebabkan karena perbedaan kandungan liat dan debu pada lahan sawah dan lahan tegalan. Pada Andisol lahan sawah kandungan liat dan debu lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan, begitu juga pada Ultisol (Lampiran 3). Hal inilah yang menyebabkan perbedan kandungan P inorganik stabil pada lahan tegal dan lahan sawah. Menurut Malik *et al.* (2014) konsentrasi HCl-Pi tertinggi ditemukan pada tanah dengan tekstur yang halus, hal ini didukung juga oleh Wang *et al.* (2008) menyebutkan bahwa HCl-Pi memiliki hubungan yang kuat dengan kandungan liat dan debu serta berkorelasi negatif dengan kandungan pasir. Pada ketiga jenis tanah menunjukkan bahwa kandungan fraksi inorganik stabil pada Vertisol memiliki nilai yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada Vertisol yang bersifat

basa sehingga unsur Ca banyak ditemukan pada tanah-tanah yang bereaksi basa dengan pH 6-7 (Lampiran 3). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh McKenzie dan Bremer (2003) bahwa fraksi HCl-Pi berasosiasi dengan Ca. Sehingga pada Vertisol kandungan fraksi inorganik stabil lebih tinggi dibandingkan dengan Andisol dan Ultisol. Pada lahan sawah, terlihat pola yang sama yaitu dengan semakin bertambahnya kedalaman tanah, pada lapisan tapak bajak kandungan fraksi inorganik stabil meningkat dan menurun kembali pada lapisan dibawah lapisan tapak bajak. Menurut Podder *et al.* (2012) pada lapisan tapak bajak mempengaruhi sifat fisik seperti tekstur, berat isi, ruang pori, konsistensi, temperatur tanah, dan juga mempengaruhi sifat kimia seperti pH tanah, bahan organik tanah, dan ketersediaan unsur hara. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa total berat isi pada lapisan tapak bajak lebih tinggi ( $1,91 \text{ g cm}^{-3}$ ) dibandingkan dengan lapisan diatasnya dan dibawahnya, dan kandungan P tersedia pada lapisan tapak bajak juga menunjukkan nilai yang paling rendah dibandingkan dengan lapisan diatas dan dibawahnya. Pada penelitian ini pada lapisan tapak bajak kandungan fraksi inorganik stabil semakin meningkat pada lapisan tapak bajak dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak. Fraksi inorganik stabil bukan merupakan fraksi P yang tersedia untuk tanaman, sehingga keberadaannya tidak dapat cepat dimanfaatkan oleh tanaman sehingga dimungkinkan tercuci dan terus tetampung pada lapisan tapak bajak ini yang mana memiliki berat isi yang lebih tinggi dan ruang pori lebih sedikit.

#### 4.2.2.3. Fraksi Residu (Residu-P)

Fraksi residu merupakan fraksi P yang sangat sulit tersedia untuk tanaman. Pada Andisol, kandungan fraksi residu lahan sawah lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah antara lapisan diatas, pada, dan dibawawah tapak bajak saling berbeda nyata dan membentuk pola kandungan fraksi stabil yang semakin meningkat sampai pada lapisan tapak bajak dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak ( $256 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $446,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $465,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $394,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi residu lapisan satu berbeda nyata dengan lapisan tiga dan empat yang membentuk pola yang berlawanan dengan

lahan sawah yaitu semakin menurun sampai pada lapisan tiga dan meningkat pada lapisan empat (519,7 mg kg<sup>-1</sup>, 462,5 mg kg<sup>-1</sup>, 450,9 mg kg<sup>-1</sup>, 451 mg kg<sup>-1</sup>).

Kandungan fraksi residu pada Vertisol lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pola kandungan fraksi residu pada lahan sawah semakin menurun pada lapisan dua diatas tapak bajak, kemudian pada lapisan tapak bajak meningkat, dan menurun kembali pada lapisan dibawah lapisan tapak bajak (393,1 mg kg<sup>-1</sup>, 339,1 mg kg<sup>-1</sup>, 342,7 mg kg<sup>-1</sup>, 255,7 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan menunjukkan pola kandungan fraksi residu yang semakin meningkat sampai pada lapisan tiga kemudian menurun kembali pada lapisan empat (266,4 mg kg<sup>-1</sup>, 303,7 mg kg<sup>-1</sup>, 309,8 mg kg<sup>-1</sup>, 246,1 mg kg<sup>-1</sup>).

Pada Ultisol, kandungan fraksi residu pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan dan menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 6). Pada lahan sawah kandungan fraksi residu lapisan diatas tapak bajak berbeda nyata dengan lapisan dibawah tapak bajak. Kandungan fraksi residu pada lahan sawah terus mengalami peningkatan sampai pada lapisan tapak bajak dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak (349,1 mg kg<sup>-1</sup>, 352,7 mg kg<sup>-1</sup>, 367,5 mg kg<sup>-1</sup>, 294,1 mg kg<sup>-1</sup>). Sedangkan pada lahan tegalan kandungan fraksi residu pada setiap lapisan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dan membentuk pola yang semakin menurun sampai pada lapisan ketiga dan meningkat pada lapisan keempat (330,5 mg kg<sup>-1</sup>, 312,8 mg kg<sup>-1</sup>, 300,1 mg kg<sup>-1</sup>, 305,6 mg kg<sup>-1</sup>).

Fraksi P residu pada lahan sawah Andisol menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan lahan tegalan sedangkan pada Vertisol dan Ultisol kandungan fraksi residu pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Hal ini dimungkinkan karena perbedaan manajemen antara lahan sawah dan lahan tegalan. Pada lahan tegalan pemupukan kimia yang diaplikasikan lebih kecil daripada lahan sawah yang mana pada lahan sawah dengan tanaman padi membutuhkan unsur P yang lebih banyak dan segera cepat dimanfaatkan oleh tanaman. Pemupukan yang diberikan terlalu banyak akan menimbulkan residu P yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang lebih jarang dipupuk dengan pupuk kimia. Gusnidar dan Prasetyo (2008) menyebutkan bahwa pupuk P telah

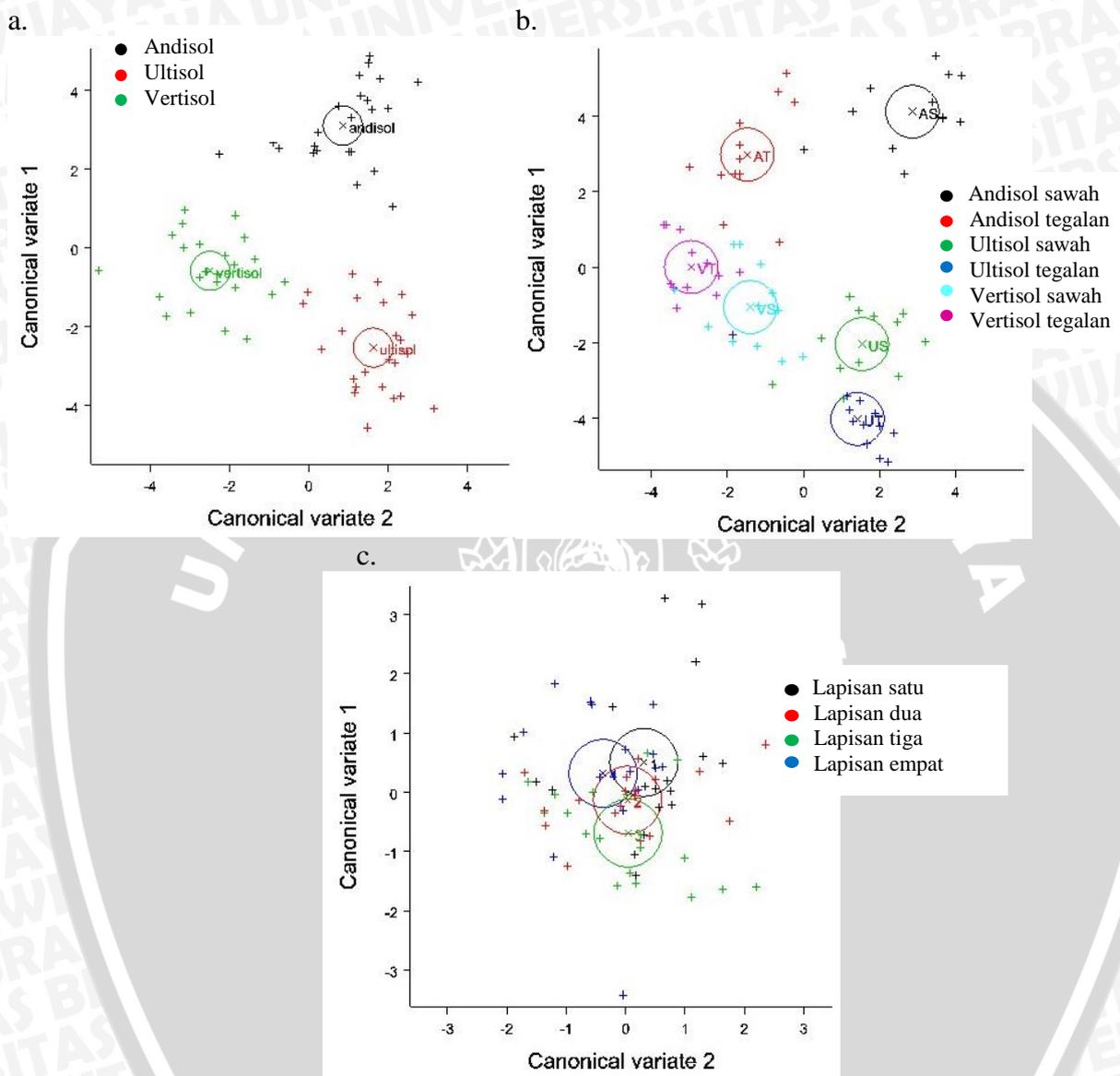
meninggalkan residu P yang tinggi pada lahan sawah di Indonesia. Menurut Novriani (2010) sebagian besar tanaman dapat mengambil P yang diberikan dari pupuk sebesar 10 hingga 30% dari total P yang diberikan selama tahun pertama pemupukan, berarti 70-90% pupuk P tetap berada di dalam tanah. Besarnya kemampuan tanah tanaman memanfaatkan P dipengaruhi oleh pH tanah, tipe liat, temperatur, bahan organik, dan waktu aplikasi. Semakin lama antara P dengan tanah bersentuhan, maka semakin banyak P terfiksasi. Hal ini juga berhubungan dengan terbentuknya Al-P dan Fe-P pada tanah yang mempunyai daya fiksasi tinggi maka masa penggunaan P akan lebih pendek. Jika ditinjau kembali, pola fraksi residu yang dibentuk pada lahan sawah ini sama dengan pola yang dibentuk pada fraksi inorganik stabil yaitu pada lapisan tapak bajak semakin meningkat dan menurun kembali pada lapisan dibawah tapak bajak. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada fraksi inorganik stabil, bahwa pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Podder *et al.* (2012) menunjukkan bahwa P tersedia pada lapisan tapak bajak menurun dan meningkat kembali pada lapisan dibawah tapak bajak. Dikarenakan fraksi residu bukan merupakan fraksi P yang mudah tersedia untuk tanaman sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman.

### **4.3. Distribusi Fraksi Fosfor pada Beberapa Jenis Tanah, Pengelolaan lahan, dan Lapisan**

#### **4.3.1. Semua Fraksi P**

Analisis fraksionasi P menghasilkan berbagai jenis fraksi P di dalam tanah baik fraksi labil hingga stabil. Gambar 14a menunjukkan kandungan fraksi-fraksi P antara ketiga jenis tanah yang diamati yaitu Andisol, Vertisol, dan Ultisol. Hasil analisis *Canonical Variate Analysis* (CVA), fraksi-fraksi P dalam tanah dapat dipisahkan berdasarkan *Canonical Variate* (CV) 1 sebesar 63,10% dan CV2 36%, menunjukkan bahwa fraksi-fraksi P antar jenis tanah tidak menunjukkan adanya singgungan satu sama lain, artinya bahwa kandungan fraksi-fraksi P pada ketiga jenis tanah sangat berbeda nyata satu sama lain.

Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh bahan induk dan karakteristik kimia yang berbeda-beda pada Andisol, Vertisol dan Ultisol. Ketiga jenis tanah tersebut merupakan tanah dengan tingkat perkembangan mulai dari yang baru berkembang hingga perkembangannya telah lanjut.



**Gambar 14.** Distribusi Semua Fraksi P pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, kandungan P stabil (HCl-Pi) pada Vertisol lebih tinggi dibandingkan dengan Andisol dan Ultisol. HCl-Pi merupakan fraksi yang berasal dari Pi dan Po *-occluded* pada Al dan Fe mineral dan dari mineral apatit (Malik *et al.*, 2014).

Selain itu dalam penelitian ini juga ditunjukkan bahwa kandungan P organik Andisol yang juga memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan dengan Vertisol dan Ultisol. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Yang

dan Post (2011) bahwa pada ketiga jenis tanah tersebut memiliki komposisi dan distribusi fraksi P yang berbeda-beda yaitu pada tanah dengan tingkat perkembangan tinggi seperti Ultisol banyak didominasi oleh fraksi P stabil dari mineral-mineral sekunder, *P-occluded* yang sangat tinggi, dan P apatit lebih rendah dibandingkan dengan Andisol dan Vertisol. Sebaliknya pada tanah yang berkembang seperti Vertisol kandungan P-apatit lebih tinggi dan P organik lebih rendah. Sedangkan Andisol yang merupakan tanah baru berkembang yang memiliki kandungan *P-occluded* yang lebih rendah dan memiliki fraksi P organik lebih tinggi daripada Vertisol dan Ultisol. Perbedaan antara ketiga jenis tanah juga dimungkinkan karena pengaruh dari manajemen yang berbeda yang telah dijelaskan sebelumnya.

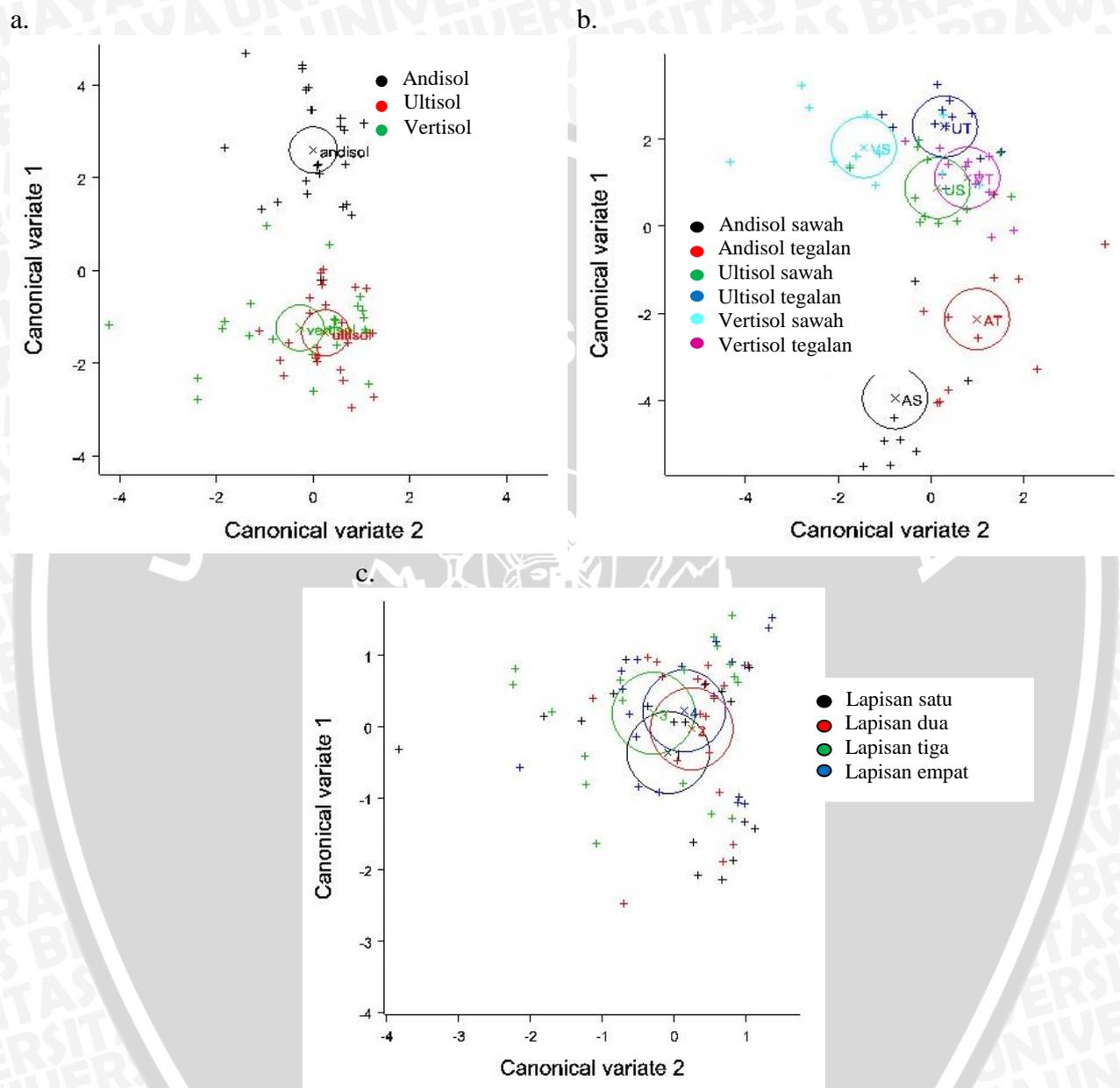
Jika dilihat dari distribusi berdasarkan jenis lahan (Gambar 14b), Kandungan fraksi-fraksi P pada lahan sawah dan lahan tegalan juga sangat berbeda. Hal ini ditunjukkan dengan hasil analisis multivariansi yang menunjukkan bahwa tidak adanya singgungan antara lahan tegalan dan lahan sawah pada semua jenis tanah yang dapat dipisahkan berdasarkan CV1 53% dan CV2 28,61%. Perbedaan yang paling jauh terdapat pada Andisol. Namun kandungan fraksi-fraksi P di dalam tanah lebih besar dipengaruhi oleh jenis tanah dibandingkan dengan pengaruh jenis lahan pada tanah yang sama. Perbedaan kandungan fraksi-fraksi P antara lahan sawah dengan lahan tegalan ini dipengaruhi oleh perbedaan manajemen yang diterapkan. Pada lahan sawah, pengolahan yang melibatkan penggenangan dan pelumpuran akan mempengaruhi sifat fisika, kimia, dan biologi tanah. Keadaan reduksi akibat penggenangan akan mengubah aktivitas mikroba tanah aerob menjadi anaerob. Aktivitas dari mikroba tanah tersebut menstimulasi proses reduksi  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ , meningkatkan pH, menurunkan Eh, dan terjadi peningkatan ketersediaan P (Cyio, 2008). Sedangkan pada lahan tegalan tanah berada dalam kondisi yang tidak tergenang air.

Apabila dilihat dari setiap lapisan dengan menggunakan analisis multivariansi dapat dipisahkan sebesar 68,82% pada CV1 dan 19,53% pada CV2 (Gambar 14c). Hasil penelitian menunjukkan bahwa antara lapisan dua, empat, dan tiga tidak menunjukkan perbedaan dikarenakan adanya singgungan antara ketiganya. Sedangkan pada lapisan satu dan tiga tidak menunjukkan adanya

singgungan dan menunjukkan perbedaan yang paling jauh. Hal ini menunjukkan bahwa antara lapisan satu dan tiga menunjukkan perbedaan kandungan fraksi-fraksi P. Hal ini sebagian besar dipengaruhi oleh kandungan fraksi-fraksi pada lahan sawah baik fraksi labil maupun stabil yang banyak berbeda antara lapisan satu dan tiga. Pada lapisan di atas tapak bajak kandungan fraksi labil lebih tinggi dan semakin menurun pada lapisan tapak bajak, sebaliknya fraksi stabil pada lapisan tapak bajak justru lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan di atasnya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya oleh Podder *et al.* (2005) bahwa kandungan P tersedia semakin menurun pada lapisan tapak bajak sehingga kandungan P stabil lebih tinggi.

#### 4.3.2. P Labil

Secara umum distribusi fraksi P labil terhadap jenis tanah, pengelolaan lahan dan antar lapisan ditunjukkan pada Gambar 15. Berdasarkan hasil analisis multivariansi, kandungan fraksi P labil dengan jenis tanah dapat dipisahkan berdasarkan CV1 sebesar 98,65% dan CV2 sebesar 1,35% (Gambar 15a) kandungan fraksi P labil Vertisol dan Ultisol tidak berbeda nyata sedangkan Andisol berbeda nyata dengan Vertisol dan Ultisol. Sedangkan jika dilihat dari pengelolaan lahan (Gambar 15b), perbedaan lahan sawah dengan lahan tegalan terhadap fraksi P labil yang dapat dipisahkan dengan analisis multivariansi dengan nilai CV1 sebesar 85% dan CV2 sebesar 12,29%. Lahan sawah dan lahan tegalan pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol menunjukkan perbedaan namun pada Ultisol perbedaannya tidak nyata. Perbedaan yang nyata terdapat pada lahan sawah dan lahan tegalan di Andisol, sedangkan antara Vertisol dan Utisol perbedaannya tidak nyata. Pada tingkat lapisan tanah (Gambar 15c) kandungan fraksi P labil dapat dipisahkan berdasarkan analisis multivariansi dengan nilai CV1 sebesar 54,22% dan CV2 sebesar 42,54%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa antara lapisan satu sampai empat tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Artinya, pengaruh jenis tanah terhadap kandungan P labil dalam tanah lebih besar dibandingkan dengan pengaruh pengelolaan lahan dan lapisan atau semakin bertambahnya kedalaman pada jenis tanah yang sama.



**Gambar 15.** Distribusi Fraksi P Labil pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).

Perbedaan ini kemungkinan karena kandungan C-organik antar lapisan yang tidak jauh berbeda sehingga kandungan P labil juga tidak berbeda nyata. Kandungan C-organik antar pengelolaan lahan pada Andisol menunjukkan nilai yang cukup signifikan. Sedangkan pada Vertisol dan Ultisol, kandungan C-organik antar pengelolaan lahan tidak terlalu signifikan sehingga fraksi P labil antar pengelolaan lahan yang berbeda nyata adalah pada Andisol. Malik *et al.*

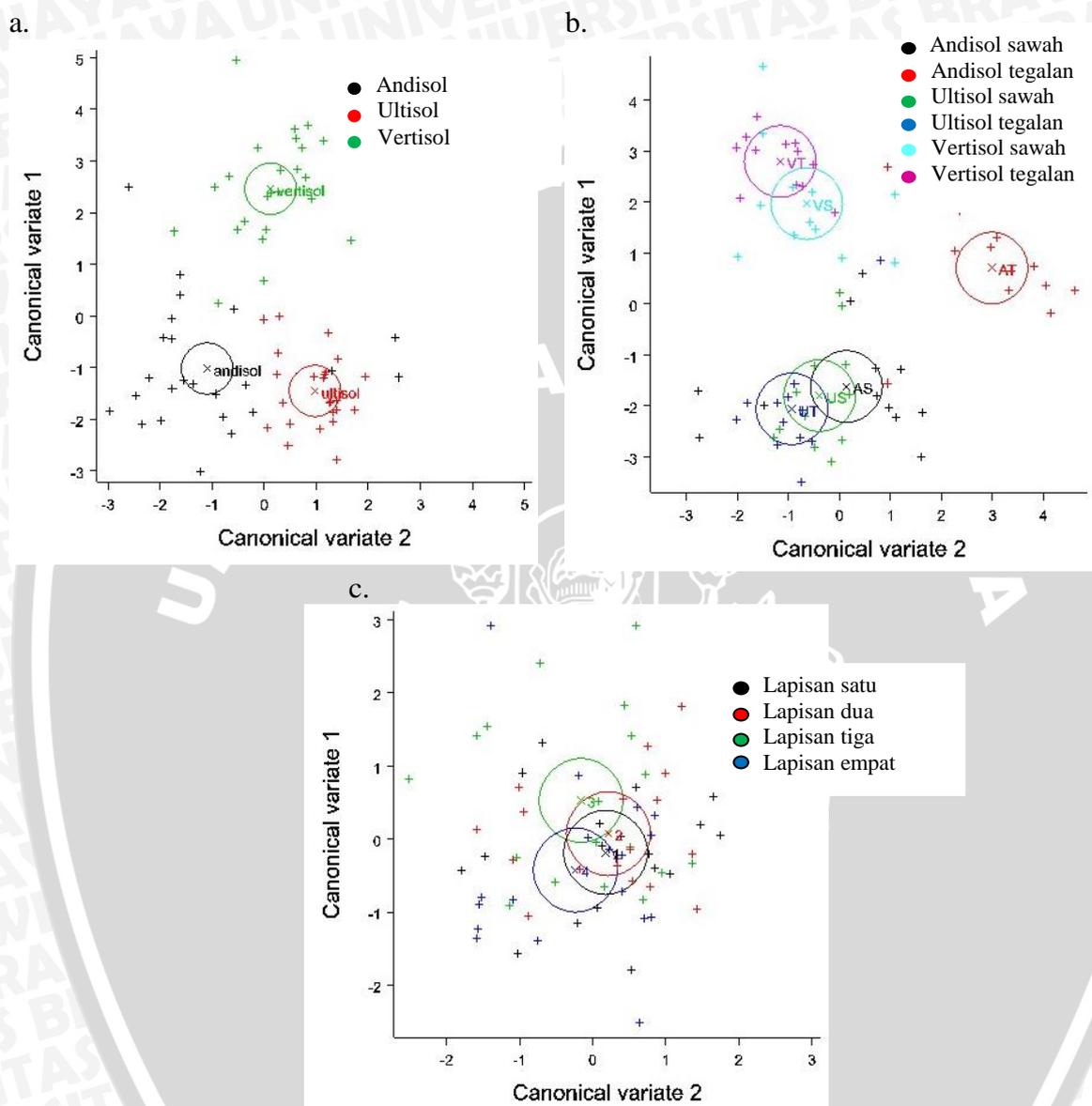
(2014) menjelaskan bahwa tanah dengan C-organik tinggi memiliki nilai fraksi P labil yang tinggi. Dikarenakan adanya hubungan langsung antara C-organik dan jumlah kandungan mikrobial P di dalam tanah yang sebagian besar menjadi fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  dalam tanah. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yang dan Post (2011) menunjukkan bahwa pada Andisol memiliki persentasi P labil yang tinggi. Hal ini terlihat pada hasil penelitian yang menunjukkan bahwa kandungan P labil pada Andisol berbeda nyata dengan jenis tanah yang lainnya, sedangkan pada Vertisol dan Ultisol tidak berbeda nyata.

#### 4.3.3. P Stabil

Sebaran Fraksi P stabil pada masing-masing tanah, jenis lahan dan pada setiap lapisan disajikan dalam Gambar 16. Fraksi P stabil merupakan fraksi P yang terjerap sangat kuat dan sukar larut dalam tanah (Handayanto dan Hairiah, 2007). Gambar 16a merupakan distribusi fraksi stabil pada ketiga jenis tanah yang dapat dipisahkan berdasarkan analisis multivariansi dengan CV1 sebesar 80,95% dan CV2 sebesar 19,05%. Hasil menunjukkan bahwa antara ketiga jenis tanah kandungan fraksi stabil sangat berbeda (Gambar 16a). Hal ini ditunjukkan dengan tidak saling bersinggungannya area antara ketiga jenis tanah. Perbedaan yang paling jauh terdapat pada Vertisol dan Ultisol.

Pada Gambar 16b berdasarkan analisis multivariansi menunjukkan distribusi fraksi P stabil antara lahan sawah dengan lahan tegalan pada ketiga jenis tanah yang dapat dipisahkan berdasarkan CV1 sebesar 62,39% dan CV2 sebesar 32,83%. Perbedaan paling jauh antara lahan sawah dan lahan tegalan terdapat pada Andisol. Sedangkan pada Vertisol dan Ultisol antara lahan tegalan dan lahan sawah tidak berbeda dengan ditunjukkan adanya singgungan antara lahan sawah dan lahan tegalan pada kedua jenis tanah tersebut.

Pada Gambar 16c menunjukkan kandungan fraksi stabil pada lapisan satu sampai empat pada semua jenis tanah dan pada semua jenis lahan. Secara umum, kandungan fraksi stabil pada semua lapisan dapat dipisahkan sebesar 75,45% pada CV1 dan 24,10% pada CV2 berdasarkan analisis multivariansi. Hasil menunjukkan bahwa pada setiap lapisan tidak menunjukkan adanya perbedaan. Artinya antara lapisan satu sampai empat kandungan fraksi stabil tidak memiliki nilai yang berbeda jauh.



**Gambar 16.** Distribusi Fraksi P Stabil pada Andisol, Vertisol, dan Ultisol (a), Lahan Tegalan dan Sawah (b), serta Lapisan (c).

Dari hasil tersebut berarti bahwa pengaruh jenis tanah lebih besar terhadap kandungan fraksi P stabil dibandingkan dengan pengaruh perbedaan jenis lahan dan lapisan atau semakin bertambahnya kedalaman tanah pada jenis tanah yang sama.

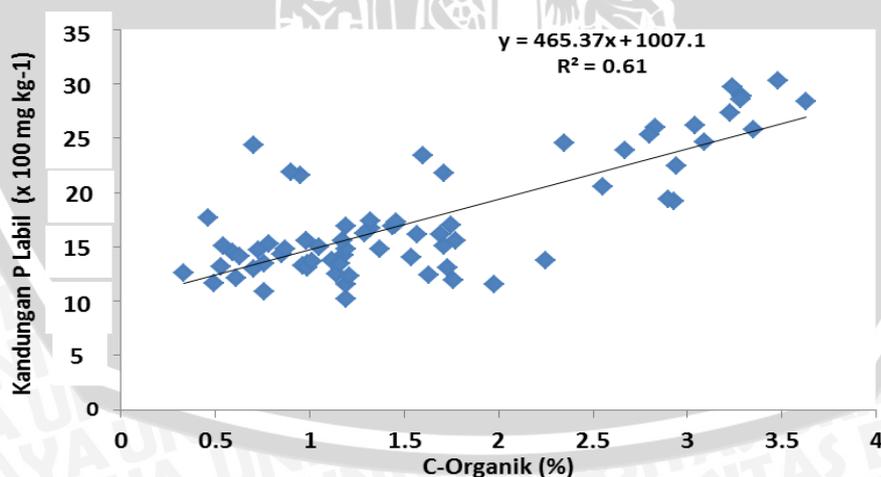
Fraksi P stabil merupakan fraksi P inorganik yang banyak berasosiasi dengan kandungan Al dan Fe dan juga Ca. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, fraksi stabil sangat sulit tersedia untuk tanaman. Fraksi ini dapat

berasal dari pemupukan-pemupukan yang diberikan terlalu banyak sehingga tidak semuanya dapat terserap oleh tanaman sehingga dengan terlalu lamanya P berada dalam tanah maka P tersebut terjerap oleh Al dan Fe ataupun Ca (Novriani, 2010). Perbedaan kemampuan dalam memfiksasi P antara masing-masing jenis tanah menyebabkan perbedaan kandungan fraksi stabil pada ketiga jenis tanah yang diteliti. Perbedaan pengelolaan lahan antara lahan sawah dan lahan pada masing-masing jenis tanah tegalan juga akan mempengaruhi kandungan fraksi stabil antara keduanya. Pada lahan sawah dengan lebih banyaknya input pemupukan kimia menimbulkan residu P yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan dengan pemberian pupuk kimia lebih sedikit diberikan.

#### 4.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fraksi P Labil/P Tersedia

##### 4.4.1. C-Organik

Fraksi P labil merupakan bagian P dalam tanah yang tersedia untuk tanaman yang terdiri dari fraksi organik labil ( $P_o\text{-NaHCO}_3$ ), fraksi inorganik medium labil ( $P_i\text{-NaHCO}_3$ ), dan fraksi P organik medium labil ( $P_o\text{-NaOH}$ ). C-organik merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ketersediaan P. Gambar 17 menunjukkan bahwa dengan peningkatan kandungan C-organik, maka terjadi peningkatan kandungan P labil.



**Gambar 17.** Hubungan antara C-Organik dengan P Labil

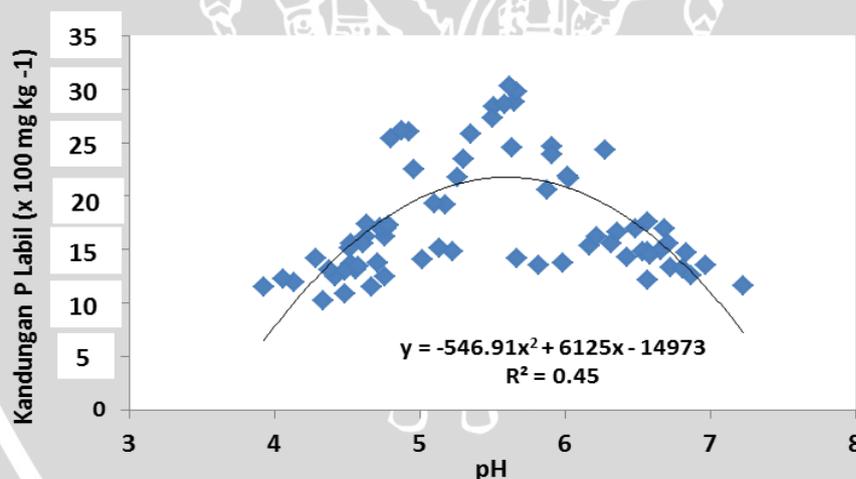
Menurut Malik *et al.* (2014), tanah dengan kandungan C-organik tinggi memiliki nilai fraksi P labil yang tinggi. Hal ini karena C-organik meningkatkan

jumlah kandungan mikrobial P di dalam tanah yang sebagian besar menjadi fraksi  $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  dalam tanah.

Pemberian bahan organik dapat mereduksi tingkat kelarutan Al dan Fe yang diindikasikan dengan meningkatnya pH dan menurunnya nilai Eh. Penurunan tingkat kelarutan tersebut menjadi kecil kemampuannya dalam memfiksasi P sehingga lebih tersedia bagi tanaman (Cyio, 2008). Selain itu menurut Novriani (2010) bahan organik memperbesar ketersediaan P melalui hasil pelapukannya membentuk P humik yang mudah diserap oleh tanaman, dapat menyelimuti seskuioksida dan dapat menyangga pengikatan P oleh tanah, dan meningkatkan pertukaran ion P dengan ion humat.

#### 4.4.2. Reaksi Tanah (pH Tanah)

Reaksi tanah berpengaruh terhadap ketersediaan P dalam tanah. Gambar 18 menunjukkan hubungan antara P labil dan pH tanah. Ketersediaan P paling tinggi dijumpai pada pH 5-6, P labil semakin menurun ketika berada pada pH 6-8 dan pH dibawah 5.



**Gambar 18.** Hubungan pH dengan P Labil

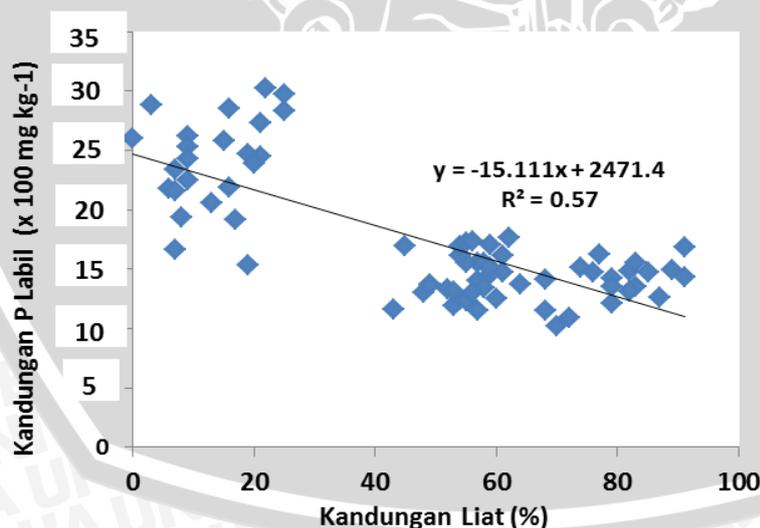
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Acquye dan Oteng (1972), baik P total, P organik, maupun ekstrak P inorganik lebih banyak dijumpai pada kisaran pH antara 5,5 – 7 dan menurun pada pH tanah lebih rendah dari 5,5 atau lebih tinggi dari 7. Ketersediaan P paling tinggi berada pada kisaran pH 5,5 – 7,0. Peningkatan pH tanah mempengaruhi peningkatan mineralisasi P oleh mikroba tanah. Selain itu pH tanah yang netral akan menurunkan kelarutan Al

dan Fe yang banyak mengikat P, sehingga dengan meningkatnya pH tanah maka akan dapat meningkatkan ketersediaan P (Cyio, 2008). Menurut Bintang dan Lahuddin (2007) tanah dengan pH yang rendah ketersediaan P akan sangat mudah terfiksasi oleh Al dan Fe. Peningkatan pH akan mendorong ketersediaan P pada larutan tanah dari fiksasi. Selain itu Sukmawati<sub>a</sub> (2011) menyatakan bahwa persentase P yang dijerap oleh alofan dipengaruhi oleh pH. Pada penelitiannya, dijelaskan bahwa pada umumnya jerapan P menurun dengan meningkatnya pH sehingga P lebih tersedia.

#### 4.4.3. Kandungan Liat

Kadar liat tanah memegang peranan yang penting dalam mengendalikan ketersediaan P. Secara umum, Gambar 19 menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan liat maka akan menurunkan kandungan fraksi P labil di dalam tanah.

Kisaran tekstur pada tanah-tanah yang diteliti baik di lahan sawah maupun lahan tegalan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian yang sebelumnya menunjukkan kandungan liat pada Vertisol dan Ultisol memiliki proporsi lebih tinggi daripada Andisol yang lebih didominasi oleh kandungan pasir dan debu (Lampiran 3).



**Gambar 19.** Hubungan Kandungan Liat dengan P Labil

Fraksi P labil dalam tanah dimungkinkan terjerap oleh koloid liat. Dalam Nursyamsi dan Setyorini (2009) dijelaskan bahwa koloid liat yang bermuatan positif dapat menjerap P yang berbentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  yang merupakan P yang mudah

tersedia untuk tanaman baik secara langsung maupun melalui *water interface*. Selain itu koloid liat yang bermuatan negatif juga dapat menjerap P melalui mekanisme jembatan kation (*cation bridging*). Pada tanah netral dan alkalin,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat berperan sebagai jembatan kation sedangkan pada tanah masam yang berperan sebagai jembatan kation adalah  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$ . Andisol merupakan tanah yang kaya akan mineral amorf seperti alofan dan imogolit. Mineral amorf tersebut memfiksasi P bukan hanya pada permukaan luar namun juga pada permukaan dalam dari mineral amorf tersebut, sehingga hal ini yang menyebabkan fiksasi P pada Andisol tinggi. (Nursyamsi dan Suprihati, 2005). Secara teoritis fiksasi P pada tanah disebabkan adanya tapak jerapan yang bermuatan positif. Tapak jerapan positif tersebut terdiri dari aluminium dan besi terlarut, hidrosidanya dan mineral liat yang mengalami protonasi atau mengalami patahan pada struktur mineralnya. Semakin banyak anasir bermuatan positif maka P terjerap semakin banyak (Sukmawati, 2011). Namun tingginya jerapan P pada Andisol oleh alofan tidak ditunjukkan dalam penelitian ini. Jika dilihat hanya pada tanah Andisol, kandungan liat yang semakin meningkat diikuti juga oleh peningkatan P labil di dalam tanah. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan C-organik pada Andisol sehingga asam organik yang dihasilkan oleh bahan organik dapat melepaskan ikatan P dari kompleks jerapan.

Selain itu, tipe liat juga menentukan jumlah P yang terfiksasi dalam liat. Fosfor akan lebih kuat terfiksasi pada tipe liat 1:1 seperti pada Ultisol, dari pada liat 2:1 seperti pada Vertisol. Disamping itu hidrus dari Al dan Fe yang terdapat pada tanah tropika juga menjerap P, dimana tanah ini banyak dijumpai pada tanah tipe liat 1:1. Semakin tinggi jumlah liat pada tanah maka fiksasi P akan semakin tinggi (Winarso, 2005).

#### 4.4.4. Pengolahan lahan

Pengolahan lahan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara di dalam tanah termasuk kandungan-kandungan fraksi P. Pada dua jenis lahan yang diteliti yaitu lahan sawah dan lahan tegalan merupakan dua jenis lahan yang pengelolaannya sangat berbeda terutama pada pengelolaan air.

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa kandungan P organik dan P labil/P tersedia pada lahan sawah Andisol dan Ultisol lebih tinggi dibandingkan lahan tegalan. Sedangkan pada Vertisol kandungan P organik lahan sawah pada lapisan diatas tapak bajak lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan namun P organik menurun pada lapisan tapak bajak dan lapisan dibawah tapak bajak. Kandungan P organik paling rendah terdapat pada lahan tegalan Ultisol.

Pelumpuran dan penggenangan pada lahan sawah mempengaruhi sifat fisika, kimia, dan biologi. Menurut Cyio (2008) tanah yang tergenang akan berubah dari kondisi yang oksidatif menjadi reduktif. Kondisi ini mempengaruhi aktivitas-aktivitas mikroba tanah yang menstimulasi proses reduksi  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$ , meningkatkan pH, menurunkan Eh, dan terjadi peningkatan ketersediaan P.

Tingginya P organik pada lahan sawah dipengaruhi dekomposisi bahan organik yang lebih rendah pada lahan sawah. Sulistiyanto *et al.* (2005) menyatakan bahwa laju dekomposisi seresah lebih cepat pada kondisi aerobik dibanding kondisi anaerobik. Hal tersebut mengakibatkan kandungan bahan organik pada lahan tegalan akan lebih cepat mengalami penurunan dibandingkan dengan tanah sawah. Aerasi dan drainase yang baik sangat berpengaruh terhadap pertukaran udara di dalam tanah, yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap aktivitas mikrobia tanah dalam peruraian bahan organik. Namun aerasi yang berlebihan kurang bagus karena dapat mendorong terjadinya oksidasi bahan organik menjadi mineral tanah secara berlebihan sehingga kadar bahan organik tanah menjadi rendah. Keadaan yang pertukaran udara tidak lancar atau semi anaerob akan berpengaruh terhadap dekomposisi bahan organik, yaitu bahan organik akan mengalami proses humifikasi sehingga menghasilkan senyawa organik yang tahan terhadap pelapukan (Tangketasik *et al.*, 2012).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Kandungan P total pada lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan. Pada Andisol dan Ultisol kandungan P labil dan P organik lahan sawah lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan, sedangkan pada Vertisol kandungan P labil dan P organik lahan sawah diatas lapisan tapak bajak (lapisan satu dan dua) lebih tinggi dibandingkan dengan lahan tegalan, namun pada lapisan dibawah tapak bajak (lapisan tiga dan empat) lebih rendah daripada lahan tegalan.
2. Pada lahan sawah, fraksi P labil ( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$  dan  $\text{NaOH-Po}$ ) menurun pada lapisan tapak bajak. Sebaliknya, fraksi P stabil ( $\text{HCl-Pi}$  dan  $\text{residu-P}$ ) meningkat pada lapisan tapak bajak. Sedangkan pada lahan tegalan tidak terbentuk pola seperti pada lahan sawah.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi fraksi P labil adalah kandungan C-organik, reaksi tanah (pH tanah), kandungan liat, dan jenis pengelolaan lahan yang digunakan.

### 5.2. Saran

Sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji fraksi-fraksi P mengkaji bahan induk serta tipe liat dalam tanah yang sangat mempengaruhi kandungan fraksi-fraksi P didalam tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abolfazli, F., A. Forghani, dan M. Norouzi. 2012. *Effects of Phosphorus and Organic Fertilizers on Phosphorus Fractions in Submerged Soil*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 12 (2) : 349-362.
- Acquyaye, D.K., dan J.W. Oteng. 1972. *Factors Influencing the Status of Phosphorus in Surface Soils of Ghana*. Journal Agriculture. Science. 5 : 22-228.
- Badan Pusat Statistik. 2010. *Statistik Indonesia*. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- , 2014. *Statistik Indonesia*. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- Bintang dan Lahuddin. 2007. *Suplai Hara N,P,K dan Perubahan pH serta Pertumbuhan Tanaman Kedelai Dengan Pemberian Abu Serbuk Gergaji pada Tanah Ultisol*. Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Alih Teknologi Spesifik Lokasi Mendukung Revitalisasi Pertanian. Medan.Hal 296.
- Buresh, R.J., P.C. Smithson, dan D.T. Hellumsa. 1997. *Building Soil Phosphorus Capital in Africa*. American Society of Agronomy and Soil Sci. Soc. Am.J. Special Publication.
- Busman, L., J. Lamb, G. Randall, G. Rehm, dan M. Schmitt. 2002. *The Nature of Phosphorus in Soils*. Terdapat dalam Nutrient management. University Of Minnesota.<http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrientmanagement/phosphorus/the-nature-of-phosphorus/>. Diakses pada 14 Maret 2014.
- Contreraz, A.Y.L., I.H. Valencia, dan D.L. Hernandez. 2007. *Fractionation of Soil Phosphorus in Organic Amended farms Located on Savanna Sandy Soils of Venezuela Amazonian*. Bio Fertil Soil. 43: 771-777.
- Cyio, M.B. 2008. *Efektivitas Bahan Organik dan Tinggi Genangan Terhadap Perubahan Eh, Ph, dan Status Fe, P, Al Terlarut pada Ultisol*. Journal Agroland 15 (4) : 257 – 263.
- Daroub, S.H., A. Gerakis, J.T. Ritchie, D.K. Friesen, dan J. Ryan. 2002. *Development of a Soil-Plant Phosphorus Simulation Model for Calcareous and Weathered Tropical Soils*. Agricultural System. Elsevier Science Ltd. 76 : 1157-1181.
- Djuniwati, S., B. Nugroho, dan H.B. Pulunggono. 2012. *The Changes of P-Fractions and Solubility of Phosphate Rock in Ultisol Treated by Organic Matter and Phosphate Rock*. Journal Tropical Soils. Vol. 17, No. 3 : 203-210.
- Edem, S.O., dan N.U. Ndaeyo. 2007. *Fertility Status and Management Implications of Wetland*. Soils for Sustainable Crop Production in Akwa Ibom State. Nigeria. Springer Science+Business Media B.V. 393 – 406.
- Guo, F., R. S. Yost, N.V. Hue, C.I. Evensen, dan J.A. Silva, 2000. *Soil phosphorus fractions under intensive plant growth*. Soil science. Am. J. 64 : 1689-1689.

- Gusnidar dan T.B. Prasetyo. 2008. *Pemanfaatan Tithonia Diversifolia pada Tanah Sawah yang Dipupuk P Secara Starter terhadap Produksi serta Serapan Hara N, P, dan K Tanaman Padi*. Jurnal. Tanah Trop. Vol. 13, No. 3 : 209-216.
- Handayanto, E., dan K. Hairiah. 2007. *Biologi Tanah Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Pustaka Adipura. Yogyakarta.
- Hansen, J.C., B.J.C. Menun, dan D.G. Strawn. 2004. *Phosphorus Speciation in Manure-Amended Alkaline Soils*. Journal Environmental Quality. 33 : 1521–1527.
- Hartono, A., P.L.G. Vieck, A. Moawad, dan A. Rachim. 2000. *Changes in Phosphorus Fractions on an Acidic Soil Induced by Phosphorus Fertilizer, Organic Matter and Lime*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan. Vol. 3, No. 2 : 1-7.
- Hedley, M.J., J.W.B. Stewart, dan B.S. Chauhan. 1982. *Change in Inorganic and Organic Soil Phosphorus Fraction Induced by Cultivation Practice and by Laboratory Incubation*. Soil Science. Soc Am.J. 46 : 970-976.
- Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2002. *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Mejuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.
- Kolawole, G.O., dan G. tian. 2007. *Phosphorus Fractionation and Crop Performance on an Alfisol Amended With Phosphate Rock Combined With or Without Plant Residues*. African Journal of Biotechnology. Vol. 6 (16) : 1972-1978.
- Malik, M.A., K.S. Khan, F.U. Hassan, dan A. Umair. 2014. *Dynamics of Phosphorus Polls in Subtropical Alkaline Soil*. International Journal of Agriculture and Biologi. 16 : 293-299.
- Motashari, M., M. Muazardalan, N. Karimian, H.M. Hosseini, dan H. Rezai. 2008. *Phosphorus Fractions of Selected Calcareous Soils of Qazvin Province and Their Relationships with Soil Characteristics*. American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science. 3 (4) : 547-553.
- Najafi, N. 2013. *Changes in pH, EC, and Concentration of Phosphorus in Soil Solution During Submerged and Rice Growth Period in Some Paddy Soils of North of Iran*. International Journal of Agriculture. Vol. 3 (2) : 271-280.
- Nasution, L.I. 2004. *Masalah Pengkonversian Lahan Pertanian ke Lahan Non-Pertanian dan Beberapa Alternatif Kebijakan untuk Mengatasi Dampak Negatifnya*. Makalah disampaikan pada Seminar Keprofesian Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah, Bogor, 27 Oktober 1988.
- Novriani, 2010. *Alternatif Pengelolaan Unsur Hara P (Fosfor) Pada Budidaya Jagung*. Jurnal Agronobis. Vol. 2. No. 3 : 42 – 49.
- Nursyamsi D.G., dan A. Wijaya. 2003. *Erapan P Tanah Inceptisol, Ultisol, Oxisol dan Andisol serta Kebutuhan Pupuk P untuk Beberapa Tanaman*. Jurnal Ilmu Pertanian 16 (2) : 103-104.

- Nursyamsi, D., dan Suprihati. 2005. *Sifat-sifat Kimia dan Mineralogi Tanah serta Kaitannya dengan Kebutuhan Pupuk untuk Padi (Oryza sativa), Jagung (Zea mays), dan Kedelai (Glycine max)*. Buletin Agronomi 33 (3) : 40 – 47.
- Nursyamsi, D., dan D. Setyorini. 2009. *Ketersediaan P Tanah-Tanah Netral dan Alkalin*. Jurnal Tanah dan Iklim No. 30 : 25-36.
- Nuryani, S.H.U., T. Notohadiningrat, R. Sutanto, dan B. Radjagukguk. 1993. *Faktor Jerapan dan Pelepasan Fosfat di Tanah Andosol dan Latosol*. Jurnal BBPS-UGM. 6 (4B) : 1-11.
- Phiri, S., E. Barrios, I.M., Rao, dan B.R. Singh. 2001. *Changes in Soil Organic Matter and Phosphorus Fractions Under Planted Fallows and a Crop Rotation System on a Colombian Volcanic-ash Soil*. Plant and Soil 231 : 211-223.
- Podder, M., M. Akter, A.S.M. Saifullah, dan S. Roy. 2012. *Impacts of Plough Pan on Physical and Chemical Properties of Soil*. Journal. Environmental Science and Natural Resources. 5 (1) : 289-294.
- Prasetyo, B.H. 2007. *Perbedaan Sifat-sifat Vertisol dari Berbagai Bahan Induk*. Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian Indonesia. Vol. 9, No.1 : 20-31.
- Prasetyo, B.H., dan D.A. Suriadikarta. 2006. *Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia*. Jurnal Litbang Pertanian. 25 (2).
- Puslittanak, 2003. *Arahan Lahan Sawah Utama dan Sekunder Nasional di P.Jawa, P.Bali dan P.Lombok*. Laporan akhir kerjasama antara Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian dengan Proyek Koordinasi Perencanaan Peningkatan Ketahanan Pangan, Biro Perencanaan dan Keuangan, Sekretariat Jenderal Departemen Nasional.
- Ringgih, D. 2014. *Kajian Perubahan Sifat Morfologi, Fisik, dan Kimia pada Ordo Tanah Akibat Penyawahan*. Tesis. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Saridevi, G.A.A.R., I.W.D. Atmaja, I.M. Mega. *Perbedaan Sifat Biologi Tanah pada Beberapa Tipe Penggunaan Lahan di Andisol, Inceptisol, dan Vertisol*. E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika. Vol. 2, No. 4 : 214-223.
- Snyder, 2002. *Effects of Soil Flooding and Drying on Phosphorus Reactions*. News & Views. Potash & Phosphate Institute (PPI) dan Potash dan Phosphate Institute of Canada (PPIC). Hal 1-2.
- Soil Survey Division Staff. 2010. *Soil Survey Manual. Soil Conservation Service*. U.S. Departement of Agriculture Handbook.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B Siswanto. 2000. *Tanah-Tanah Pertanian dalam Tim Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (Ed) Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat*. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor.

- Subowo G. 2010. *Strategi Efisiensi Penggunaan Bahan Organik Untuk Kesuburan Dan Produktivitas Tanah Melalui Pemberdayaan Sumberdaya Hayati Tanah*. Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 4 No. 1 : 13-25.
- Suharta, N. 2010. *Karakteristik dan Permasalahan Tanah Marginal dari Batuan Sedimen Masam di Kalimantan*. Jurnal Litbang Pertanian, 29 (4) : 139-146.
- Sukmawati<sup>a</sup>. 2011. *Jerapan P pada Andisol Yang Berkembang dari Tuff Vulkan Beberapa Gunung Api di Jawa Tengah dengan Pemberian Asam Humat dan Asam Silikat*. Media Litbang Sulteng 4 (1) : 30 – 36.
- Sukmawati<sup>b</sup>. 2011. *Beberapa Perubahan Sifat Kimia Alofan Dari Andisol Setelah Menjerap Asam Humat Dan Asam Silika*. Media Litbang Sulteng 4 (2) : 118 – 124.
- Sulistiyanto, Y., J.O. Rieley, dan S.H. Limin. 2005. *Laju Dekomposisi dan Pelepasan Hara dari Serasah pada Dua Sub-Tipe Hutan Rawa Gambut di Kalimantan Tengah*. Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. 11 No. 2 : 1-14.
- Sunarminto, B.H. 2000. *Genesis Oxisol dan Ultisols di atas Batuan Dunit (Ultrabasi) di Daerah Malili, Sulawesi Selatan*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Vol. 2, No. 1 : 43-45.
- Tangkitasik. A., N.M. Wikarniti<sup>1</sup>, N.N. Soniari, dan I.W. Narkal. 2012. *Kadar Bahan Organik Tanah pada Tanah Sawah dan Tegalan di Bali serta Hubungannya dengan Tekstur*. Jurnal Agrotrop. 2 (2) : 101- 107.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton, dan J.L. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed. MacMillan. New York.
- Venterink, H.O., T.E. Davidsson, K. Kiehl, dan L. Leonardson. 2002. *Impact of Drying and Re-Wetting on N, P, and K Dynamics in a Wetland Soil*. Plant and Soil. 243 : 199-130.
- Wang, G.P., Z.L. Zhai, J.S. Liu dan J.D. Wang, 2008. *Forms and profile distribution of soil phosphorus in four wetlands across gradients of sand desertification in Northeast China*. Geoderma, 145: 59–74.
- Wijanarko, A., dan A. Taufiq. 2008. *Penentuan Kebutuhan Pupuk P untuk Tanaman Kedelai, Kacang Tanah, dan Kacang Hijau Berdasarkan Uji Tanah di Lahan Kering Masam Ultisol*. Buletin Palawija. No. 15 : 1-8.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah: Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Penerbit Gava Media. Yogyakarta.
- Yang, X., dan W.M. Post. 2011. *Phosphorus Transformations As a Function of Pedogenesis: A Synthesis of Soil Phosphorus Data Using Hedley Fractionation Method*. Biogeoscience. 8 : 2907-2916.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Penetapan Analisis Fraksionasi P Metode Hedley *et al.* (1982)

### **Langkah pertama. Membuat ekstrak $\text{NaHCO}_3$**

#### **Hari Pertama**

Menimbang 1,5 g tanah/sampel kemudian dimasukkan dalam tabung *centrifuge* plastik yang telah diberi kode sesuai kode sampel. Menambahkan 0,5 M  $\text{NaHCO}_3$  pH 8,5 sebanyak 30 ml pada setiap sampel. Meletakkan tabung *centrifuge* pada mesin pengocok dan dikocok selama 16 jam. Pengocokan pada hari pertama hanya dilakukan selama 8 jam kemudian dimatikan. 8 jam selanjutnya dilanjutkan dengan pengocokan pada keesokan harinya sampai pada hari kedua.

#### **Hari ketiga**

Sampel yang telah dikocok selama 16 jam pada hari sebelumnya, selanjutnya di*centrifuge* pada 2000 rpm selama 15 menit. Supernatan atau ekstrak tanah disaring dengan menggunakan kertas whatman (tipe 42 diameter 11) ke dalam botol sampel 30 ml dan botol ditandai dengan kode yang sesuai (“ $\text{NaHCO}_3$ -eks”). Ekstrak disimpan dalam pendingin dengan suhu  $+4^\circ\text{C}$  sampai dilakukan analisis selanjutnya. Sampel tanah yang tersisa atau mengendap ditabung *centrifuge* digunakan untuk membuat ekstrak selanjutnya.

### **Langkah kedua. Membuat ekstrak $\text{NaOH}$**

#### **Hari keempat**

Menambahkan 30 ml 0,1 M  $\text{NaOH}$  ke dalam tabung *centrifuge* yang berisi tanah sisa hasil pengekstrakan sebelumnya kemudian divortex sampai tanah yang mengendap dapat homogen dengan larutan yang ditambahkan. Setelah itu dikocok kembali selama 16 jam dengan pengocokan sama seperti yang dilakukan pada hari pertama yaitu dengan mematikan pengocok setelah 8 jam dan dilanjutkan lagi pada keesokan harinya (hari kelima).

#### **Hari Keenam**

Sampel yang telah dikocok selama 16 jam di*centrifuge* pada 2000 rpm selama 15 menit. Menyaring ekstrak dengan menggunakan kertas whatman ke

dalam botol sampel 30 ml yang telah diberi kode yang sesuai (“NaOH-eks”). Ekstrak disimpan dalam pendingin dengan suhu +4°C sampai dilakukan analisa. Sampel tanah yang tersisa atau mengendap ditabung *centrifuge* digunakan untuk membuat ekstrak selanjutnya.

### **Langkah ketiga. Membuat ekstrak NaCl**

#### **Hari ketujuh**

Menambahkan 30 ml 0,1 M NaCl ke dalam tabung *centrifuge* yang berisi sisa sampel tanah sebelumnya kemudian divortex sampai tanah yang mengendap dapat homogen dengan larutan yang ditambahkan. Setelah itu sampel dikocok dalam mesin pengocok selama 30 menit. Kemudian dicentrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 15 menit. Supernatan atau ekstrak yang dihasilkan langsung dibuang. Konsentrasi P dalam larutan NaCl dapat diabaikan. Prosedur dengan NaCl dibuat dengan tujuan untuk melepaskan ion OH yang lain yang akan berperan untuk menetralsir HCl pada langkah selanjutnya.

### **Langkah keempat. Membuat ekstrak HCl.**

Menambahkan 30 ml 0,1 M HCl ke dalam tabung *centrifuge* yang berisi sisa tanah dari tahap sebelumnya kemudian divortex sampai tanah yang mengendap dapat homogen dengan larutan yang ditambahkan. Setelah itu sampel dikocok dalam mesin pengocok selama 16 jam. pengocokan sama seperti yang dilakukan pada hari pertama yaitu dengan mematikan pengocok setelah 8 jam dan dilanjutkan lagi pada keesokan harinya (hari kedelapan).

#### **Hari kesembilan**

Melanjutkan kembali pengocokan sampai sampel tanah selesai dikocok selama 16 jam. Sampel diambil dari mesin pengocok kemudian dicentrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 15 menit. Supernatan atau ekstrak disaring dengan menggunakan kertas whatman ke dalam botol sampel 30 ml yang telah ditandai dengan kode yang sesuai (“HCl-eks”). Ekstrak disimpan dalam pendingin dengan suhu +4°C sampai dilakukan analisis selanjutnya.

### Langkah kelima. Membuat ekstrak P residu

Sisa tanah yang mengendap pada tabung *centrifuge* dipindahkan ke dalam *beaker glass* dengan cara mengisi 1/3 dari tabung *centrifuge* dengan air destilasi kemudian tabung ditutup dan divortex sampai butir tanah menjadi lepas. Selanjutnya dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang telah diberi kode sesuai dengan sampel tanah sampai seluruh partikel tanah berpindah. Setelah itu, menambahkan air destilasi sampai  $\pm 50\%$  dari dan sampel dibiarkan mengendap selama satu malam.

### Hari kesepuluh

Setelah tanah mengendap, air destilasi dibuang secara perlahan dari *beaker glass*. Air yang masih tersisa dengan tanah diuapkan dalam ruang penguapan atau alat pembakaran (*digestion block*) sampai air tidak membasahi tanah sisa. Setelah itu didiamkan sesaat. Langkah selanjutnya adalah menambahkan 5 ml 97%  $H_2SO_4$  dan 2 ml 30%  $H_2O_2$  ke dalam *beaker glass* yang berisi tanah sisa dan dikocok secara perlahan untuk memudahkan kontak antara tanah dengan larutan yang diberikan. Selanjutnya sampel tanah dicampur dengan menggunakan alat pembakaran.

Prosedur pembakaran dilakukan dengan mengikuti langkah dibawah ini:

1. Menyiapkan *digestion block* sampai dengan suhu  $\pm 330^\circ C$
2. Sebelum diletakkan pada *digestion block*, sampel dikocok perlahan dan harus dipastikan bahwa *beaker glass* telah ditandai dengan kode yang sesuai
3. Setelah suhu mencapai  $330^\circ C$ , sampel diletakkan pada *digestion block* dan tunggu sampai suhu mencapai  $360^\circ C$ . selama pemanasan, sampel harus diperiksa dan dipastikan telah banyak terjadi reaksi. Jika diperlukan ditambahkan dengan 2 ml 97 %  $H_2SO_4$  dan 1 ml 30%  $H_2O_2$  untuk mencegah terjadinya “kebakaran/hangus”.
4. Ketika suhu pada *digestion block* sudah mencapai 360 derajat C, dilanjutkan pencampuran sekitar 5-10 menit lagi. Larutan yang berada diatas tanah diperiksa. Sampel telah tercampur dan dapat diangkat apabila larutan yang berada diatas tanah bersih/bening. Apabila larutan yang

berada diatas tanah belum bening, maka perlu ditambahkan dengan 2 ml 97%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 1 ml 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan sampel dikocok secara perlahan dan dilakukan pencampuran kembali dengan *digestion block* hingga larutan bersih/bening. Penambahan 97 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  tidak boleh dilakukan lebih dari tiga kali pada masing-masing sampel karena akan mengakibatkan larutan menjadi terlalu asam dan membuat filtrasi berikutnya menjadi sulit.

5. Setelah pencampuran selesai, *beaker glass* diangkat dari *digestion block* dan dibiarkan dingin. dan dilanjutkan pada langkah berikutnya. Apabila waktu tidak mencukupi dapat dibiarkan selama semalaman dan dilanjutkan pada keesokan harinya.

#### **Hari kesebelas**

Perlahan-lahan sampel tanah dalam *beaker glass* ditambahkan dengan air destilasi sebanyak 25 ml sambil membasuh dinding *beaker glass* untuk mendapatkan partikel tanah ke dalam larutan. Penambahan air destilasi dilakukan di ruang asam/ruang pembuangan kerana reaksinya sangat kuat. Kemudian sampel dibiarkan dingin sejenak. Setelah itu ekstrak disaring dengan menggunakan kertas whatman kedalam tabung volumetrik. *Beaker glass* diberi dengan sedikit air destilasi kemudian dikocok dan dituang pada kertas whatman. Setelah didapatkan ekstrak dalam tabung volumetrik, ekstrak diencerkan dengan menggunakan air destilasi sampai 50 ml. Kemudian dipindahkan pada botol sampel 75 ml dan disimpan dalam temperatur ruang sampai dilakukan analisis berikutnya.

#### **Langkah keenam. Ekstraksi P-inorganik (Pi) dalam ekstrak $\text{NaHCO}_3$ dan NaOH.**

#### **Hari keduabelas**

Botol sampel yang berisi ekstrak  $\text{NaHCO}_3$  (“ $\text{NaHCO}_3$ -eks”) dan NaOH (“NaOH-eks”) dikocok kemudian diambil sebanyak 10 ml dan dipindahkan ke dalam tabung *centrifuge* plastik. Selanjutnya ditambahkan dengan 3,6 ml 0,9 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kemudian dikocok selama 1 menit atau divortex dengan tujuan untuk mencampur ekstrak dengan penambahan larutan. Penambahan 0,9 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dilakukan sedikit demi sedikit dan secara perlahan karena reaksinya cukup kuat.

Sampel dilihat apakah terbentuk endapan. Apabila terdapat endapan, sampel dicentrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 15 menit. Selanjutnya supernatan dituangkan kedalam botol volumetrik 50 ml dan diencerkan sampai 50 ml dengan air destilasi. Setelah itu dituangkan ke dalam botol sampel 75 ml dan masing-masing ditandai dengan "NaHCO<sub>3</sub>-Pi " dan "NaOH-Pi". Ekstrak disimpan dalam temperaatur ruang sampai dilanjutkan analisis pada tahapan selanjutnya.

### **Langkah ketujuh. Ekstraksi P total dalam ekstrak NaHCO<sub>3</sub>, NaOH, dan HCl**

#### **Hari ketigabelas**

Botol sampel yang berisi ekstrak NaHCO<sub>3</sub>-eks, NaOH-eks, dan HCl-eks dikocok kemudian dipindahkan sebanyak 5 ml ke dalam beaker glass. Selanjutnya ditambahkan dengan 2 ml 97% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 1 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Sampel dicampur/dibakar pada digestion block berdasarkan langkah-langkah pada ekstrak P-residu.

1. Menyiapkan *digestion block* sampai dengan suhu  $\pm 330^{\circ}\text{C}$
2. Sebelum diletakkan pada *digestion block*, sampel dikocok perlahan dan harus dipastikan bahwa *beaker glass* telah ditandai dengan kode yang sesuai
3. Setelah suhu mencapai  $330^{\circ}\text{C}$ , sampel diletakkan pada digestion block dan tunggu sampai suhu mencapai  $360^{\circ}\text{C}$ . Selama pemanasan, sampel harus diperiksa dan dipastikan telah banyak terjadi reaksi. Jika diperlukan ditambahkan dengan 2 ml 97 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 1 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk mencegah terjadinya "kebakaran/hangus".
4. Ketika suhu pada *digestion block* sudah mencapai  $360^{\circ}\text{C}$ , dilanjutkan pencampuran sekitar 5-10 menit lagi. Larutan diperiksa, apabila larutan tidak bersih, atau masih berwarna kuning, maka perlu ditambahkan dengan 2 ml 97% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 1 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan sampel dikocok secara perlahan dan dilakukan pencampuran kembali dengan *digestion block* hingga larutan bersih/bening. Penambahan 97 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tidak boleh dilakukan lebih dari tiga kali pada masing-masing sampel karena akan mengakibatkan larutan menjadi terlalu asam dan membuat filtrasi berikutnya menjadi sulit.

5. Setelah pencampuran selesai, *beaker glass* diangkat dari *digestion block* dan dibiarkan dingin.
6. Setelah cukup dingin, ditambahkan dengan 25 ml air destilasi. Penambahan air destilasi dilakukan di ruang asam atau ruang pembuangan karena reaksi yang ditimbulkan sangat kuat dan sampel dibiarkan dingin.
7. Sampel diperiksa, apabila terdapat endapan, maka perlu disaring dengan menggunakan kertas whatman ke dalam botol volumetrik 50 ml. Apabila tidak terdapat endapan, langsung dituangkan ke dalam botol volumetrik 50 ml. Selanjutnya diencerkan dengan air destilasi sampai 50 ml kemudian dipindahkan dalam botol sampel 100 ml dan diberi kode “NaHCO<sub>3</sub>-Ptot”, “NaOH-Ptot”, dan “HCl-Pi” setelah itu disimpan dalam temperatur ruang sampai dilakukan analisis selanjutnya.

### **Langkah kedelapan. Penetapan atau pengukuran P pada semua sampel**

#### **Hari keempat belas**

Penetapan P pada semua sampel dilakukan berdasarkan “The Colometric Ascorbic Molybdate Method” yang dideskripsikan oleh Murphy dan Riley (1962) dan dimodifikasi oleh Watanabe dan Olsen (1965). Prosedur penetapan P dilakukan dengan langkah-langkah dibawah ini:

1. Ekstrak yang berisi NaHCO<sub>3</sub>-Pi dan Ptot, NaOH-Pi dan Ptot, serta HCl-Pi dipindahkan sebanyak 2,5 ml dari botol sampel 70 ml ke dalam *beaker glass*
2. Ditambahkan dengan 5 ml air destilasi
3. Menambahkan 1 tetes indicator pp (phenolphthalein)
4. Dititrasi dengan 4 M NaOH sampai warna berubah menjadi merah muda
5. Ditambahkan dengan 2,5 reagen B dan ditunggu sampai warna berubah menjadi warna biru
6. Setelah berubah menjadi warna biru, ditambahkan dengan air destilasi sampai 25 ml dan dikocok secara perlahan
7. Sampel diukur dengan *spechtphotometer* dengan panjang gelombang 880 nm.

## Lampiran 2. Analisis Sidik Ragam

## 1. P total

SK	db	JK	KT	F,hitung	F,tabel(5%)
Jenis Tanah	2	17321283.24	8660641.62	422.865157	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	3026331.331	1008777.11	49.25462914	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	2153461.187	119636.7326	5.841392351	1,825
Galat	48	983081.2279	20480.85891		
Total	71	23484156.99			

2. Po-NaHCO<sub>3</sub>

SK	Db	JK	KT	F,hitung	F,tabel(5%)
Jenis Tanah	2	959924,55	479962,28	93,10	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	59747,22	19915,74	3,86	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	303719,76	16873,32	3,27	1,825
Galat	48	247461,37	5155,45		
Total	71	1570852,90			

3. Pi-NaHCO<sub>3</sub>

SK	db	JK	KT	F,hitung	F,tabel(5%)
Jenis Tanah	2	8816,81	4408,41	7,38	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	29843.33	9947,78	16,65	2,80
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	38254,26	2125,24	3,56	1,83
Galat	48	28675,70	597,41		
Total	71	105590,11			

## 4. Po-NaOH

SK	db	JK	KT	F,hitung	F,tabel(5%)
Jenis Tanah	2	8977079,34	4488539,67	198,35	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	1881789,43	627263,14	27,72	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	1497915,00	83217,50	3,68	1,825
Galat	48	1086203,80	22629,25		
Total	71	13442987,58			

## 5. Pi-NaOH

SK	Db	JK	KT	F.hitung	F.tabel(5%)
Jenis Tanah	2	475503,9	237751,97	65,69	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	265341,3	88447,09	24,44	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	51528,07	2862,67	0,79	1,825
Galat	48	173737,4	3619,53		
Total	71	966110,7			

## 6. Pi-HCl

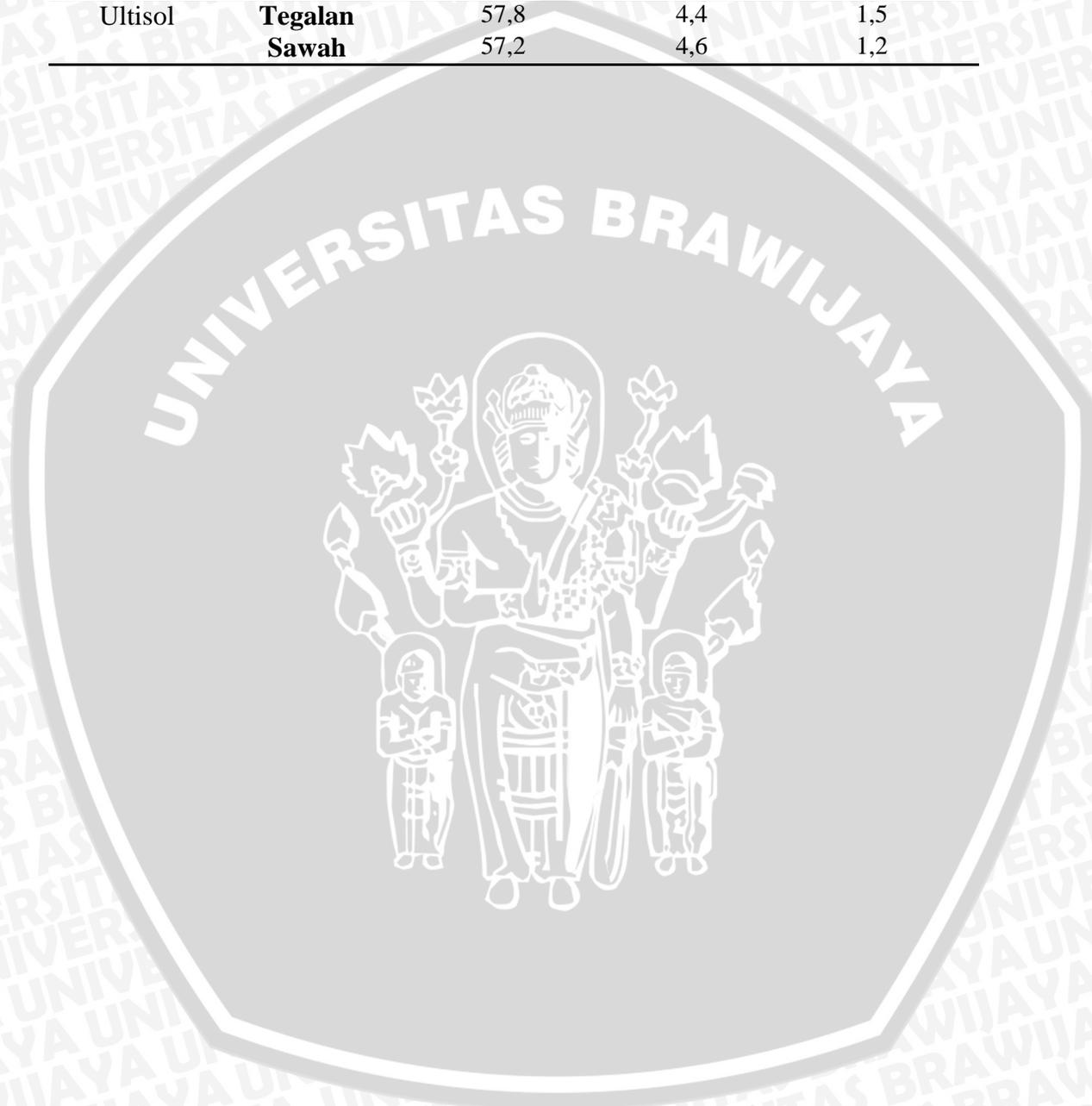
SK	db	JK	KT	F.hitung	F.tabel(5%)
Jenis Tanah	2	276495,34	138247,67	91,27	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	3414,86	1138,29	0,75	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	82945,85	4608,10	3,04	1,825
Galat	48	72708,56	1514,76		
Total	71	435564,61			

## 7. P-residu

SK	Db	JK	KT	F.hitung	F.tabel(5%)
Jenis Tanah	2	212474,69	106237,34	227,30	3,19
Jenis Lahan dalam jenis tanah	3	59441,89	19813,96	42,39	2,8
Kedalaman dalam jenis lahan dalam jenis tanah	18	138869,79	7714,99	16,51	1,825
Galat	48	22434,65	467,39		
Total	71	433221,01			

**Lampiran 3.** Rata-rata Hasil Analisis Kandungan Liat, pH, dan C-organik Tanah

Jenis Tanah	Jenis lahan	Kandungan Liat	pH Tanah	C-organik(%)
Andisol	<b>Tegalan</b>	9,5	5,4	2,1
	<b>Sawah</b>	17,4	5,7	2,9
Vertisol	<b>Tegalan</b>	74,4	6,1	1,1
	<b>Sawah</b>	70,3	6,7	0,8
Ultisol	<b>Tegalan</b>	57,8	4,4	1,5
	<b>Sawah</b>	57,2	4,6	1,2



**Lampiran 4.** Hasil Genstat *Canonical Variate Analysis*

GenStat Discovery Edition 4  
GenStat Procedure Library Release PL18.2

**Canonical variate analysis (semua fraksi P dengan jenis tanah)**

Percentage variation

	1	2
	63.10	36.90

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	0.009342	-0.015076
2	-0.005779	-0.004109
3	0.005716	0.000550
4	-0.003652	0.008491
5	0.003431	-0.000538
6	0.008338	0.008177

Canonical variate means

	1	2
1	3.104	0.859
2	-2.525	1.626
3	-0.579	-2.485

Inter-group distances

1	0.000		
2	5.681	0.000	
3	4.975	4.549	0.000

**Canonical variate analysis (semua fraksi P dengan jenis lahan)**

Percentage variation

	1	2
	53.37	28.61

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	0.014497	-0.004318
2	-0.011140	0.006899
3	0.006114	-0.002753
4	-0.002816	0.016082
5	0.004699	0.002170
6	0.006308	0.001432

Canonical variate means

	1	2
1	4.126	2.862
2	2.990	-1.475
3	-2.038	1.539
4	-4.025	1.423
5	-1.059	-1.397
6	0.005	-2.952

Inter-group distances

1	0.000				
2	4.483	0.000			
3	6.305	5.863	0.000		
4	8.277	7.590	1.990	0.000	
5	6.710	4.050	3.095	4.093	0.000
6	7.127	3.331	4.935	5.949	1.884



Canonical variate analysis (semua fraksi P dengan kedalaman)

Percentage variation

1	2
68.82	19.53

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	-0.011052	-0.002448
2	0.007714	0.012340
3	0.002134	0.003995
4	-0.005723	0.003115
5	0.001474	0.000177
6	-0.015785	0.003507

Canonical variate means

	1	2
1	0.5039	0.3066
2	-0.1324	0.0332
3	-0.6913	0.0410
4	0.3198	-0.3807

Inter-group distances

1	0.0000			
2	0.6926	0.0000		
3	1.2244	0.5589	0.0000	
4	0.7115	0.6131	1.0955	0.0000
	1	2	3	4

Canonical variate analysis (fraksi P labil dengan jenis tanah)

Percentage variation

1	2
98.65	1.35

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	0.006865	-0.000718
2	-0.001732	-0.026661
3	0.002918	-0.000343

Canonical variate means

	1	2
1	2.5962	0.0071
2	-1.3505	0.2595
3	-1.2457	-0.2665

Inter-group distances

1	0.000		
2	3.955	0.000	
3	3.852	0.536	0.000
	1	2	3

Canonical variate analysis (fraksi P labil dengan jenis lahan)

Percentage variation

1	2
85.95	12.29

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	-0.005687	0.005576
2	0.002866	-0.026416
3	-0.004182	-0.002191

Canonical variate means

	1	2
1	-3.958	-0.773
2	-2.136	0.993



3	0.877	0.140
4	2.290	0.300
5	1.815	-1.445
6	1.113	0.786

Inter-group distances

1	0.000				
2	2.538	0.000			
3	4.920	3.131	0.000		
4	6.339	4.480	1.423	0.000	
5	5.811	4.643	1.842	1.809	0.000
6	5.305	3.255	0.688	1.274	2.339
	1	2	3	4	5
6	0.000				
	6				

Canonical variate analysis (fraksi P labil dengan kedalaman)

Percentage variation

1	2
54.22	42.54

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	0.003183	-0.003819
2	0.004715	-0.024245
3	0.001502	0.001162

Canonical variate means

	1	2
1	0.3658	-0.0878
2	0.0341	0.2415
3	-0.1838	-0.2904
4	-0.2161	0.1367

Inter-group distances

1	0.0000				
2	0.4673	0.0000			
3	0.5858	0.5748	0.0000		
4	0.6236	0.2713	0.4283	0.0000	
	1	2	3	4	

Canonical variate analysis (fraksi P stabil dengan jenis tanah)

Percentage variation

1	2
80.95	19.05

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	-0.007695	0.003119
2	0.015429	-0.003723
3	-0.008288	-0.015546

Canonical variate means

	1	2
1	-1.015	-1.096
2	-1.448	0.974
3	2.464	0.121

Inter-group distances

1	0.000			
2	2.115	0.000		
3	3.686	4.004	0.000	
	1	2	3	



Canonical variate analysis (fraksi P stabil dengan jenis lahan)

Percentage variation

	1	2
	62.39	32.82

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	-0.013845	-0.006387
2	0.010401	-0.008177
3	-0.003225	0.017080

Canonical variate means

	1	2
1	-1.617	0.136
2	0.706	2.988
3	-1.799	-0.389
4	-2.058	-0.933
5	1.969	-0.642
6	2.799	-1.161

Inter-group distances

1	0.000					
2	3.679	0.000				
3	0.556	4.205	0.000			
4	1.157	4.798	0.603	0.000		
5	3.670	3.843	3.776	4.038	0.000	
6	4.602	4.646	4.662	4.862	0.978	0.000
	1	2	3	4	5	6
6	0.000					

Canonical variate analysis (fraksi P stabil dengan kedalaman)

Percentage variation

	1	2
	75.45	24.10

Latent vectors (loadings)

	1	2
1	0.006582	0.000397
2	0.012123	-0.010520
3	0.012709	0.004566

Canonical variate means

	1	2
1	-0.1819	0.1788
2	0.0751	0.2163
3	0.5309	-0.1584
4	-0.4241	-0.2367

Inter-group distances

1	0.0000				
2	0.2598	0.0000			
3	0.7886	0.5901	0.0000		
4	0.4809	0.6741	0.9582	0.0000	
	1	2	3	4	



