

**KAJIAN APLIKASI ASAM HUMAT TERHADAP KETERSEDIAAN P
DAN BEBERAPA SIFAT KIMIA ANDISOL**

Oleh

A.Y. ROMAULI SIAGIAN

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



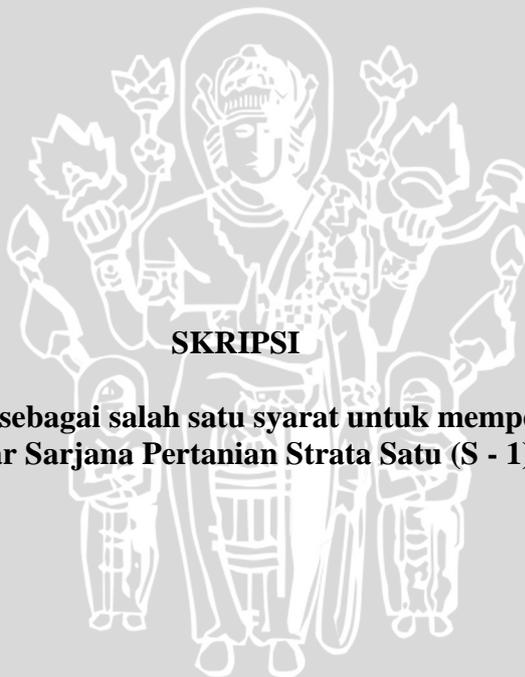
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2014**

**KAJIAN APLIKASI ASAM HUMAT TERHADAP KETERSEDIAAN P
DAN BEBERAPA SIFAT KIMIA ANDISOL**

Oleh :

**A.Y. ROMAULI SIAGIAN
105040200111189**

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA 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**

**Judul Skripsi : KAJIAN APLIKASI ASAM HUMAT TERHADAP
KETERSEDIAAN P DAN BEBERAPA SIFAT KIMIA
ANDISOL**

Nama Mahasiswa : A.Y. Romauli Siagian
NIM : 105040200111189
Jurusan : Tanah
Program Studi : Agroekoteknologi
Minat : Manajemen Sumberdaya Lahan
Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Retno Suntari, MS
NIP. 19580503 198303 2002

Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS
19480723 1978021 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1006

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Dr. Ir. Sugeng Priyono, MS
NIP. 19580214 198503 1 003

Penguji II

Kurniawan Sigit Wicaksono, SP. M.Sc
NIP. 19781021 200502 1 010

Penguji III

Dr. Ir. Retno Suntari, MS
NIP. 19580503 198303 2 002

Penguji IV

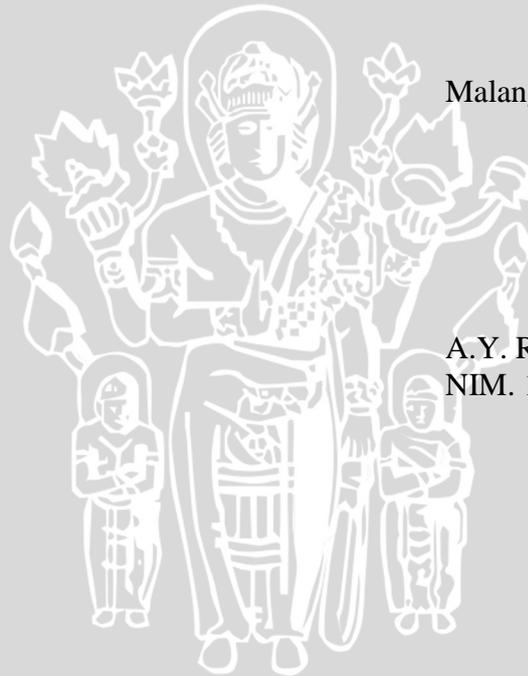
Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS
NIP. 19480723 1978021 001

Tanggal Lulus: 18 Agustus 2014

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

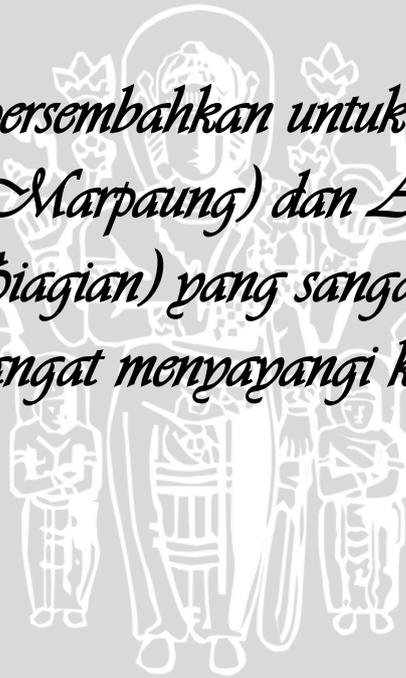
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Malang, Agustus 2014

A.Y. Romauli Siagian
NIM. 105040200111189

*Skripsi ini kupersembahkan untuk Mamak ku
(Marlin Marpaung) dan Abang ku
(Herman Siagian) yang sangat kusayangi
dan sangat menyayangi ku....*



Ucapan Terimakasih

Tidak lupa penulis mengucapkan Puji dan Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, serta:

Orangtua, saudara, dan keluarga tercinta yang setia memanjatkan doa untuk penulis,

Jemaat dan Naposobulung HKBP Malang terkhusus abang, kakak, teman, dan adek-adek yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu,

Pangisi Jabu Holong Bendungan Dharma No. 20 terkhusus bagi kakak dan abang, serta saudara-saudara anak Eirene Tiur Ebrina Manullang, Erison Lamskama Sianipar, Ria Nathalia Sagala, Nurliana Veronika Sianipar, Putra Adytia Damanik, Demon Rivai Arganata Manik, Rudy Sondang Enos Sinaga, Denny Jose Swandi Manik, Frans Feri Pasaribu, Christoffer Dwi Putra Sianipar, Lenno Enrico Manik, Ratar Ronnie Siagian.

Teman-teman Agroekoteknologi 2010 Kelas E

Teman-teman SLR 2010, Viva Soil... Soil Solid

Dan teman-teman lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu kalian adalah moment yang indah di kota perantauan ini, terimakasih buat segala waktu dan dukungan kalian semua.

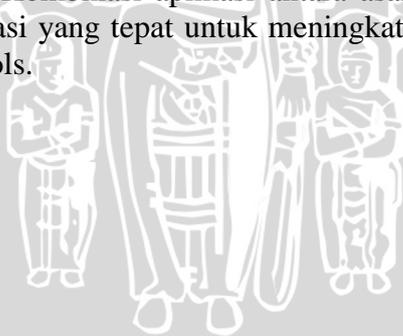
RINGKASAN

A. Y. Romauli Siagian. 105040200111189. **Kajian Aplikasi Asam Humat terhadap Ketersediaan P dan Beberapa Sifat Kimia Andisol.** Di bawah bimbingan Retno Suntari sebagai pembimbing utama dan Syekhfani sebagai pembimbing pendamping

Ketersediaan fosfor yang sangat rendah pada Andisol merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan dan produksi tanaman, sehingga perlu upaya untuk meningkatkan fosfor tersedia. Salah satu usaha untuk mengurangi fiksasi fosfor pada Andisol ialah dengan memanfaatkan gugus asam humat yang dapat membentuk ikatan kelasi (*chelate*) dengan gugus alofan.. Tujuan penelitian ini dilaksanakan ialah: 1) untuk mengetahui pengaruh asam humat terhadap fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols, 2) untuk mengetahui dosis asam humat yang tepat dalam peningkatan fosfor tersedia tanah dan beberapa sifat kimia Andisols, dan 3) untuk mengetahui kombinasi aplikasi yang tepat untuk meningkatkan fosfor tersedia tanah pada Andisols.

Penelitian dilaksanakan pada April 2014 sampai Juli 2014, sedangkan untuk tempat pelaksanaan penelitian ialah di rumah kaca Fakultas Pertanian dan laboratorium kimia tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) sederhana, terdiri dari 5 perlakuan dan 3 ulangan, yaitu D₀: kontrol; D₁: asam humat 0,2 %; D₂: asam humat 0,4 %; D₃: SP36; D₄: asam humat 0,2% + SP36.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi asam humat berpengaruh terhadap fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols. Dosis asam humat yang tepat dalam peningkatan unsur fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols ialah 0,4% (D₂). Kombinasi aplikasi antara asam humat 0,2% dengan SP36 (SP36) ialah kombinasi yang tepat untuk meningkatkan fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols.



SUMMARY

A. Y. Romauli Siagian. 105040200111189. **Study of Application of Humic Acid to The Availability of P and Some Chemical Properties of Andisol.** Supervised by Retno Suntari dan Syekhfanani

A very low phosphorus availability in Andisol is a limiting factor for the growth and production of plants, necessitating an effort to improve phosphorus available. One of the efforts to reduce the retention of phosphorus in Andisol is by utilizing a cluster of humic acid can form bonds bosun (chelate) with cluster alofan.. The purpose of this research is: 1) was carried out to determine the influence of humic acid to phosphorus is available and some chemical properties of Andisols, 2) to determine the right dose of humic acid in increased soil available phosphorus and some chemical properties of Andisols, and 3) to figure out the right combination of applications to increase the available phosphorus on Andisols.

The research was carried out in April 2014 to July 2014, whereas for the implementation of the research is on the greenhouse of Faculty of Agriculture and soil chemistry laboratory, Department of Soil, the Faculty of Agriculture, University of Brawijaya. Research using randomized complete design (RAL) is simple, consisting of 5 treatments and 3 replicates, namely: D₀: control; D₁: humic acid 0,2%; D₂: humic acid 0,4%; D₃: SP36; D₄: humic acid 0,2% SP36.

The result showed that the application of humic acid impact on phosphorus available and some of the chemical properties Andisols. A dose of humic acid proper in an increase of the element of phosphorus available and some of the chemical properties Andisols was 0,4 % (D₂).A combination of application between humic acid 0,2 % with SP36 (D₁) is a combination which is proper to improve phosphorus available and some of the chemical properties Andisols.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian dengan Topik “Kajian Aplikasi Asam Humat terhadap Ketersediaan P dan Beberapa Sifat Kimia Andisol”.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibunda tercinta Marlin Marpaung yang telah memberikan segala hidupnya untuk kebahagiaan, kesuksesan, serta sebagai motivator sejati dalam kehidupan penulis.
2. Ibu Dr. Ir. Retno Suntari, MS, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan selama penelitian berlangsung dan juga memberikan arahan dalam penyusunan laporan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan selama penelitian berlangsung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS., selaku ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya yang telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian.
5. Saudara-saudara dalam ruang lingkup kampus dan juga ruang lingkup gereja (NHKBP Malang), dan lingkungan yang telah memberi masukan-masukan bagi penulis agar tetap semangat dalam menyelesaikan permasalahan.

Tidak ada kesempurnaan dalam tulisan ini, oleh karena itu penulis meminta masukan berupa kritik maupun saran agar laporan ini mendekati kesempurnaan. Doa dan harapan penulis semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak terkhusus dalam lingkup fakultas, dan lingkup pertanian.

Malang, Agustus 2014

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Porsea, Kecamatan Porsea, Kabupaten Toba Samosir pada tanggal 29 April 1991, putri bungsu dari pasangan Mangasi Tua Siagian dan Marlin Marpaung. Penulis memulai pendidikan formal di Sekolah Dasar (SD) di SD Katolik Sanfrancesco Balige (1997-2003), kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Sigumpar (2003-2006), dan melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Siantar Narumonda (2006-2009). Penulis menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya pada tahun 2010 melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, penulis aktif dalam kegiatan akademis sebagai asisten praktikum mata kuliah Dasar Ilmu Tanah, mata kuliah Teknologi Produksi Tanaman, mata kuliah Manajemen Agroekosistem dan matakuliah Kewirausahaan. Mahasiswa juga ikut dalam kepanitian natal dan paskah *Christian Comunity* (CC), dan kepanitian kaldera dan gatraksi himpunan mahasiswa ilmu tanah (HMIT). Selama *study* mahasiswa juga pernah memperoleh Beasiswa Bantuan Belajar Mahasiswa (BBM) dan beasiswa Bank Indonesia (BI). Sebagai salah satu syarat penyelesaian *study* penulis melaksanakan magang kerja selama 3 bulan pada tahun 2013 di sebuah perusahaan dibidang perkebunan kelapa sawit. Perusahaan tempat penulis melaksanakan magang kerja ialah PT. Bumitama Gunajaya Agro Grup, di Desa Pundu, Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah.

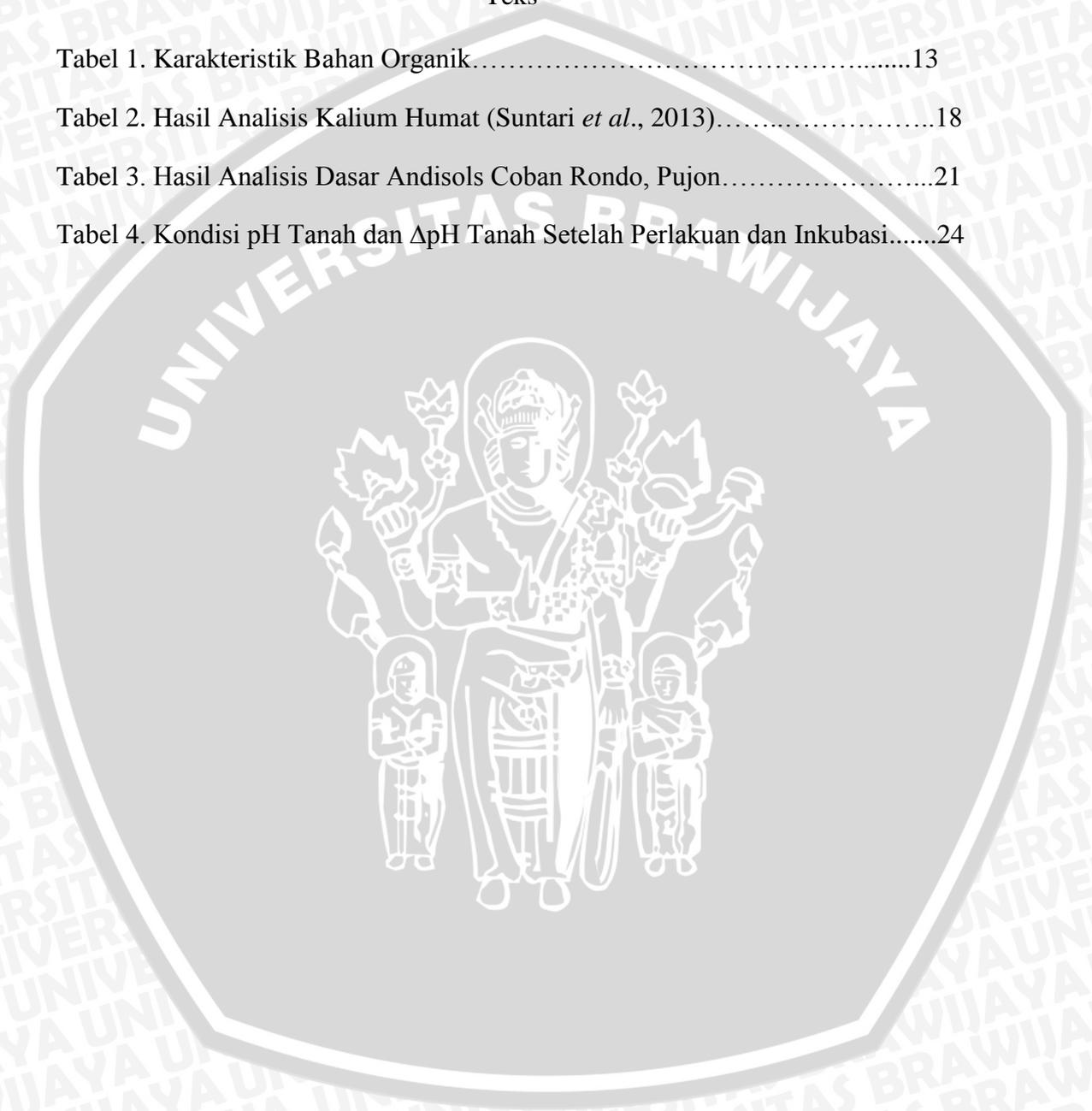
DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN	
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Manfaat	2
1.4. Hipotesis	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Kondisi Tanah Andisols	4
2.2. Siklus Fosfor pada Tanah	5
2.3. Bentuk dan Ketersediaan Fosfor dalam Tanah dan Tanaman	6
2.4. Mekanisme Fiksasi Fosfor pada Andisols	10
2.5. Karakteristik Asam Humat	11
2.6. Manfaat dan Pengaruh Asam Humat.....	14
BAB III BAHAN DAN METODE	
3.1. Tempat dan Waktu	14
3.2. Alat dan Bahan	14
3.3. Metode Penelitian	18
3.4. Pelaksanaan Penelitian	19
3.5. Pengamatan Penelitian	19
3.6. Analisis Data	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	20
4.2. Pembahasan Umum.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	36
5.2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	40

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Hal
Tabel 1.	Karakteristik Bahan Organik.....	13
Tabel 2.	Hasil Analisis Kalium Humat (Suntari <i>et al.</i> , 2013).....	18
Tabel 3.	Hasil Analisis Dasar Andisols Coban Rondo, Pujon.....	21
Tabel 4.	Kondisi pH Tanah dan Δ pH Tanah Setelah Perlakuan dan Inkubasi.....	24



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Hal
Gambar 1.	Kerangka Penelitian.....	3
Gambar 2.	Siklus Fosfor di Alam.....	6
Gambar 3.	Struktur Asam Humat Menurut Stevenson, (1994).....	11
Gambar 4.	Pengaruh Asam Humat terhadap P tersedia Tanah.....	25
Gambar 5.	Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Kalium Tanah.....	27
Gambar 6.	Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Natrium Tanah.....	28
Gambar 7.	Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Kalsium Tanah.....	29
Gambar 8.	Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Magnesium Tanah.....	31
Gambar 9.	Pengaruh Asam Humat terhadap Persentase Kejenuhan Basa Tanah.....	32
Gambar 10.	Pengaruh Asam Humat terhadap KTK Tanah.....	33



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Hal
1.	Kebutuhan Dosis Pupuk SP36	40
2.	Kebutuhan Dosis Asam Humat	40
3.	Perhitungan Kadar Air	40
4.	Tabel Analisis Sidik Ragam pH H ₂ O	42
5.	Tabel Analisis Sidik Ragam P tersedia	42
6.	Tabel Analisis Sidik Ragam K	43
7.	Tabel Analisis Sidik Ragam Na	43
8.	Tabel Analisis Sidik Ragam Ca	44
9.	Tabel Analisis Sidik Ragam Mg	44
10.	Tabel Analisis Sidik Ragam KTK	45
11.	Tabel Analisis Sidik Ragam KB	45
12.	Tabel Kriteria Kesuburan Tanah	46
13.	Tabel Hasil Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) Taraf 5%	47
14.	Tabel Jadwal Kegiatan Selama Penelitian	48
15.	Dokumentasi Penelitian	49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan fosfor yang sangat rendah pada Andisol merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan dan produksi tanaman, sehingga perlu upaya untuk meningkatkan P tersedia. Tanah pada Andisol terjadi penjerapan fosfor yang disebabkan oleh kandungan fraksi liat yang didominasi alofan sehingga membentuk alofan fosfat. Andisol banyak dirajai oleh mineral amorf seperti alofan, imogolit, ferihidrit dan oksida-oksida hidrat Al dan Fe (Munir, 1996). Tan (1991) menambahkan bahwa alofan memiliki gugus Al-OH terbuka (aluminium aktif) yang mampu menghasilkan ikatan kuat terhadap ion fosfat. Pemberian pupuk fosfat pada tanah sangat tidak efisien akibat penjerapan oleh alofan. Ion fosfat yang sebelumnya dalam bentuk tersedia bagi tanaman menjadi tidak tersedia karena terikat oleh kompleks jerapan pada permukaan mineral liat alofan. Hasil penelitian Wijanarko dan Hanudin (2010) menunjukkan bahwa kemampuan menjerap fosfor tertinggi ialah Andisols sebesar $384,62 \text{ mg kg}^{-1}$.

Salah satu usaha untuk mengurangi penjerapan fosfor pada Andisol ialah dengan memanfaatkan gugus asam humat yang dapat membentuk ikatan kelasi (*chelate*) dengan gugus alofan. Satu karakteristik yang paling khusus dari bahan humat ialah memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan ion logam, oksida, hidroksida, mineral, dan bahan organik, termasuk pencemar beracun dalam tanah (Huang dan Schnitzer, 1997). Oleh karena itu, fosfor yang dijerap oleh logam dan penjerap fosfor lainnya dapat di bebaskan dan menjadi tersedia bagi tanaman. Disamping itu, asam humat dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman melalui disagregasi liat, memungkinkan penetrasi air, transfer hara dan kemampuan memegang air, serta dapat merangsang populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah (Bio Ag Technologies Internasional, 1999).

Humus bersifat stabil dan tahan terhadap proses bio-degradasi, terdiri atas fraksi asam humat, asam fulfat dan humin. Ketiga jenis asam ini memiliki peran penting dalam pengikatan aluminium dan besi sehingga fosfor menjadi tersedia. Hasil dekomposisi bahan organik berupa asam-asam organik ini mempunyai kemampuan yang besar untuk mengikat kation melalui ikatan kelasi serta mampu

menyelimuti koloid bermuatan positif dan mampu mendesak fosfor yang telah berada pada kompleks jerapan (Tan, 1991) sehingga ketersediaan fosfor bagi tanaman meningkat.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh asam humat terhadap fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols.
2. Untuk mengetahui dosis asam humat yang tepat dalam peningkatan unsur fosfor tersedia tanah dan beberapa sifat kimia Andisols
3. Untuk mengetahui kombinasi aplikasi yang tepat untuk meningkatkan fosfor tersedia tanah pada Andisols dan beberapa sifat kimia Andisols

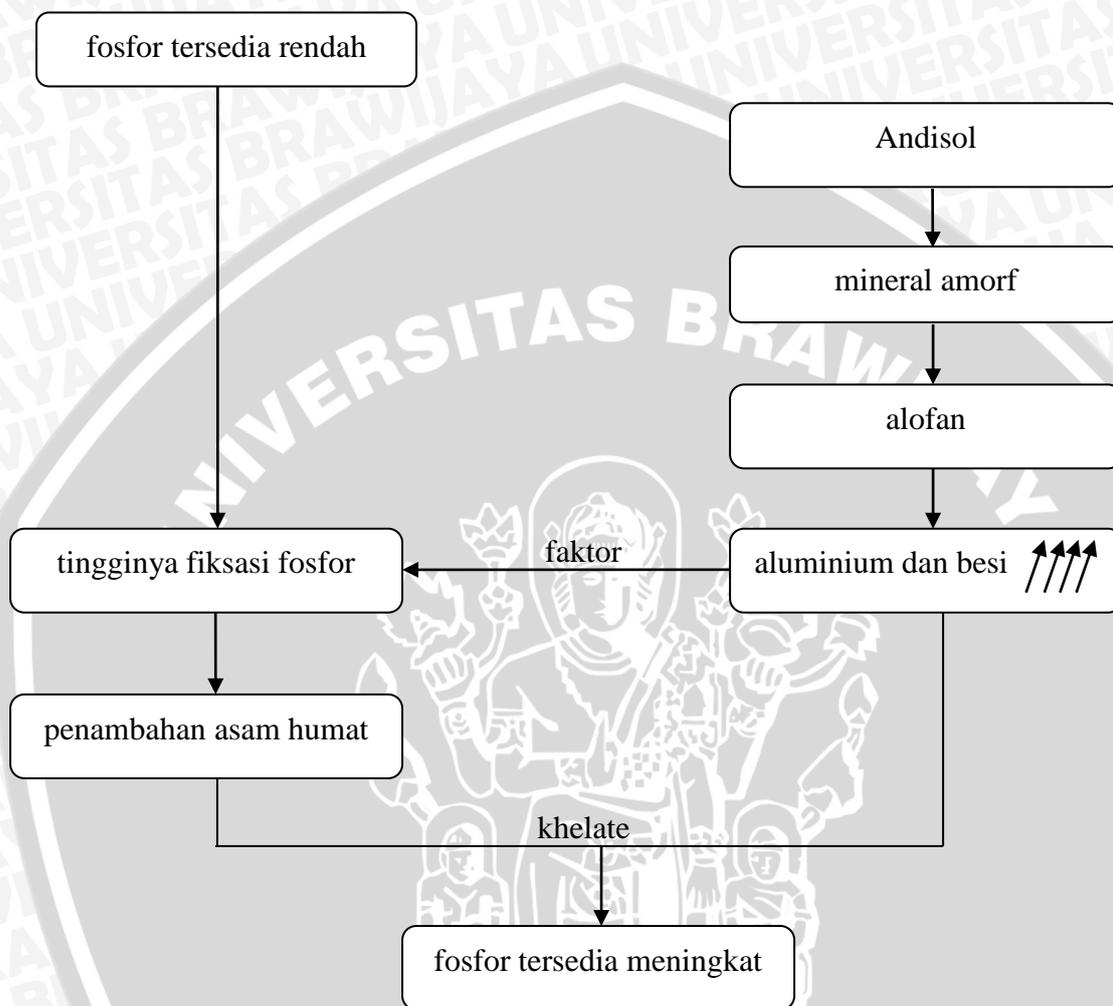
1.3. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan keistimewaan, dosis dan kombinasi yang tepat dari asam humat dalam meningkatkan fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols, sehingga penelitian dapat dijadikan sebagai dasar pemilihan jenis pembenah tanah serta dasar untuk aplikasi dosis dan kombinasi yang tepat untuk ruang lingkup pertanian terutama Andisols.

1.4. Hipotesis

1. Pemberian asam humat dapat meningkatkan fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols
2. Peningkatan dosis asam humat dapat meningkatkan fosfor tersedia dan beberapa sifat kimia Andisols
3. Kombinasi asam humat dan pupuk SP36 memiliki hasil yang lebih baik terhadap peningkatan fosfor tersedia tanah dan beberapa sifat kimia Andisols dibandingkan dengan penggunaan asam humat saja ataupun pupuk SP36 saja.

ALUR PIKIR PENELITIAN



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi Andisols

Perkembangan Andisols ialah berasal dari bahan vulkanik seperti abu vulkan, lahar vulkan, batu apung dan juga lava. Jenis tanah dengan warna yang hitam dan sangat porous dengan berat isi kurang dari $0,85 \text{ g cm}^{-3}$, mengandung bahan organik antara 2-8%. Andisols juga termasuk tanah dengan sifat kemampuan menyerap dan menyimpan air yang tidak kembali seperti semula bila mengalami kekeringan (*irreversible*), yang disebabkan oleh koloid amorf seperti abu vulkan dan bahan organik yang mempunyai daya jerap air yang tinggi jika mengalami kekeringan. Adanya kandungan mineral amorf seperti alofan menyebabkan Andisols termasuk dalam salah satu jenis tanah dengan sifat yang penting ialah sifat penjerapan ion fosfat yang sangat tinggi (Rachim dan Suwandi, 1999). Andisols mempunyai kapasitas jerapan fosfat diatas 85% dari total fosfat yang diaplikasikan pada tanah (Sanchez, 1992). Hasil penelitian Wijanarko dan Hanudin (2010) menunjukkan bahwa Andisol memiliki tingkat jerapan fosfor tertinggi sebesar $384,62 \text{ mg kg}^{-1}$ bila dibandingkan dengan Ultisol, Alfisol, dan Vertisol dengan nilai masing-masing sebesar $344,83 \text{ mg kg}^{-1}$, $333,33 \text{ mg kg}^{-1}$, dan $312,50 \text{ mg kg}^{-1}$. Tan (1991) menjelaskan bahwa jerapan fosfat yang sangat tinggi pada Andisol terjadi karena Andisols banyak mengandung fraksi liat yang didominasi oleh alofan yang mempunyai daya menjerap fosfor yang lebih besar daripada bentuk oksida kristalin. Sanchez (1992) menambahkan bahwa kemampuan jerapan fosfor diurutkan dari yang terbesar sampai yang terkecil berdasarkan jenis mineral liat secara berurutan ialah mineral liat alofan > mineral liat kristalin > mineral liat tipe 1:1 > mineral liat tipe 2:1.

Tan (1991) mengemukakan bahwa tingginya jerapan fosfat pada alofan disebabkan oleh adanya gugus Al-OH terbuka (aluminium aktif). Adanya gugus Al-OH yang terbuka akan menghasilkan ikatan yang kuat terhadap ion fosfat (Munir, 1996 dan Tan, 1991). Ion fosfat akan bereaksi dengan aluminium oktahedral dengan menggantikan gugus OH⁻ yang terletak pada permukaan mineral. Ditambahkan juga bahwa alofan mempunyai muatan yang tetap tergantung pada pH tanah. Pada pH tinggi, alofan mempunyai muatan negatif

sedangkan pada pH rendah alofan mempunyai muatan positif. Adanya muatan positif ini menyebabkan alofan mampu menjerap anion fosfat (Tan, 1991) melalui reaksi sebagai berikut:



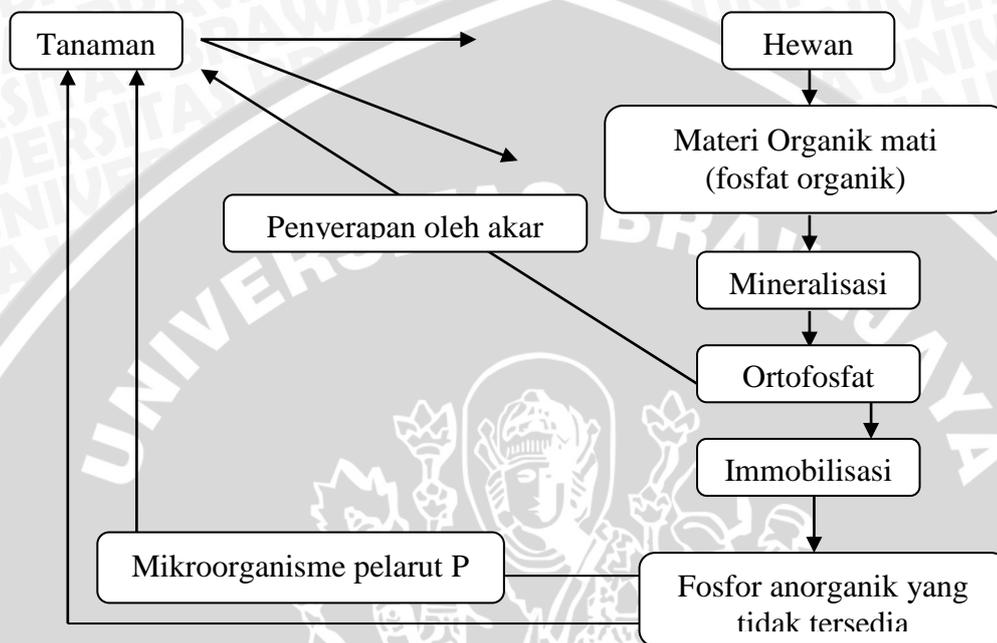
Alofan mampu mengikat anion organik maupun anorganik sehingga pada tanah abu vulkanik, bahan organiknya sering dijumpai berikatan dengan alofan membentuk alofan – humus kompleks yang stabil dan resisten terhadap perombakan biologi. Alofan ialah substansi amfoterik yang dengan bahan organik dapat membentuk kompleks ikatan dengan pH mendekati 6, bahwa ketersediaan fosfor pada Andisols sangat dibatasi oleh reaksi-reaksi seperti fiksasi fosfor yang mengkonversi fosfor dari bentuk tersedia menjadi bentuk tidak tersedia bagi tanaman. Hal ini tidak menguntungkan bila Andisol digunakan sebagai medium untuk tumbuh dan berkembangnya suatu tanaman (Hardjowigeno, 1995).

2.2. Siklus P pada Tanah

Wilayah tropika memiliki tanah-tanah yang bereaksi masam yang ditandai dengan fiksasi fosfor. Bentuk-bentuk fosfat yang diberikan dalam tanah jumlahnya sangat sedikit tersedia bagi tanaman, diperkirakan hanya 25% fosfat yang diberikan dalam bentuk super fosfat yang dapat diserap tanaman dan 75% bagian yang lainnya diikat tanah (Sutanto, 2008)

Bentuk-bentuk fosfor di dalam tanah dapat dibedakan menjadi dua bentuk, yaitu fosfor dalam bentuk organik dan fosfor dalam bentuk anorganik. Fosfor organik ialah fosfor yang berasal dari hewan dan tumbuhan yang mati, kemudian diuraikan oleh mikroorganisme menjadi fosfor anorganik. Bentuk fosfor anorganik ialah fosfor yang mengendap di sedimen laut akibat terkikis dari larutan tanah, oleh karena itu jumlah fosfor banyak terdapat di batu karang dan fosil. Fosfor anorganik yang terdapat di batu ini kemudian diserap kembali oleh tanaman dan siklus ini berulang secara terus-menerus, seperti pada Gambar 1 (Subba-Rao, 1994). Siklus fosfor dalam tanah cukup dinamis, meliputi proses serapan fosfor tanaman, hanyut terbawa limpasan permukaan dan erosi,

pengembalian melalui residu tanaman dan hewan, pemupukan, pengembalian melalui mineralisasi fosfor-organik, reaksi pengikatan pada permukaan liat dan oksida aluminium dan besi serta pelarutan mineral fosfor oleh aktivitas mikroorganisme (Buresh *et al.*, 1997).



Gambar 2. Siklus Fosfor di alam

2.3. Bentuk dan Ketersediaan Fosfor dalam Tanah dan Tanaman

2.3.1. Bentuk Fosfor dalam Tanah

Menurut Havlin *et al.* (1999) bentuk fosfor dalam tanah digolongkan menjadi dua yaitu fosfor organik dan fosfor anorganik. Kedua bentuk fosfor ini merupakan sumber fosfor yang penting bagi tanaman. Ketersediaan fosfor anorganik sangat dipengaruhi oleh faktor, seperti pH tanah; bentuk besi, aluminium, dan mangan larut; adanya mineral yang mengandung besi, aluminium, dan mangan; tersedianya kalsium; jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik, serta kegiatan mikroorganisme. Fosfor anorganik dalam bentuk senyawa dengan kalsium atau senyawa-senyawa dengan aluminium dan besi. Bentuk dari fosfor anorganik ialah senyawa Al-P (varisit), senyawa Fe-P (Strengit), senyawa Ca-P,

fluor apatit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), dikalsium fosfat (CaHPO_4), dan dikalsium fosfat dihidrat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Dari beberapa bentuk P-anorganik tersebut, yang ditemukan pada tanah masam ialah bentuk senyawa Al-P dan Fe-P. Sumber dari fosfor anorganik ialah mineral primer terutama apatit. Mineral primer fosfor menurun dalam tanah seiring dengan meningkatnya kelembaban tanah. Fosfor anorganik dalam tanah hilang karena 1) diserap tanaman; 2) digunakan oleh mikroorganisme tanah dan di ubah menjadi fosfor organik; dan 3) dijerap oleh mineral liat. Kandungan fosfor anorganik umumnya sekitar 50 % dari total fosfor pada tanah mineral (Hardjowigeno, 1995). Sedangkan bentuk fosfor tersedia dalam tanah ialah anion-anion H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} yang larut dalam larutan tanah. Sutanto (2008) menambahkan bahwa pada tanah tropika hanya 25% aplikasi fosfat dalam bentuk superfosfat yang dapat diserap oleh tanaman dan sisanya yaitu sekitar 75% diikat tanah. Bentuk fosfor organik ialah berasal dari sisa tanaman, hewan, dan mikroorganisme, dimana bentuk fosfor organik ini terdapat sebagai senyawa ester dari asam ortofosfat, yaitu inositol fosfolipida, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat (Havlin, *et al.*, 1999). Havlin *et al.* (1999) menambahkan ketersediaan fosfor dalam bentuk ini sangat tergantung pada aktivitas mikroorganisme dan memineralisasikannya. Hasil mineralisasi ini seringkali mempercepat perubahan bentuk fosfor karena mineralisasi fosfor langsung berikatan dengan bagian-bagian anorganik yang ada dalam tanah.

Faktor yang mempengaruhi tersedianya fosfor tanah untuk tanaman ialah pH tanah. Unsur P paling mudah diserap oleh tanaman pada pH sekitar netral (pH 6-7). Setijono (1996) mengemukakan bahwa fosfor dalam larutan tanah dapat diserap oleh akar tanaman, dapat diimobilisasi oleh mikroorganisme dan dapat difiksasi oleh berbagai fraksi aluminium dan fraksi besi dalam tanah termasuk oleh kalsium. Adanya asam organik yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme mampu meningkatkan fosfor tersedia dalam tanah melalui mekanisme seperti anion organik bersaing dengan dengan ortofosfat pada permukaan tapak jerapan koloid yang bermuatan positif, pelepasan ortofosfat dari ikatan logam P melalui pembentukan kompleks logam organik, dan modifikasi muatan tapak jerapan oleh ligan organik (Havlin *et al.*, 1999).

2.3.2. Ketersediaan Fosfor dalam Tanah Bagi Tanaman

Ketersediaan fosfor bagi tanaman ditentukan oleh jumlah fosfor dalam larutan tanah. Masalah utama dalam pengambilan fosfor dari tanah oleh tanaman ialah kelarutan yang rendah dari sebagian besar campuran dan konsentrasi fosfor yang dihasilkan sangat rendah dalam lapisan tanah pada setiap waktu tertentu (Darusman, 1989; Foth, 1991). Fosfor diserap tanaman dalam bentuk H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} tergantung pH tanah. Fosfor sebagian besar berasal dari pelapukan batuan mineral alami, sisanya berasal dari pelapukan bahan organik. Walaupun sumber fosfor dalam tanah mineral cukup banyak, tanaman masih bisa mengalami kekurangan fosfor karena sebagian besar fosfor terikat secara kimia oleh unsur lain sehingga menjadi senyawa yang sukar larut dalam air (Novizan, 2002)

Hardjowigeno (1995) menerangkan ketersediaan fosfor bagi tanaman dikelompokkan dalam 3 golongan, yaitu:

1. Fosfor yang berada dalam larutan tanah dan bentuk ini segera tersedia bagi tanaman
2. Fosfor yang terjerap pada permukaan liat, hidroksida atau yang terikat dalam bahan organik tanah dan ini merupakan bentuk yang paling lambat tersedia
3. Senyawa fosfor yang terikat kuat dan terselimuti oleh material anorganik lainnya, golongan yang tidak tersedia bagi tanaman (Hardjowigeno, 1995).

Ketersediaan unsur fosfor yang rendah menjadi salah satu masalah yang terjadi pada Andisols, karena Andisols mengandung mineral liat tipe amorf terutama alofan yang mempunyai ciri muatan permukaan tergantung pH dan berkemampuan untuk menjerap anion terutama fosfor (Munir, 1996). Kemampuannya menjerap fosfor tinggi atau sangat tinggi akibat adanya gugus aluminosilikat amorf dan kompleks Al-Fe humus, sehingga dapat menyebabkan fosfor terjerap tinggi. Berkurangnya jerapan fosfor dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Penambahan bahan organik yang akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah aerob dan akan menghasilkan banyak OH^- sebagai perbaikan pH sehingga mempunyai muatan pada kompleks pertukaran. Pada Andisols peningkatan pH akan merubah muatan pada kompleks pertukaran

alofan menjadi negatif sehingga ion fosfat yang bermuatan negatif tidak terjerap dan dapat tersedia bagi tanaman (Hardjowigeno, 1995).

2. Dekomposisi bahan organik akan menghasilkan anion-anion organik. Adanya anion-anion organik tersebut akan bersaing dengan anion-anion fosfat dalam menutupi kompleks jerapan, sehingga kompleks jerapan tidak lagi mengikat unsur fosfor tetapi akan mengikat anion-anion organik (Stevenson, 1994).
3. Bahan organik yang terdekomposisi akan menghasilkan asam-asam organik, adanya asam-asam ini dapat melepaskan fosfor terjerap. Mekanisme yang terjadi melalui pembentukan senyawa kelat dengan aluminium dan besi sehingga ion fosfat yang semula terjerap menjadi terlepas (Stevenson, 1994) melalui reaksi:



Hardjowigeno (1995) menambahkan bahwa kemampuan tanah dalam menyediakan fosfor tergantung dari beberapa faktor berikut ini:

1. Jumlah ion $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ dalam larutan tanah
2. Kelarutan Al-P dan Fe-P kompleks mineral liat hidrous oksida dan alofan pada tanah-tanah masam
3. Kelarutan Ca-P dan mineral tanah pada tanah-tanah alkalis
4. Kecepatan dekomposisi bahan organik
5. Adanya pengaruh aktivitas mikroorganisme

Peningkatan fosfor dalam tanah ini, dapat terjadi juga karena 1) bahan organik yang diberikan mengalami proses mineralisasi dengan melepaskan fosfor anorganik; 2) proses mineralisasi bahan organik oleh mikroorganisme tanah akan menghasilkan enzim fosfatase yang dapat menguraikan fosfor dari bahan organik, dan 3) bahan organik yang dirombak oleh mikroorganisme tanah akan menghasilkan fosfat organik (Stevenson, 1994). Ditambahkan bahwa penurunan kelarutan ion logam dipengaruhi oleh adanya asam-asam organik dengan jalan membentuk kompleks organik atau khelat. Proses pembentukan kompleks tersebut, terutama dengan kation-kation penjerap fosfor dalam tanah, akan dapat

menurunkan jerapan fosfor dalam tanah. Reaksi mekanisme pengikatan tersebut, secara umum dituliskan sebagai berikut:



2.4. Mekanisme Fiksasi P pada Andisol

Tisdale *et al.* (1990) menyatakan bahwa pada dasarnya Andisols memiliki kemampuan berinteraksi secara cepat dengan sejumlah besar anion fosfat terutama pada kondisi masam. Sebagai akibatnya, ketersediaan fosfor bagi tanaman rendah karena pemberian P-terlarut begitu cepat menurun dan kurang lebih hanya 10-13 % fosfor yang bisa dimanfaatkan untuk tanaman.

Selanjutnya dijelaskan oleh Tan (1998), jerapan fosfor sangat dipengaruhi oleh pH-tanah, selanjutnya bentuk ion ditentukan oleh pH-larutan di tempat ion itu terdapat. Perlu diingat bahwa pada pH 6 ada dua macam ion fosfat terdapat bersamaan yaitu H_2PO_4^- dan HPO_4^- . Pada umumnya H_2PO_4^- dianggap lebih mudah tersedia bagi tanaman dibandingkan dengan $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$. Reaksi kimia dapat terjadi antara besi dan aluminium yang dapat larut dengan H_2PO_4^- mungkin menghasilkan pembentukan yang disebut hidroksi fosfat seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini dengan menggunakan kation aluminium sebagai contoh:



Tan (1998) menyatakan bahwa pendekatan terhadap struktur alofan dan imogilit mampu menjelaskan kemampuan alofan dalam menjerap anion fosfat dimana gugus $-\text{OH}_2$ dan $-\text{OH}$ berikatan dengan 1 Al dan 1 Si dan ini dapat dianggap sebagai asam-basa aktif. Bila 1 OH dan 1 OH_2 ada bersamaan maka pada kompleks tersebut tidak mempunyai muatan. Selanjutnya dijelaskan oleh Tan (1998), bahwa bila kedua bentuk tersebut ialah $-\text{OH}$ maka kompleks akan mempunyai muatan negatif. Jika kedua bentuk ialah $-\text{OH}_2$ maka akan bermuatan positif sehingga mempunyai kemampuan untuk menjerap anion fosfat melalui reaksi sebagai berikut:



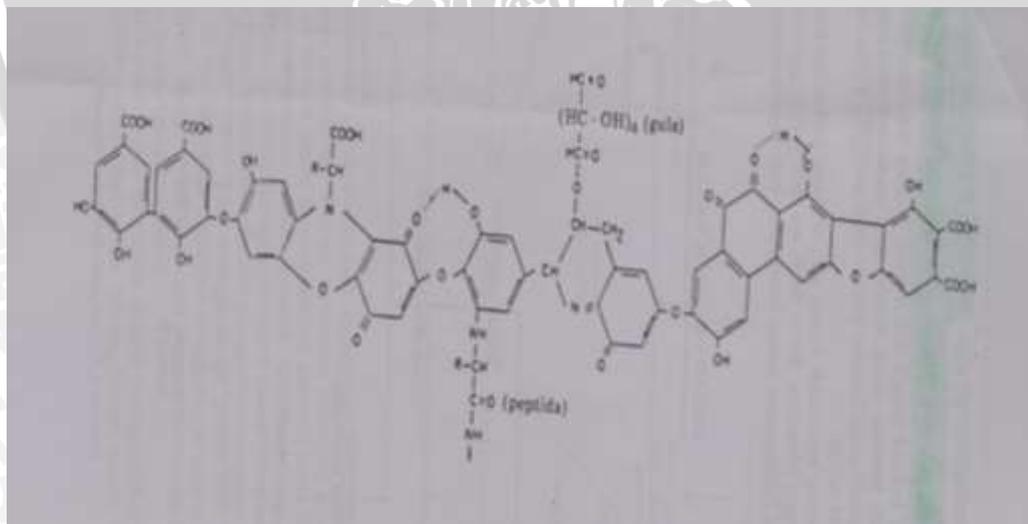
repository.ub.ac.id

Dalam kebanyakan tanah sangat masam konsentrasi ion-ion besi dan aluminium jauh melampaui konsentrasi H_2PO_4^- sehingga reaksi bergerak ke kanan.

2.5. Karakteristik Asam Humat

Satu karakteristik yang paling khusus dari bahan humat ialah kemampuannya untuk berinteraksi dengan ion logam, oksida hidroksida, mineral, dan bahan organik, termasuk pencemar beracun (Huang dan Schnitzer, 1997). Oleh karena itu, fosfor yang dijerap oleh logam dan penjerap fosfor lainnya dapat dibebaskan dan menjadi tersedia bagi tanaman. Disamping itu, asam humat dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman melalui disagregasi liat, memungkinkan penetrasi air, transfer hara dan kemampuan memegang air, serta dapat merangsang populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah (Bio Ag Technologies Internasional, 1999).

Asam humat dengan luas permukaan yang besar dan muatan listrik internal yang dimilikinya dapat menyerap dan menahan air tujuh kali lebih besar dibanding tanah liat. Asam humat bersama dengan liat tanah bertanggung jawab atas sejumlah aktivitas kimia dalam tanah. Secara hipotetik struktur asam humat diilustrasikan oleh Stevenson (1994) pada Gambar 2 berikut:



Gambar 3. Struktur Asam humat menurut Stevenson (1994)

Sifat kimia asam humat yang penting dan berhubungan dengan kemampuannya memperbaiki sifat fisik, kimia maupun biologi tanah ialah: 1) fraksi humat mengandung berbagai jenis gugus fungsional dengan reaktifitas yang tetap tinggi pada selang pH tanah yang lebar, 2) fraksi humat mempunyai muatan negatif yang berasal dari disosiasi ion H^+ dari berbagai gugus fungsional, yang menyebabkan fraksi humat mempunyai kapasitas tukar kation sangat tinggi. Dengan demikian fraksi humat mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam mengikat, menjerap dan mempertukarkan kation, serta membentuk senyawa kompleks dengan logam berat dan liat, 3) fraksi humat mempunyai kemampuan untuk mengubah konfirmasi struktur sebagai respon terhadap perubahan pH, konsentrasi garam, dan 4) fraksi humat dapat menyediakan unsur hara seperti natrium, fosfor, kalium dan sulfur ke dalam tanah serta karbon sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah.

Asam humat merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti $-COOH$, $-OH$ fenolat maupun $-OH$ alkoholat sehingga asam humat memiliki peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi pada pH yang relatif tinggi (Alimin *et al.*, 2005). Asam humat mempunyai komposisi karbon (50-60%), oksigen (30-35%), hidrogen (4-6%), nitrogen (2-6%), sulfur (0-2%) (Stevenson, 1994). Asam humat mengandung gugus fungsional yang terdiri dari 16-24% quinon, 7-17% fenolik dan 34-50% karboksil, 9-20% OH alkoholik dan OH fenolik dari total oksigennya (Suharta, 1980 *dalam* Palupi; 2004).

Masgudi, 2004 (*dalam* Sukmawati, 2011b) menyatakan bahwa asam humat menyebabkan tanah bermuatan positif akibat masuknya ion H^+ pada lapis oktahedral $Al(OH)_3$ dan membentuk ikatan hidrogen sehingga permukaan partikel alofan menjadi bermuatan negatif. Hasil penelitian Sukmawati (2011b) menunjukkan bahwa alofan yang merupakan mineral amorf Andisols dapat mengalami peningkatan pH setelah bereaksi dengan asam humat maupun asam silikat. Menurut Tan (1991) bahan humat mengandung sejumlah ragam gugus hidroksil, yaitu:

1. Hidroksil total ialah gugus OH yang berkaitan dengan semua gugus fungsional seperti fenol, alkohol, enol, dan hidroquinon.

2. Gugus OH fenolik ialah OH yang terikat pada lingkaran benzena
3. Gugus OH alkoholik ialah OH yang berkaitan dengan gugus alkoholik

Pada pH 5,5-9 asam humat membentuk sistem koloid polielektrolit linear yang bersifat fleksibel, sedangkan pada pH rendah asam humat berbentuk kaku dan cenderung teragregasi membentuk suatu padatan makromolekul melalui ikatan hidrogen. Dengan meningkatkan pH akan menyebabkan ikatan hidrogen semakin lemah sehingga agregat akan terpisah satu sama lain. Keadaan tersebut dipengaruhi oleh disosiasi gugus fungsional yang bersifat asam pada asam humat seperti $-\text{COOH}$. Pada pH semakin tinggi akan meningkatkan konsentrasi COO^- atau CO^- yang berfungsi sebagai ligan pada asam humat (Alimin *et al.*, 2005). Ayuso *et al.*, 1996 (dalam Suntari *et al.*, 2013) menerangkan karakteristik beberapa bahan organik seperti kompos, kotoran domba, lumpur selokan dan asam humat komersial dibandingkan dengan Leonardite secara rinci dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Bahan Organik

	Swwage Sludge	Compost	Sheep manure	Leonardite	Commercial HA	LSD (P<0,05)
pH	6.5	7.5	7.5	3.2	12.9	0.6
EC (dS m ⁻¹)	3.47	3.01	6.60	2.75	56.5	0.22
Ash (g kg ⁻¹)	279.5	668.0	327.5	3621.0	410.4	42.1
TOC (g kg ⁻¹)	364.4	122.5	260.7	347.4	152.2	31.2
Extractable C (g kg ⁻¹)	75.7	19.1	31.4	190.5	ND	8.5
Extractable C 100/ TOC	20.77	15.59	11.72	54.83	-	6.8
Humic C (g kg ⁻¹)	16.6	6.00	7.6	175.4	133.0	2.1
Fulvic C (g kg ⁻¹)	59.1	13.1	23.8	15.1	18.2	3.8
Humic C 100/ extractable C	21.92	31.41	24.20	92.07	87.96	6.5
Water Soluble C (g kg ⁻¹)	30.3	1.0	10.8	ND	ND	2.7
Total N (g kg ⁻¹)	50.5	13.2	18.6	5.6	5.6	1.1
Available N (g kg ⁻¹)	2.50	0.70	1.40	0.20	0.05	0.22
Total P (g kg ⁻¹)	8.1	9.1	1.9	0.2	0.6	0.8
Available P (g kg ⁻¹)	2.08	0.60	0.48	0.02	0.60	0.18
Total K (g kg ⁻¹)	2.8	5.5	32.5	3.0	123.0	1.2
Available K (g kg ⁻¹)	1.8	4.0	17.3	0.2	123.0	0.9
Water Soluble C/N	0.60	0.07	1.72			
Fe (mg kg ⁻¹)	4061	11565	2319	14544	271	193
Mn (mg kg ⁻¹)	70	404	108	34	981	25
Cu (mg kg ⁻¹)	151	184	14	22	271	31
Zn (mg kg ⁻¹)	4151	535	94	40	521	29
Cr (mg kg ⁻¹)	38	261	16	25	ND	6
Ni (mg kg ⁻¹)	22	221	37	19	ND	10
Pb (mg kg ⁻¹)	18	198	18	26	2	9
Cd (mg kg ⁻¹)	2	ND	ND	ND	ND	-

Keterangan: ND = not detected; TOC: total organic carbon; Swwage Sludge = bahan organik berbasah dasar gambut; compost = bahan organik berasal dari kompos; sleep manure = bahan organik dari kotoran hewan; lenardite = bahan organik dari batubara; commercial HA = bahan organik komersial; LSD (Less Significant Different)

Tabel 1. Menunjukkan bahwa *Leonardite* mengandung fosfor tersedia 0,02 g kg⁻¹ (20 mg kg⁻¹) dan kalium tanah sebesar 0,2 g kg⁻¹ serta kandungan unsur mikro seperti besi, Mn, Cu, seng, Cr, nikel, dan timbal.

Penelitian Ayuso *et al.*, 1996 (dalam Suntari *et al.*, 2013) menerangkan tentang beberapa senyawa humat seperti gambut, asam humat komersial dan *Leonardite* dengan analisis spektroskopi inframerah menunjukkan spektrum yang sama, terutama pada senyawa aromatik dengan pita ulur (1620-1575 cm⁻¹), gugus karboksilat (1400-1380 cm⁻¹ dan 1270-1230 cm⁻¹). Ditambahkan Suntari (2013) menyatakan bahwa asam humat KH26 mempunyai pita ulur pada bilangan selang 1370,44 cm⁻¹ dan 1631,67 cm⁻¹.

2.6. Manfaat dan Pengaruh Asam Humat

Senyawa humat berfungsi sebagai bahan pembenah tanah yang terlibat dalam reaksi kompleks dan dapat mempengaruhi kesuburan tanah dengan mengubah kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Seperti yang dijelaskan Tan (1991) sebagai berikut:

- a. Pengaruh asam humat pada sifat fisik tanah ialah:
 1. Senyawa humat mempunyai kemampuan absorpsi air sekitar 80-90%, sehingga pergerakan air secara vertikal (infiltrasi) semakin meningkat dibandingkan secara horizontal. Hal ini berguna untuk mengurangi erosi pada tanah. Selain itu juga meningkatkan kemampuan menahan air.
 2. Senyawa humat berfungsi sebagai granulator atau memperbaiki struktur tanah. Hal ini terjadi karena tanah mudah sekali membentuk kompleks dengan senyawa humat dan terjadi karena meningkatkan populasi mikroorganisme tanah, seperti jamur, cendawan, dan bakteri. Senyawa humat digunakan mikroorganisme tanah sebagai penyusun tubuh dan sumber energinya. Cendawan mampu menyatukan butir-butir tanah menjadi agregat, bakteri berfungsi sebagai semen yang menyatukan agregat, sementara jamur dapat meningkatkan sifat fisik dari butir-butir tanah. Hasilnya ialah tanah yang lebih gembur, berstruktur remah dan relatif lebih ringan.

3. Meningkatkan aerasi tanah akibat dari bertambahnya pori tanah (porositas) akibat pembentukan agregat. Udara yang mengandung pori tanah tersebut umumnya didominasi oleh gas-gas oksigen, nitrogen, dan karbon dioksida. Hal ini penting bagi pernafasan (respirasi) mikroorganisme tanah dan akar tanaman.
- b. Pengaruh asam humat pada sifat kimia tanah ialah:
1. Senyawa humat mampu mengikat logam berat (membentuk senyawa *chelate*) kemudian mengendapkannya sehingga mengurangi keracunan tanah.
 2. Meningkatkan pH tanah akibat penggunaan pupuk kimia yang terus-menerus, terutama tanah yang banyak mengandung aluminium, karena senyawa humat mengikat aluminium sebagai senyawa kompleks yang sulit larut air (*insoluble*) sehingga tidak dapat terhidrolisis.
 3. Ikatan kompleks yang terjadi antara senyawa humat dengan besi dan aluminium merupakanantisipasi terhadap ikatan yang terjadi antara unsur fosfor dengan aluminium dan besi, sehingga unsur fosfor dapat terserap secara optimal oleh tanaman.
 4. Meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Peningkatan ini dapat menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur-unsur hara atau nutrisi. Senyawa humat membentuk kompleks dengan unsur mikro sehingga melindungi unsur tersebut dari pencucian oleh air hujan. Unsur nitrogen, fosfor, dan kalium diikat dalam bentuk organik atau dalam tubuh mikroorganisme sehingga dapat dipertahankan dan sewaktu-waktu dapat diserap tanaman, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kimia.
- c. Pengaruh asam humat terhadap sifat biologi tanah ialah:
1. Perbaikan sifat kimia dan sifat fisik tanah menciptakan situasi yang kondusif untuk menstimulasi perkembangan mikroorganisme tanah.
 2. Aktivitas mikroorganisme tanah akan menghasilkan hormon-hormon pertumbuhan seperti auxin, sitokinin, giberallin. Asam humat dapat berfungsi memperbaiki pertumbuhan tanaman secara langsung dengan

meningkatkan permeabilitas sel atau melalui kegiatan hormon pertumbuhan tanaman (Tan, 1991).

Karti dan Setiadi (2011) menambahkan bahwa asam humat dapat meningkatkan kandungan kalsium, magnesium, kalium, natrium, kapasitas tukar kation dan penurunan kandungan P_2O_5 , Al^{3+} , Fe, Mn, Cu, dan Al-P. Ditambahkan juga oleh Supriyo (2012) bahwa asam humat dapat mengkelat unsur hara dan meningkatkan kapasitas tukar kation, sehingga meningkatkan ketersediaan $H_2PO_4^-$, NH_4^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} , serta unsur mikro (Zn^{2+} , Fe^{2+} , B) yang mudah diserap akar. Ditambahkan Fajri *et al.* (2008) bahwa aplikasi asam humat dapat meningkatkan kandungan nitrogen, fosfor tersedia, kalium tersedia, dan magnesium. Cassman, 1995 (*dalam* Fajri *et al.*, 2008) menambahkan bahwa asam humat dapat menurunkan fiksasi kalium tanah sehingga meningkatkan ketersediaan kalium dalam tanah. Menurut Goenadi dan Avian (1990) asam humat sebagai zat yang dapat diekstrak dari tanah, sedimen liat, dan material humus lainnya dapat berfungsi sebagai bahan organik yang mengandung unsur nitrogen, asam humat dapat digunakan sebagai komponen nutrisi bagi mikroorganisme, dimana efek positif terhadap penyerapan ion, protein, dan sintesis asam nukleat, dan hormon sebagai kegiatan yang akan membuka cerminan aplikasi baru dalam jaringan tanaman.

Fajri *et al.* (2008) menjelaskan bahwa asam humat dengan dosis 2,5 g per pokok mampu meningkatkan ketersediaan hara (kalium, kalsium, magnesium, fosfor tersedia, kapasitas tukar kation, dan pH tanah pada pembibitan kelapa sawit. Sukmawati (2011b) menambahkan bahwa asam humat dan asam silikat dapat mengisi tapak jerapan fosfor, dan asam humat efektif menurunkan jerapan fosfor pada pH 6.

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu

Tempat percobaan dalam penelitian ini ialah Rumah Kaca dan Laboratorium Kimia Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian meliputi inkubasi dan analisis tanah yang dilakukan pada April 2014 sampai Juli 2014. Untuk jadwal kegiatan selama penelitian terdapat pada Lampiran 14.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat penelitian

Alat yang diperlukan ialah cangkul, sekop, plastik, timbangan, penghalus tanah, ayakan, dan polibag, serta seperangkat peralatan yang digunakan dalam analisis laboratorium di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ialah:

1. Tanah

Tanah yang digunakan untuk penelitian ialah Andisols yang diambil dari daerah Coban Rondo, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. Contoh tanah diambil secara komposit pada kedalaman 0-20 cm.

2. Asam humat

Asam humat berupa larutan kalium humat KH26 yang merupakan formula yang didapat dari endapan *Leonardite* dari *Victoria's gippland Australia*. Untuk kandungan dari asam humat yang digunakan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Kalium Humat

No	Macam Analisis	Nilai*
1	pH	10,10
2	C-Organik, %	2,88 Rendah
3	Bahan Organik, %	4,98
4	N-total, %	0,22 Rendah
5	C/N	13,00
6	P, mg kg ⁻¹	64,00 Rendah
7	K, %	0,69 Sedang
8	Na, %	0,39 Sedang
9	Ca, %	0,79 Sedang
10	Mg, %	0,06 sangat rendah
11	Fe, mg kg ⁻¹	5,00 sangat rendah
12	Cu, mg kg ⁻¹	6,25 sangat rendah
13	Zn, mg kg ⁻¹	5,25 sangat rendah
14	Mn, mg kg ⁻¹	2750 Tinggi

Keterangan: */ kriteria berdasarkan (Rosmarkam dan Yuwono, 2006 dalam Suntari *et al.*, 2013)

3. Air Bebas Ion

Air bebas ion didapat dari air hasil destilasi di laboratorium kimia tanah. Air bebas ion digunakan untuk menyiram tanah pada saat proses inkubasi. Setiap kurang lebih 2 hari sekali dilakukan pengecekan untuk menjaga tanah agar sesuai dengan kadar air kapasitas lapang (KAKL) (Lampiran 2).

4. Larutan – larutan Kimia

Larutan kimia digunakan untuk analisis fosfor tersedia, pH, kation tanah (K, Na, Ca, Mg), serta kapasitas tukar kation tanah.

3.3. Metode Penelitian

Percobaan ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) sederhana, terdiri dari 5 perlakuan dan 3 ulangan, dimana:

D₀ : tanah tanpa asam humat (kontrol)

D₁ : tanah + asam humat 0,2%

D₂ : tanah + asam humat 0,4 %

D₃ : tanah + pupuk SP36 12,5 mg kg⁻¹

D₄ : tanah + asam humat 0,2% + pupuk SP36 12,5 mg kg⁻¹

Dalam hal ini penentuan dosis pupuk SP36 didasarkan pada pemberian dosis pupuk 100% pada tanaman jagung yaitu 175 kg ha⁻¹ (Koswara, 1982) (Lampiran 1). Untuk perhitungan dosis asam humat terdapat dalam Lampiran 2.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Analisis Dasar Andisols

Analisis dasar tanah dibutuhkan untuk mengetahui kandungan unsur hara dan sifat kimia serta sifat fisik pada Andisols.

3.4.2. Persiapan Tanah

Setelah mendapatkan nilai analisis dasar Andisols, langkah selanjutnya persiapan contoh tanah, dikeringudarkan kemudian dihaluskan dan diayak hingga lolos ayakan 2 mm, selanjutnya dimasukkan ke dalam polibag dengan bobot masing-masing polibag 1 kg tanah.

3.4.3. Inkubasi

Contoh tanah yang telah dimasukkan dalam polibag ditambahkan air bebas ion sesuai kadar air kapasitas lapang (KAKL) (Lampiran 3). Setelah itu tanah diberi asam humat (0,2 % dan 0,4 %), pupuk SP36, dan kombinasi asam humat 0,2 % + pupuk SP36. Sebagai kontrol juga digunakan polibag berisi 1 kg tanah tanpa aplikasi sesuai perlakuan. Masing-masing perlakuan diulang 3 kali, sehingga terdapat $5 \times 3 = 15$ polibag percobaan.

3.5. Pengamatan Penelitian

Pengamatan yang dilakukan selama percobaan ialah pengukuran fosfor tersedia (P Bray 1), pH H₂O & pH KCl (metode *glass elektrode*), kation-kation tanah serta KTK (Kapasitas Tukar Kation), dan KB (Kejenuhan Basa) (menggunakan metode NH₄ OAc pH 7). Pengukuran parameter percobaan dilaksanakan pada 2, 4, 6 minggu setelah inkubasi (MSI).

3.6. Analisis Data

Data pengamatan yang diperoleh dilakukan dengan uji analisis sidik ragam (anova) untuk mengetahui keragaman dan dilakukan juga uji untuk mengetahui pengaruh perlakuan (nyata, tidak nyata, dan sangat nyata) terhadap parameter pengamatan dan dilanjutkan dengan uji F taraf 5 % dan 1%. Untuk melihat perbedaan pengaruh antar perlakuan, dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5 %.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Analisis Dasar Andisols pada Coban Rondo Malang

Andisols ialah salah satu jenis tanah yang relatif subur tetapi memiliki keterbatasan yaitu fosfor tersedia yang rendah bagi tanaman. Data dari hasil analisis dasar (Tabel 3) menunjukkan bahwa kandungan unsur fosfor tersedia yaitu $1,61 \text{ mg kg}^{-1}$ termasuk dalam kriteria sangat rendah. Meskipun sumber fosfor dalam tanah mineral cukup banyak, tanaman masih bisa mengalami kekurangan fosfor karena sebagian besar fosfor terikat secara kimia oleh unsur lain sehingga menjadi senyawa yang sukar larut dalam air (Novizan, 2002). Kandungan fosfor tersedia ini dipengaruhi oleh pH pada tanah termasuk dalam pH yang masam yaitu 5,09. Darusman (1989); Sukmawati (2011a) dan Sukmawati (2011b) mengemukakan bahwa persentase fosfor yang dijerap oleh alofan dipengaruhi oleh pH. Hardjowigeno (1995) menambahkan bahwa alofan banyak ditemukan pada tanah yang berasal dari letusan gunung api seperti Andisols. Pada alofan Al-OH terbuka aktif sehingga menghasilkan ikatan yang kuat terhadap fosfor, pada pH yang lebih tinggi alofan akan bermuatan negatif sedangkan pada pH lebih rendah alofan akan bermuatan positif.

Nilai kation-kation dalam tanah ini masuk dalam kriteria rendah hingga sedang tetapi memiliki nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang sangat tinggi yaitu $50,958 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$ (Tabel 3). Hardjowigeno (1995) menerangkan bahwa alofan merupakan mineral liat silikat amorf yang mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi tetapi dapat menfiksasi fosfor dengan kuat. Kandungan kalium tanah ini rendah dengan nilai kalium ialah $0,265 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$, sementara nilai natrium, kalsium dan magnesium masuk dalam kriteria sedang dengan nilai masing-masingnya ialah $0,472 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$; $7,15 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$ dan $1,53 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$. Persentase kejenuhan basa pada tanah ini masuk dalam kriteria sangat rendah, hal ini dikarenakan bahwa kation-kation tanah seperti kalium, natrium, kalsium, dan magnesium memiliki kriteria sedang sementara nilai kapasitas tukar kation sangat tinggi $>50 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$. Hubungan antara kejenuhan basa dengan kapasitas tukar kation adalah berbanding terbalik. Tan (1991) mengemukakan rumus untuk

menghitung kejenuhan basa (KB) ialah jumlah kation-kation dalam tanah dibagi nilai kapasitas tukar kation dalam tanah kali 100%.

$$KB = ((K, Na, Ca, Mg) \text{ me } 100 \text{ g}^{-1} / \text{KTK Total (me } 100 \text{ g}^{-1})) \times 100\%$$

Tabel 3. Hasil Analisis Dasar Andisols Cuban Rondo

Macam Analisis	Nilai*	
BI g cm^{-3}	0,74	
pH H ₂ O	5,09	Masam
pH KCl	4,97	
P tersedia mg kg^{-1}	1,61	Sangat rendah
KTK $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$	50,96	Sangat tinggi
K $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$	0,27	Rendah
Na $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$	0,47	Sedang
Ca $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$	7,15	Sedang
Mg $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$	1,53	Sedang
% KB	17,72	Sangat rendah
KAKU (%)	7,96	
KAKL (%)	59,5	

Keterangan: */ Kriteria berdasarkan Kriteria Penilaian Sifat Kimia Tanah (Agus *et al.*, 2005)

4.1.2. Pengaruh Asam Humat terhadap pH Tanah

Cara untuk meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah ialah dengan menurunkan tingkat jerapan fosfor oleh alofan. Alofan akan mengikat ion fosfat karena fosfat bermuatan negatif. Masgudi, 2004 (*dalam* Sukmawati, 2011b) menyatakan bahwa asam humat menyebabkan tanah bermuatan positif akibat masuknya ion H⁺ pada lapis oktahedral Al(OH)₃ dan membentuk ikatan hidrogen sehingga permukaan partikel alofan menjadi bermuatan negatif. Oleh karena itu asam humat diharapkan mampu meningkatkan pH tanah dengan meningkatnya OH⁻ sehingga fosfor tersedia dalam tanah meningkat. Aplikasi asam humat memiliki nilai efektifitas yang lebih tinggi pada pH 6, dimana gugus fungsional asam humat meningkat dengan meningkatnya pH (Sukmawati, 2011b). Ditambahkan dalam penelitian Sukmawati (2011a) bahwa alofan sebagai bagian dari mineral amorf pada Andisols dapat meningkat jika bereaksi dengan asam humat ataupun asam silikat.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa asam humat berpengaruh nyata terhadap pH pada minggu ke-4 setelah inkubasi, sementara untuk minggu ke-2 dan ke-6 asam humat tidak memiliki pengaruh yang nyata dalam meningkatkan pH tanah (Lampiran 4). Data hasil penelitian terhadap parameter pH (Tabel 4) menunjukkan bahwa nilai pH berfluktuasi dalam peningkatannya. Peningkatan maksimum ialah setelah 6 MSI.

Hasil uji lanjut pada 4 MSI menunjukkan bahwa asam humat 0,4% (D₂), pupuk SP36 (D₃), serta kombinasi asam humat 0,2% + pupuk SP36 (D₄) memiliki pengaruh yang berbeda nyata dengan asam humat dosis 0,2% (D₁), dan kontrol (D₀) (Lampiran 13 dan Tabel 3). Aplikasi asam humat tidak dapat mengubah kriteria kemasaman tanah pada 0, 2, 4, dan 6 MSI dengan nilai pH tanah termasuk dalam kriteria masam (Lampiran 12.). Tetapi aplikasi asam humat 0,2% + SP36 (D₄) pada 4 MSI dapat meningkatkan pH tanah sebesar 1,59% bila dibandingkan dengan kontrol (D₀). Aplikasi asam humat 0,2% + SP36 (D₄) pada 4 MSI tidak berbeda nyata dengan 0,4% (D₂) pada 4 MSI, bahwa asam humat 0,4% (D₂) dapat meningkatkan nilai pH sebesar 1,39% bila dibandingkan dengan kontrol (D₀). Asam humat yang digunakan pada penelitian ini memiliki gugus karboksilat sebesar 71,4 C mol kg⁻¹, gugus OH⁻ fenolat sebesar 101,7 C mol kg⁻¹, serta gugus kemasaman total sebesar 173,1 C mol kg⁻¹ (Suntari *et al.*, 2013).

Adanya gugus OH⁻ pada asam humat dapat mengikat H⁺ dalam tanah meskipun peningkatannya belum bisa mengubah kriteria kemasaman tanah. Hal ini didukung oleh pendapat Hardjowigeno (1995) yang menyatakan bahwa alofan sebagai bagian dari mineral amorf Andisols dapat mengalami peningkatan pH jika bereaksi dengan asam humat, peningkatan pH pada Andisols akan mengubah muatan pada kompleks pertukaran alofan menjadi negatif sehingga menyebabkan H₂PO₄⁻ tidak terjerap dan dapat tersedia dalam tanah. Fajri *et al.* (2008) menyatakan bahwa asam humat tidak berpengaruh besar terhadap pH tanah karena bentuk asam humatnya tidak larut dalam air. Tan (1991) juga menyatakan bahwa asam humat memiliki pengaruh terhadap pH, karena asam humat memiliki kemampuan sebagai *buffer* tanah. Asam humat memiliki kemampuan menyangga pada pH 5,5-8. Aplikasi asam humat memiliki nilai efektifitas yang lebih tinggi pada pH 6, dimana gugus fungsional asam humat meningkat dengan

meningkatnya pH (Sukmawati, 2011b). Ditambahkan Masgudi ,2004 (*dalam* Sukmawati ,2011b) bahwa asam humat menyebabkan tanah bermuatan positif akibat masuknya ion H^+ pada lapis oktahedral $Al(OH)_3$ dan membentuk ikatan hidrogen sehingga permukaan partikel alofan menjadi bermuatan negatif. Ditambahkan juga oleh Sukmawati (2011a) bahwa alofan sebagai bagian dari mineral amorf pada Andisols mengalami peningkatan pH jika bereaksi dengan asam humat ataupun asam silikat.

Berdasarkan analisis pH aktual (pH H_2O) dan pH potensial (pH KCl), menunjukkan bahwa nilai pH H_2O lebih besar dari pH KCl sehingga ΔpH yang diperoleh bernilai positif. Berdasarkan Tan (1991) bahwa nilai ΔpH didapat dari perhitungan $\Delta pH = pH H_2O - pH KCl$. Hal ini penting untuk mengetahui apakah tanah bersih dari koloid tanah ΔpH bernilai negatif, nol, atau positif. Jika nilai ΔpH positif menunjukkan dominasi koloid liat bermuatan negatif dan ΔpH negatif berarti koloid dominan bermuatan positif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ΔpH mempunyai nilai positif, artinya tanah didominasi liat yang bermuatan negatif, dimana nilai pH H_2O lebih besar dari pH KCl (Tabel 4). Tanah dengan koloid yang bermuatan lebih negatif menunjukkan tanah memiliki pH yang lebih rendah (Mekara, 1972 *dalam* Tan; 1991). Dinyatakan juga pH aktual lebih besar dari pH potensial berarti bahwa tanah bermuatan bersih negatif (Uehara dan Ghilman, 1982 *dalam* Nurdin; 2012). Pada $pH > 6$, terjadi muatan tergantung pH (*pH depending charge*) yang menghasilkan muatan negatif. Peningkatan muatan ini disebabkan oleh kenaikan pH karena ionisasi gugus OH^- . Sedangkan pada $pH < 6$, muatannya permanen (*permanently charge*) karena terjadi substitusi isomorfik (Nurdin, 2012).

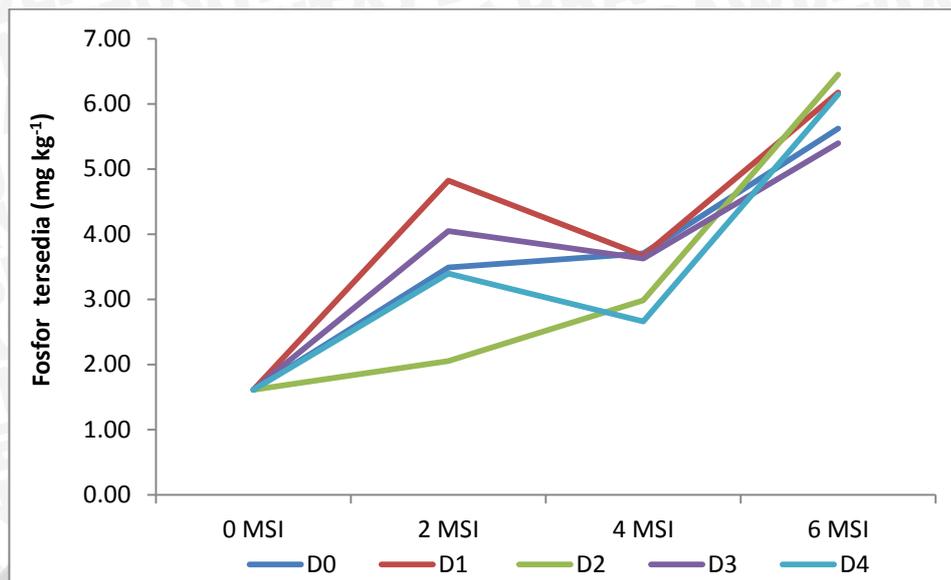
Tabel.4 Kondisi pH Tanah dan Δ pH Tanah setelah Perlakuan dan Inkubasi

Pengamatan	Dosis	pH H ₂ O	pH KCl	Δ Ph
2 MSI	Do	5,04	4,97	0,08
	D1	5,09	4,98	0,11
	D2	5,09	4,99	0,11
	D3	5,05	4,98	0,07
	D4	5,08	4,95	0,13
4 MSI	Do	5,01a	4,96	0,05
	D1	5,02a	4,97	0,05
	D2	5,08b	5,00	0,09
	D3	5,07b	4,98	0,09
	D4	5,09b	4,96	0,13
6 MSI	Do	5,08	4,96	0,12
	D1	5,08	4,96	0,12
	D2	5,11	4,99	0,12
	D3	5,06	4,96	0,09
	D4	5,08	4,97	0,11

Keterangan: D₀ = Kontrol; D₁ = asam humat 0,2%; D₂ = asam humat 0,4%; D₃ = pupuk SP36; dan D₄ = kombinasi asam humat 0,2% + pupuk SP36

4.1.3. Pengaruh Asam Humat terhadap P Tersedia Tanah

Analisis dasar tanah membuktikan bahwa fosfor tersedia dalam tanah termasuk dalam kriteria yang sangat rendah (Tabel 3). Rendahnya fosfor tersedia tanah dikarenakan fosfor dirajai oleh mineral amorf seperti alofan, imogolit, ferihidrit dan oksida-oksida hidrat aluminium dan besi dengan permukaan spesifik yang luas (Munir, 1996; Tan, 1991; Hardjowigeno, 1995). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi asam humat tidak berpengaruh nyata terhadap fosfor tersedia tanah (Lampiran 5), meskipun demikian asam humat dapat meningkatkan kandungan fosfor tersedia dalam tanah (Gambar 4).



Gambar 4. Pengaruh Asam Humat terhadap Fosfor tersedia Tanah

Pengaruh asam humat untuk meningkatkan fosfor dalam tanah fluktuatif sampai 6 MSI. Aplikasi asam humat dapat meningkatkan fosfor tersedia tanah pada semua perlakuan untuk 2, 4, dan 6 MSI. Aplikasi asam humat 0,4% (D₂) dapat meningkatkan fosfor tersedia tanah pada 6 MSI sebesar 300,62% bila dibandingkan dengan nilai fosfor tersedia tanah sebelum inkubasi (0 MSI) dan 14,76% bila dibandingkan dengan kontrol (D₀) pada 6 MSI (Lampiran 13), tetapi kriteria fosfor tersedia tanah tidak berubah pada 0, 2, 4, dan 6 MSI yaitu fosfor tersedia tanah masuk dalam kriteria yang sangat rendah (Lampiran 12). Hal ini berkaitan dengan nilai pH sampai 6 MSI berada dalam kriteria masam berkisar antara 4,5 – 5,09 (Lampiran 12). Asam humat akan efektif menurunkan jerapan fosfor pada pH 6 (Sukmawati, 2011b).

Peningkatan fosfor tersedia tanah di duga karena asam humat selain membantu memperbaiki sifat kimia tanah, asam humat memiliki peran dalam perbaikan sifat biologi tanah. Asam humat dapat sebagai penyusun tubuh dan sumber energi bagi mikroorganisme dalam tanah (Tan, 1991). Hardjowigeno (1995) mengemukakan bahwa hilangnya fosfor-anorganik disebabkan oleh mikroorganisme yang dapat mengubah fosfor anorganik menjadi fosfor organik. Karti *et al.* (2009) menambahkan bahwa fungi mikoriza arbuskula dan asam humat pada tanah masam dapat menyediakan dan meningkatkan serapan nitrogen dan fosfor. Asam humat dalam mempengaruhi peningkatan nilai fosfor yang

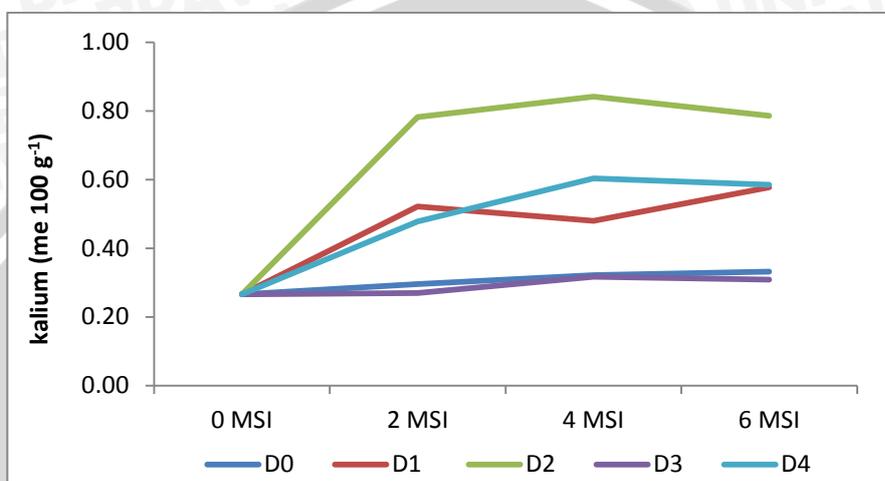
belum nyata peningkatannya di akibatkan tingginya alofan yang terkandung pada Andisols. Tingginya alofan ini mengakibatkan fiksasi fosfor sangat tinggi, alofan sudah lebih dulu memfiksasi ion fosfat dalam tanah. Sehingga untuk penambahan asam humat khelat oleh asam humat tidak mampu melepaskan fosfor yang sudah dalam kondisi terfiksasi, khelat oleh asam humat ialah pada ion fosfat yang belum difiksasi oleh alofan, sehingga unsur fosfor tersedia dalam tanah masih tergolong kriteria sangat rendah.

4.1.4. Pengaruh Pemberian Asam Humat terhadap Kation-kation Tanah

4.1.4.1. Pengaruh Pemberian Asam Humat terhadap Kalium

Aplikasi asam humat berdasarkan analisis sidik ragam berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kalium tanah pada 2, 4, dan 6 MSI (Lampiran 6). Hal ini menunjukkan bahwa asam humat dari awal aplikasi langsung bereaksi dengan tanah dan dapat meningkatkan kandungan kalium tanah. Aplikasi asam humat 0,4% (D₂) memiliki kemampuan terbaik dalam meningkatkan nilai kalium tanah pada 2, 4, dan 6 MSI (Gambar 5). Diterangkan lebih lanjut (Gambar 5) bahwa asam humat dalam meningkatkan nilai kalium dalam tanah meningkat sampai pada minggu ke-4 setelah inkubasi, setelah minggu ke-4 setelah inkubasi pengaruhnya menurun hingga minggu ke-6. Penurunan kemampuan asam humat dalam meningkatkan kalium ialah dikarenakan asam humat sudah dalam kondisi jenuh, dimana gugus OH⁻ yang dimiliki oleh asam humat sudah tidak mampu mengikat kalium. Hasil penelitian yang dilanjutkan dengan uji BNT aplikasi asam humat 0,4% (D₂) berbeda nyata terhadap semua perlakuan pada 2, 4 dan 6 MSI (Lampiran13). Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi asam humat 0,4% (D₂) mampu meningkatkan nilai kalium tanah dan pengaruhnya sangat nyata. Aplikasi asam humat 0,4% (D₂) memiliki nilai kalium tertinggi pada 2, 4, dan 6 MSI sedangkan aplikasi pupuk SP36 (D₃) menunjukkan nilai kalium terendah. Asam humat dapat mengubah kriteria kalium tanah dengan nilai kalium pada 0 MSI sebesar 0,265 me 100 g⁻¹ termasuk dalam kriteria rendah (Tabel 3) menjadi 0,842 me 100 g⁻¹ (Lampiran 13) termasuk dalam kriteria tinggi (Lampiran 12), dengan peningkatan nilai kalium tanah pada 4 MSI sebesar 211.11% dibandingkan dengan kalium tanah sebelum inkubasi (0 MSI) dan 162,50% dibandingkan

dengan kontrol (D_0) pada 4 MSI. Fajri *et al.* (2008) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa aplikasi asam humat dapat meningkatkan kandungan nitrogen, fosfor tersedia, kalium tersedia, dan magnesium, ditambahkan Cassman, 1995 (dalam Fajri *et al.*, 2008) bahwa aplikasi asam humat dapat menurunkan fiksasi kalium tanah sehingga meningkatkan ketersediaannya dalam tanah.

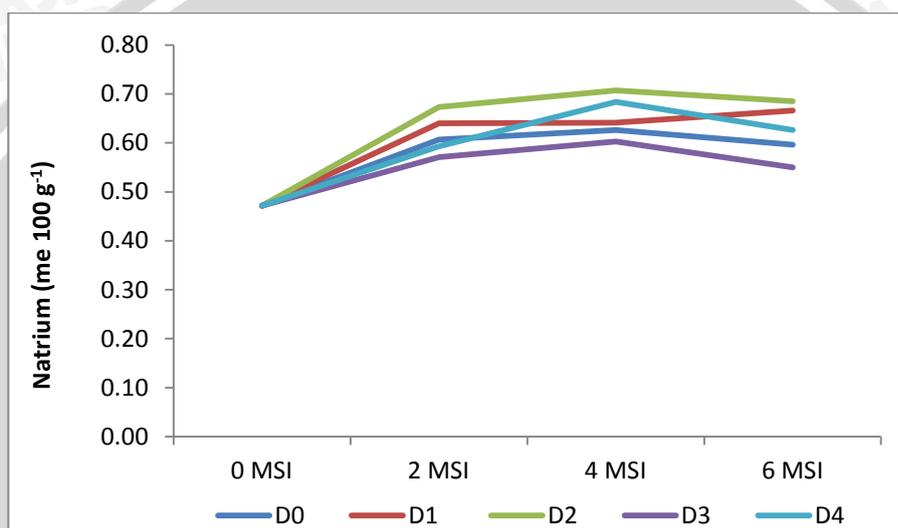


Gambar 5. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Kalium Tanah

4.1.4.2. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Natrium Tanah

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam aplikasi asam humat berpengaruh sangat nyata pada 2, 4, dan 6 MSI (Lampiran 7). Asam humat dengan dosis 0,4% (D_2) memiliki nilai natrium tertinggi pada 2, 4, dan 6 MSI (Gambar 6) dengan nilai masing-masingnya ialah 0,67 me 100 g^{-1} , 0,71 me 100 g^{-1} dan 0,69 me 100 g^{-1} , sedangkan nilai natrium terendah ialah aplikasi pupuk SP36 (D_3) pada 2, 4 dan 6 MSI dengan masing masing nilai natrium tanah ialah 0,57 me 100 g^{-1} , 0,60 me 100 g^{-1} dan 0,55 me 100 g^{-1} (Lampiran 13 dan Gambar 6). Peningkatan nilai maksimum natrium oleh asam humat ialah sampai pada minggu ke-4 setelah inkubasi, grafik peningkatan pada natrium hampir sama dengan kalium, dimana setelah minggu ke-6 inkubasi asam humat sudah tidak dapat mengkhelat natrium karena sudah jenuh (Gambar 6). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi asam humat tidak mengubah kriteria natrium tanah, dimana tanah sebelum inkubasi (0 MSI) dan setelah inkubasi kriteria natrium tanah tetap pada kriteria sedang (Lampiran 12). Diduga kriteria natrium tidak berubah karena aplikasi asam humat yang digunakan ialah asam humat KH26 dengan kandungan natrium

masuk dalam kriteria sedang (Tabel 2). Tetapi aplikasi asam humat 0,4% (D₂) pada 4 MSI mampu meningkatkan nilai natrium tanah sebesar 51,06% bila dibandingkan dengan nilai natrium pada 0 MSI dan 12,70% bila dibandingkan dengan kontrol (D₀) (Lampiran 13). Hasil ini didukung oleh hasil penelitian Karti dan Setiadi (2011) yang menunjukkan aplikasi asam humat mampu meningkatkan kandungan kalsium, magnesium, kalium, natrium, kapasitas tukar kation dan penurunan kandungan P₂O₅, Al³⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, dan Al-P.



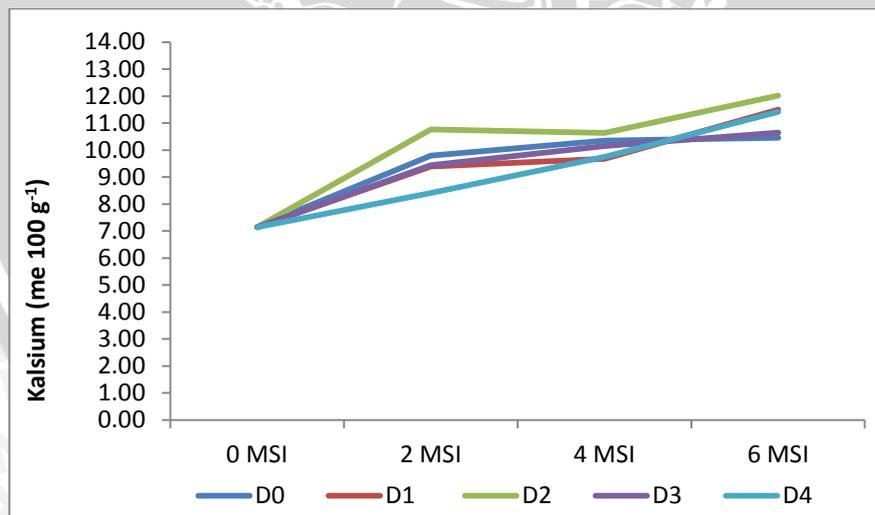
Gambar 6. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Natrium Tanah

4.1.4.3. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Kalsium

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pada 2 MSI aplikasi asam humat berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kalsium tanah, pada 4 MSI asam humat berpengaruh nyata, sedangkan pada 6 MSI asam humat tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kalsium (Lampiran 8).

Kalsium termasuk dalam kation yang ada dalam tanah, merupakan unsur yang sering dihubungkan dengan kemasaman tanah, karena unsur ini dapat mengurangi efek kemasaman. Disamping itu kalsium juga memberikan efek yang menguntungkan terhadap sifat fisika tanah. Pada tanah daerah basah, kalsium bersama-sama dengan ion hidrogen merupakan kation yang dominan pada kompleks adsorbs (Hakim dan Nurhayati, 1986). Nilai analisis awal kalsium menunjukkan 7,15 me 100 g⁻¹ termasuk dalam kriteria sedang (Tabel 3). Aplikasi

asam humat dalam tanah dapat meningkatkan nilai kalsium tanah pada 2 dan 4 MSI yaitu 10,77 me 100 g⁻¹ dan 10,63 me 100 g⁻¹ (Lampiran 13) menjadi nilai kalsium dengan kriteria tinggi (Lampiran 12). Hal ini didukung oleh hasil analisis asam humat (KH26) dalam kriteria sedang (Tabel 2). Aplikasi asam humat 0,4% (D₂) memiliki nilai kalsium tertinggi pada 2 MSI sebesar 10,77 me 100 g⁻¹ dan aplikasi asam humat 0,2% + pupuk SP36 (D₄) memiliki nilai terendah nilai kalsium yaitu 8,41 me 100 g⁻¹ (Lampiran 13 dan Gambar 7). Asam humat 0,4% (D₂) dapat meningkatkan nilai kalsium tanah pada 2 MSI sebesar 48,67% dibandingkan dengan nilai kalsium sebelum inkubasi (0 MSI) dan 2,70% dibandingkan dengan kontrol (D₀). Peningkatan kandungan kalsium dalam tanah oleh asam humat ialah fluktuatif, dimana kalium sebelum inkubasi meningkat sampai dengan 2 MSI dan mengalami penurunan setelah 4 MSI, setelah meinggu ke-6 inkubasi kalsium mengalami peningkatan maksimum. Diduga peningkatan ini terjadi karena asam humat bereaksi dengan kalium, natrium dan magnesium sampai minggu ke-4 setelah inkubasi. Penurunan untuk kalium, natrium, dan magnesium terjadi setelah 6 MSI. Penurunan ini diakibatkan pada 6 MSI asam humat sudah dijenuhi oleh kalsium.



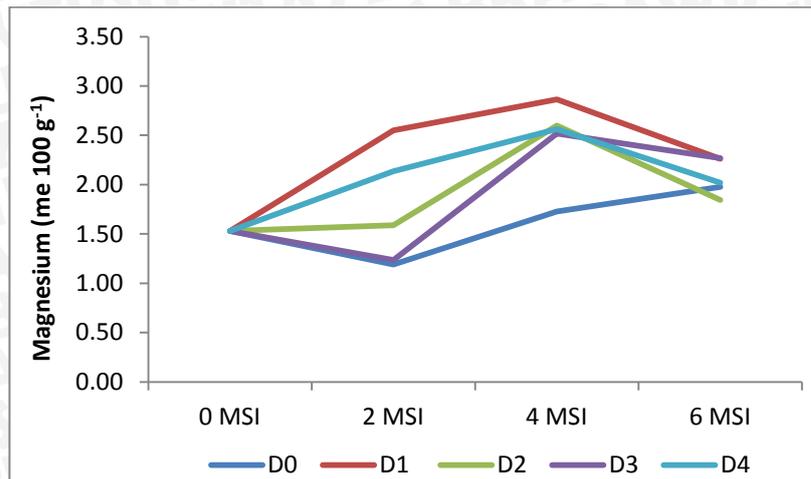
Gambar 7. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Kalsium Tanah

Asam humat dengan dosis 0,4% mampu meningkatkan nilai kalsium dari kriteria sedang yaitu 7,150 me 100g⁻¹ (Tabel 3) menjadi kriteria tinggi yaitu 12,02 me 100g⁻¹ (Lampiran 12). Untuk pengaruh antar perlakuan (Lampiran 13)

menunjukkan bahwa pada 2 MSI aplikasi asam humat 0,4% (D₂) berbeda nyata dengan semua perlakuan. Kontrol (D₀), asam humat 0,2% (D₁), dan SP36 (D₃) tidak berbeda nyata antar perlakuan tetapi berbeda nyata dengan kombinasi asam humat 0,4% + pupuk SP36 (D₄). Hasil penelitian Karti dan Setiadi (2011) menunjukkan bahwa asam humat dapat meningkatkan kandungan kalsium, magnesium, kalium, natrium, kapasitas tukar kation dan penurunan kandungan P₂O₅, Al³⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, dan Al-P.

4.1.4.4. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Magnesium

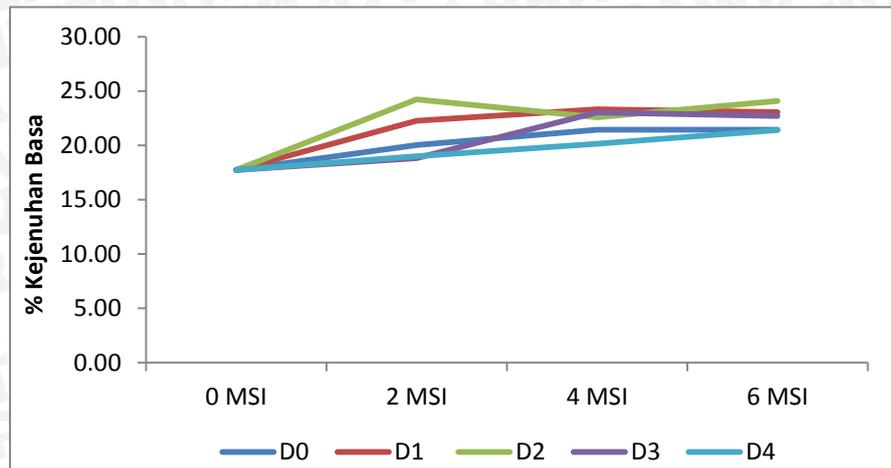
Berdasarkan hasil analisis sidik ragam aplikasi asam humat berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan magnesium pada 2 MSI dan berpengaruh nyata pada 4 MSI (Lampiran 9). Aplikasi asam humat 0,2% (D₁) memiliki nilai magnesium tertinggi yaitu 2,86 me 100 g⁻¹ dan nilai terendah ialah kontrol (D₀) sebesar 1,73 me 100 g⁻¹ pada 4 MSI (Lampiran 13 dan Gambar 8). Asam humat meningkatkan kandungan magnesium memiliki kesamaan dengan pengaruh asam humat terhadap unsur kalium, dan juga natrium. Peningkatan kandungan magnesium dalam tanah meningkat terus sampai pada 4 MSI, namun mengalami penurunan yang cukup drastis setelah 6 MSI (Gambar 8). Asam humat 0,2% (D₁) dapat meningkatkan nilai magnesium tanah dan mengubah kriteria magnesium tanah sebesar 86,93% dari nilai magnesium tanah 0 MSI yaitu 1,53 me 100 g⁻¹ termasuk dalam kriteria sedang (Tabel 3), menjadi 2,86 me 100 g⁻¹ termasuk dalam kriteria tinggi (Lampiran 12) pada 4 MSI dan meningkatkan nilai magnesium sebesar 65,32% bila dibandingkan dengan kontrol (D₀). Meskipun demikian asam humat 0,2% (D₁) pada 4 MSI tidak berbeda nyata dari asam humat 0,4% (D₂) yang dapat meningkatkan magnesium sebesar 50,29% dibandingkan dengan kontrol (D₀). Supriyo (2012) mengemukakan bahwa asam humat dapat mengkhelat unsur hara dan meningkatkan kapasitas tukar kation, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan H₂PO₄⁻, NH₄⁺, Mg²⁺, dan Ca²⁺, serta unsur mikro (Zn²⁺, Fe²⁺, B) menjadi bentuk yang mudah diserap akar.



Gambar 8. Pengaruh Asam Humat terhadap Kandungan Magnesium Tanah

4.1.5. Pengaruh Asam Humat terhadap Persentase Kejenuhan Basa

Hasil analisis sidik ragam pada penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi asam humat berpengaruh sangat nyata terhadap persentase kejenuhan basa tanah pada 2 dan 4 MSI, sedangkan pada 6 MSI asam humat berpengaruh nyata. (Lampiran 11). Aplikasi asam humat 0,4% (D_2) pada 2 MSI memiliki nilai persentase kejenuhan basa tertinggi yaitu sebesar 24,23% dan persentase kejenuhan basa terendah ialah aplikasi pupuk SP36 (D_3) (Lampiran 13 dan Gambar 9). Peningkatan nilai persentase kejenuhan basa oleh asam humat ialah fluktuatif, hal ini juga memiliki hubungan dengan pengaruh asam humat terhadap kapasitas tukar kation tanah yang juga fluktuatif. Aplikasi asam humat mampu memperbaiki kriteria persentase kejenuhan basa dari 17,72% termasuk dalam kriteria sangat rendah (Tabel 3) pada 0 MSI menjadi 24,23% termasuk dalam kriteria rendah (Lampiran 12) pada 2 MSI. Asam humat 0,4% (D_2) dapat meningkatkan nilai persentase kejenuhan basa tanah pada 2 MSI sebesar 36,74% dibandingkan dengan 0 MSI, dan 20,97% bila dibandingkan dengan kontrol (D_0). Berdasarkan hasil penelitian bahwa peningkatan jumlah kation-kation tanah (kalium, natrium, kalsium, dan magnesium) berbanding lurus dengan persentase kejenuhan basa. Tan (1991) menjelaskan bahwa peningkatan nilai persentase persentase kejenuhan basa dipengaruhi oleh peningkatan nilai kalium, natrium, kalsium, dan magnesium tanah.

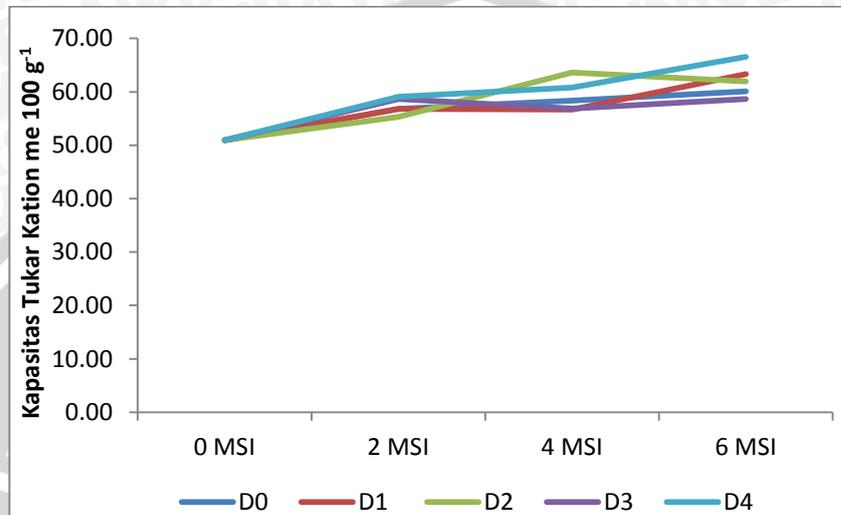


Gambar 9. Pengaruh Asam Humat terhadap Persentase Kejenuhan Basa dalam Tanah

4.1.6. Pengaruh Asam Humat terhadap Kapasitas Tukar Kation Tanah

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam aplikasi asam humat memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai kapasitas tukar kation tanah pada 4 MSI (Lampiran 10). Aplikasi asam humat mampu meningkatkan nilai kapasitas tukar kation tanah pada 2, 4, dan 6 MSI bila dibandingkan dengan nilai kapasitas tukar kation awal (0 MSI) (Gambar 10). Hasil uji BNT menunjukkan bahwa asam humat dosis 0,4% (D₂) pada 4 MSI tidak berbeda nyata dengan asam humat 0,2% + SP36 (D₄) dan dengan kontrol (D₀) (Lampiran 13 dan Gambar 10). Pada 4 MSI perlakuan asam humat 0,4% (D₂) menunjukkan nilai tertinggi yaitu 63,62 me 100 g⁻¹ dan perlakuan asam humat 0,2% (D₂) memiliki nilai kapasitas tukar kation terendah yaitu 56,67 me 100 g⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kriteria kapasitas tukar kation tanah sebelum inkubasi (0 MSI) dan setelah inkubasi selama 6 minggu tidak berubah, karena pada analisis awal kapasitas tukar kation tanah termasuk dalam kriteria sangat tinggi (>40 me 100 g⁻¹) (Tabel 3). Tetapi aplikasi asam humat 0,4% (D₂) dapat meningkatkan nilai kapasitas tukar kation tanah pada 4 MSI sebesar 24,84% dibandingkan dengan 0 MSI dan sebesar 8,94% dibandingkan dengan kontrol (D₀). Tan (1991) mengatakan bahwa salah satu pengaruh asam humat terhadap sifat kimia tanah ialah meningkatkan kapasitas tukar kation. Peningkatan ini dapat menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur hara. Karti dan Setiadi (2011) Supriyo (2012); dan Fajri *et al.* (2008)

mengemukakan bahwa asam humat dapat memperbaiki nilai kapasitas tukar kation tanah. Stevenson (1994) menambahkan bahwa fraksi humat mempunyai fraksi negatif yang berasal dari disosiasi ion H^+ dari berbagai gugus fungsional, sehingga fraksi humat mempunyai kapasitas tukar kation sangat tinggi.



Gambar 10. Pengaruh Asam Humat terhadap kapasitas tukar kation Tanah

4.2. Pembahasan Umum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi asam humat dapat meningkatkan kesuburan tanah pada Andisols, kesuburan yang di maksud dalam penelitian mencakup pH tanah, fosfor tersedia dalam tanah, kalium, natrium, kalsium, magnesium, persentase kejenuhan basa dan juga kapasitas tukar kation dalam tanah.

Hasil penelitian terkait kesuburan tanah menunjukkan bahwa kombinasi asam humat 0,2% dengan SP36 dapat meningkatkan pH sebesar 1,59%, tetapi tidak berbeda nyata dengan asam humat 0,4% dapat meningkatkan pH sebesar 1,39%. Hasil juga menunjukkan bahwa adanya peningkatan pH tanah diikuti juga dengan meningkatnya fosfor yang tersedia dalam tanah. Peningkatan fosfor dalam tanah ialah sebesar 14,76% dibandingkan dengan kontrol (D₀), dan meningkat 300,62% dibandingkan dengan kandungan fosfor sebelum inkubasi. Peningkatan yang mencapai tiga kali lipat dari kandungan awal ini belum dapat mengubah kriteria fosfor yang tersedia yang masuk dalam kriteria sangat rendah. Hal ini

diakibatkan kriteria pH tanah juga tidak berubah meskipun mengalami peningkatan, dimana pH tanah yang tergolong tanah masam. Sukmawati (2011b) menyatakan bahwa asam humat mampu meningkatkan pH tanah dengan adanya kandungan OH^- pada asam humat sehingga fosfor tersedia meningkat. Hardjowigeno (1995) juga menjelaskan bahwa fosfor memiliki hubungan dengan pH tanah, pada pH tinggi alofan mempunyai muatan negatif sedangkan pada pH yang relatif rendah alofan mempunyai muatan positif sehingga anion fosfat masih dalam jerapan alofan. Jerapan ini mengakibatkan fosfor tersedia dalam tanah masih dalam kriteria yang sangat rendah. Peningkatan pH dalam tanah juga diiringi peningkatan persentase kejenuhan basa dan juga kapasitas tukar kation tanah. Syekhfani (1997) menerangkan bahwa nilai kapasitas tukar kation berkaitan dengan pH tanah, jenis mineral liat, dan bahan organik. Selanjutnya diterangkan juga bahwa tanah dengan kandungan alofan dan/ atau seskuioksida tinggi, mempunyai kapasitas tukar kation yang sangat peka terhadap perubahan pH dan kepekatan kation tinggi.

Penelitian ini juga berpengaruh terhadap nilai kation-kation dalam tanah, persentase kejenuhan basa dan juga kapasitas tukar kation tanah. Peningkatan kation-kation dalam tanah seperti kalium, natrium, kalsium, dan magnesium oleh asam humat, juga diiringi dengan meningkatnya persentase kejenuhan basa pada tanah. Tan (1991) menerangkan bahwa persentase kejenuhan basa dipengaruhi oleh peningkatan nilai kalium, natrium, kalsium, dan juga magnesium. Syekhfani (1997) menambahkan bahwa persentase kejenuhan basa proporsional dengan basa-basa terjerap. Nilai persentase kejenuhan basa 80% menjelaskan bahwa 4/5 bagian tempat pertukaran dijenuhi oleh basa-basa kalium, natrium, kalsium, dan magnesium, dan 1/5 bagian lainnya oleh alimunium dan hidrogen. Kriteria persentase kejenuhan basa yang rendah dipengaruhi oleh kapasitas tukar kation tanah yang sangat tinggi. Tan (1991) menjelaskan bahwa perhitungan persentase kejenuhan basa ialah jumlah basa-basa dalam tanah (kalium, natrium, kalsium, dan magnesium) dibagi dengan nilai kapasitas tukar kation dalam tanah yang masing-masing satuannya dalam $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$ dikali 100%. Faktor peningkatan nilai kapasitas tukar kation dalam tanah yang sangat tinggi ditambah dengan peningkatan basa-basa tanah seperti natrium, kalsium, dan magnesium, serta

kalium yang termasuk dalam kriteria antara sedang hingga tinggi mengakibatkan persentase kejenuhan basa masih dalam kriteria rendah.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan bahwa asam humat memiliki pengaruh terhadap kesuburan tanah, seperti:

1. asam humat mampu meningkatkan fosfor tersedia, pH, kalium, natrium, kalsium, magnesium, persentase kejenuhan basa, dan kapasitas tukar kation pada Andisols.
2. dosis asam humat 0,4% mampu meningkatkan fosfor tersedia, pH, kalium, natrium, kalsium, magnesium, persentase kejenuhan basa, dan kapasitas tukar kation pada Andisols.
3. kombinasi antara asam humat 0,2% dan SP36 mampu meningkatkan fosfor tersedia, pH, kalium, natrium, kalsium, magnesium, persentase kejenuhan basa, dan kapasitas tukar kation pada Andisols.

5.2. Saran

Manfaat dari asam humat dalam aplikasinya memerlukan tinjauan lebih lanjut terkait:

1. penggunaan tanaman untuk dosis yang telah diteliti, dan
2. teknik aplikasi asam humat dan pupuk ialah memberikan asam humat terlebih dahulu terhadap tanah untuk mencegah fiksasi fosfat oleh alofan, sehingga asam humat terlebih dahulu bereaksi dengan alofan. Hasil akhirnya ialah fosfat tersedia bagi tanaman karena pengaruh dari alofan untuk memfiksasi fosfat berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Sulaeman, Suparto, Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor. P. 128
- Alimin, Narsito, Santoso, S. Juari, dan S. Noegrohati. 2005. Fraksionasi Asam Humat dan Pengaruhnya pada Kelarutan Ion Logam Seng (II) dan Kadmium (II). Jurnal Ilmu Dasar 6 (1): 1-6
- Bio Ag Technologies International. 1999. Humic Acid Structure and Properties. <http://www.phelpstek.com/clients/humic-acid.html> (14Maret 2014)
- Buresh, R.J., P.C. Smithson, and D.T. Hellums. 1997: Buliding Soil P Capital in Africa. In: Replenishing Soil Fertility in Africa, R.J. Buresh, P.A. Sanchez, and F. Calhoun, (eds.), SSSA Special Publication No. 51. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. pp. 11-49
- Darusman, L. F. 1989. Kimia-Fisik Tanah. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat antar Universitas Ilmu Hayati Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Fajri, M., H. Agusta, dan D. Asmono. 2008. Pengaruh Asam Humat pada Absorpsi Logam Berat Pb, Cd, Badan Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* I Jacq.) Tahap Pembibitan. Makalah Seminar Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Foth, H. D. 1991. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Gajahmada University Press. Yogyakarta
- Goenadi, Y., and T. Aviad. 1990. Effect of Humic Substance on Plant Growth. In: Mac Carthy P, Clapp CE, Malcolm RL. Bloom PR (EDS.), Humic Substances Soil and Crop Sciences: Selected reading, Soil Science Society. Am, Madison. P. 161-187
- Hakim, dan Nurhayati. 1986. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung. Lampung
- Hardjowigeno, S. 1995. Ilmu Tanah. Jakarta: Akademi Pressindo. Jakarta. Hal.54-88
- Havlin, J.L., J.P. Beaton., S.L. Tisdale., and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers, and Introduction to Nutrient Management 6th. Prentice Hall. New Jersey
- Huang, P.M., and M. Schnitzer. 1997. Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikrobial. Goenadi DH, penerjemah; Gadjah Mada University

Press. Terjemahan dari: Interaction of Soil Mineral with Natural Organics and Microbes

Karti, P. D. M. H., S.W.R. Budi, and F.M. Noor. 2009. Optimalisasi Kerja Mycofer dengan Augmentasi Mikroorganisme Tanah Potensial dan Asam Humat untuk Rehabilitasi Lahan Marginal dan Terdegradasi di Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. Vol. 14 No.1. Hal.118-131

Karti, P. D. M., and Y. Setiadi. 2011. Respon Pertumbuhan, Produksi dan Kualitas Rumput terhadap Penambahan Fungi Mikoriza Arbuskula dan Asam Humat pada Tanah dengan Aluminium Tinggi. Departemen Ilmu Hayati dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor. *Jurnal* Vol. 16 No.2 Th. 2011: 105-112

Koswara, J. 1982. Diktat Kuliah Ilmu Tanaman Setahun Jagung. Departemen Agronomi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 50

Munir, M. 1996. Tanah-tanah Utama di Indonesia: Karakteristik, Klasifikasi dan Pemanfaatannya. Pustaka Jaya. Jakarta. Hal. 71-95

Novizan. 2002. Petunjuk Pemupukan yang Efektif. Agromedia Pustaka. Jakarta

Nurdin, 2012. Morfologi, Sifat Fisik dan Kimia Tanah Inceptisols dari Bahan Lakustrin Paguyaman Gorontalo Kaitannya dengan Pengelolaan Tanah. *JATT* Vol. 1, April 2012: 13-22, ISSN 2252-3774

Palupi, Y.R. 2004. Tingkat Serapan P pada Tanaman Jagung (*Zea Mays* L.) Akibat Pemberian Beberapa Jenis Pupuk Hijau yang diinkubasi pada Tanah Mineral Masam Desa Bobo Kec. Palolo Kab. Donggala Propinsi Sulteng. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Tadulako. Palu

Sanchez, P.A.1992. Sifat dan Pengolahan Tanah Tropika. Jilid 2 (terjemahan Johara T. Jayadinata).ITB. Bandung

Setijono, S. 1996. Intisari Kesuburan Tanah. IKIP. Malang

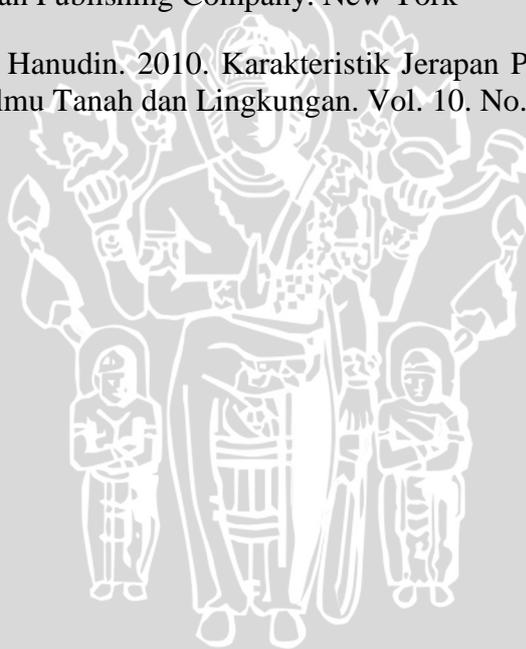
Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, and Reaction. Second Edition John Willey Sons, Inc. New York. p 496

Subba-Rao, N.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Terjemahan Susilo H. dari Soil Microorganisms and Plant Growth. UI. Press. Jakarta

Sukmawati, 2011(a). Beberapa Perubahan Sifat Kimia Alofan dari Andisol Setelah Menjerap Asam Humat dan Asam Silikat. *Media Litbang Sulteng* IV (2): 118-124

Sukmawati, 2011(b). 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* IV (1): 30-36

- Suntari, R., R. Retnowati, Soemarno, and M. Munir. 2013. Study on the Realease of N-Available (NH_4^+ and NO_3^-) of Urea-Humate. *International Journal Of Agriculture and Forestry* 2013, 3(6): 209-219
- Supriyo, A. 2012 Kajian Pemanfaatan Bahan Humat untuk meningkatkan Efisiensi Pemupukan pada Tanaman Kelapa Sawit di Tanah Sulfat Masam. Balai Pengkajian Teknologi pertanian (BPTP). Kal-Sel
- Syekhfani. 1997. Hara Air Tanah Tanaman. Jurusan Tanah fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang
- Tan, K.H. 1991. Dasar-dasar Kimia Tanah. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Hal 55-59
- Tan, K.H. 1998. Principle of Soil Chemistry. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc. New York
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1990. Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed. Macmillan Publishing Company. New York
- Wijanarko, A., dan E. Hanudin. 2010. Karakteristik Jerapan P oleh Empat Ordo Tanah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Vol. 10. No. 1 (2010) p: 42-51



Lampiran 1. Kebutuhan Dosis Pupuk SP36

$$\text{BI Andisol} = 0,7 \text{ g.cm}^{-3}$$

$$\begin{aligned} \text{HLO} &= \text{kedalaman lapisan olah} \times \text{BI} \times \text{Luas} \\ &= 20 \text{ cm} \times 0,7 \text{ g.cm}^{-3} \times 10^8 \text{ cm}^2 = 14 \times 10^8 \text{ g} = 14 \times 10^5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Dosis Anjuran } 175 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\text{Dosis per polibag} = \frac{1}{1400000} \times 175$$

$$\text{Dosis per polibag} = \frac{175}{1400000}$$

$$\text{Dosis per polibag} = 12,5 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\text{Dosis per polibag} = 0,125 \text{ g}$$

$$\text{Dosis per polibag} = 12,5 \text{ mg}$$

Lampiran 2. Kebutuhan Dosis Asam Humat

1. Asam humat dosis 0,2 %

$$0,2 \% = \frac{0,2}{100} = \frac{2 \text{ ml}}{1000 \text{ mg}} = \frac{2 \text{ ml}}{0,001 \text{ kg}} = \frac{2}{0,001} \times \frac{\text{ml}}{\text{kg}} = 2000 \text{ ppm}$$

2. Asam humat dosis 0,4 %

$$0,4 \% = \frac{0,4}{100} = \frac{4 \text{ ml}}{1000 \text{ mg}} = \frac{4 \text{ ml}}{0,001 \text{ kg}} = \frac{4}{0,001} \times \frac{\text{ml}}{\text{kg}} = 4000 \text{ ppm}$$

Lampiran 3. Perhitungan Kadar Air

Dik: KAKU % = 7,96

KAKL % = 59,5

BKO = 1000 g

BI air = 1 g ml⁻¹

Dit: Air yang ditambahkan (ml)....?

Jawab:

1. Mencari nilai BKU

$$KAKU (\%) = \frac{BKU - BKO}{BKO} \times 100 \%$$

$$7,96 \% = \frac{BKU - 1000 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$BKU - 1000 \text{ g} = \frac{7960 \text{ g}}{100}$$

$$BKU = 79,6 \text{ g} + 1000 \text{ g}$$

$$BKU = 1079,6 \text{ g}$$

2. Mencari nilai BKL

$$KAKU (\%) = \frac{BKL - BKO}{BKO} \times 100 \%$$

$$59,5 \% = \frac{BKL - 1000 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$BKL - 1000 \text{ g} = \frac{59500 \text{ g}}{100}$$

$$BKL = 595 \text{ g} + 1000 \text{ g}$$

$$BKL = 1595 \text{ g}$$

3. Jumlah air yang dibutuhkan (V = ml)

$$V = BKL - BKU$$

$$V = 1595 \text{ g} - 1079,6 \text{ g}$$

$$V = 515,4 \text{ g}$$

$$V = \frac{515,4 \text{ g}}{1 \frac{\text{g}}{\text{ml}}}$$

$$V = 515,4 \text{ ml}$$

Lampiran 4. Tabel Analisis Sidik Ragam pH H₂O

Pengamatan	SK	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	0,01	0,00	2,45 tn	3,48	5,99
	Galat	10	0,01	0,00			
	Total	14	0,01				
4 MSI	Perlakuan	4	0,02	0,00	12,7**	3,48	5,99
	Galat	10	0,00	0,00			
	Total	14	0,02				
6 MSI	Perlakuan	4	0,00	0,00	1,6 tn	3,48	5,99
	Galat	10	0,01	0,00			
	Total	14	0,01				

Lampiran 5. Tabel Analisis Sidik Ragam P tersedia

Pengamatan	SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	12,40	3,10	0,94 tn	3,48	5,99
	Galat	10	33,10	3,31			
	Total	14	45,48				
4 MSI	Perlakuan	4	27,32	0,68	1,44 tn	3,48	5,99
	Galat	10	47,46	0,48			
	Total	14	74,78				
6 MSI	Perlakuan	4	22,54	0,56	1,00 tn	3,48	5,99
	Galat	10	56,22	0,56			
	Total	14	78,77				

Keterangan : SK = sumber keragaman; db = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; * = berpengaruh nyata pada taraf 5%; ** = berpengaruh nyata pada taraf 1%; tn = tidak nyata

Lampiran 6. Tabel Analisis Sidik Ragam K

Pengamatan	SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	0,51	0,13	107,82**	3,48	5,99
	Galat	10	0,01	0,00			
	Total	14	0,52				
4 MSI	Perlakuan	4	0,58	0,14	58,35**	3,48	5,99
	Galat	10	0,03	0,00			
	Total	14	0,60				
6 MSI	Perlakuan	4	0,47	0,12	25,84**	3,48	5,99
	Galat	10	0,05	0,01			
	Total	14	0,52				

Lampiran 7. Tabel Analisis Sidik Ragam Na

Pengamatan	SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	0,02	0,01	11,22**	3,48	5,99
	Galat	10	0,00	0,00			
	Total	14	0,02				
4 MSI	Perlakuan	4	0,02	0,01	6,48**	3,48	5,99
	Galat	10	0,01	0,001			
	Total	14	0,03				
6 MSI	Perlakuan	4	0,04	0,01	7,07**	3,48	5,99
	Galat	10	0,01	0,00			
	Total	14	0,05				

Keterangan : SK = sumber keragaman; db = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; * = berpengaruh nyata pada taraf 5%; ** = berpengaruh nyata pada taraf 1%; tn = tidak nyata

Lampiran 8. Tabel Analisis Sidik Ragam Ca

Pengamatan	SK	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	8,62	2,16	31,58**	3,48	5,99
	Galat	10	0,68	0,07			
	Total	14	9,30				
4 MSI	Perlakuan	4	1,93	0,48	5,09*	3,48	5,99
	Galat	10	0,95	0,10			
	Total	14	2,88				
6 MSI	Perlakuan	4	5,02	1,26	2,63 tn	3,48	5,99
	Galat	10	4,78	0,48			
	Total	14	9,80				

Lampiran 9. Tabel Analisis Sidik Ragam Mg

Pengamatan	SK	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	4,18	1,04	8,47**	3,48	5,99
	Galat	10	1,23	0,12			
	Total	14	5,41				
4 MSI	Perlakuan	4	2,20	0,55	4,81*	3,48	5,99
	Galat	10	1,14	0,11			
	Total	14	3,35				
6 MSI	Perlakuan	4	0,42	0,11	0,71 tn	3,48	5,99
	Galat	10	1,47	0,15			
	Total	14	1,89				

Keterangan : SK = sumber keragaman; db = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; * = berpengaruh nyata pada taraf 5%; ** = berpengaruh nyata pada taraf 1%; tn = tidak nyata

Lampiran 10. Tabel Analisis Sidik Ragam KTK

Pengamatan	SK	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	27,83	6,96	1,26 tn	3,48	5,99
	Galat	10	55,30	5,53			
	Total	14	83,14				
4 MSI	Perlakuan	4	190,04	47,51	5,37 *	3,48	5,99
	Galat	10	88,46	8,85			
	Total	14	278,50				
6 MSI	Perlakuan	4	110,70	27,68	1,21 tn	3,48	5,99
	Galat	10	228,54	22,85			
	Total	14	339,25				

Lampiran 11. Tabel Analisis Sidik Ragam KB

Pengamatan	SK	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
						5%	1%
2 MSI	Perlakuan	4	64,60	16,15	12,37**	3,48	5,99
	Galat	10	13,06	1,31			
	Total	14	77,66				
4 MSI	Perlakuan	4	20,30	5,075	8,080**	3,48	5,99
	Galat	10	6,280	0,628			
	Total	14	26,58				
6 MSI	Perlakuan	4	15,41	3,85	4,68*	3,48	5,99
	Galat	10	8,23	0,82			
	Total	14	23,64				

Keterangan : SK = sumber keragaman; db = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; * = berpengaruh nyata pada taraf 5%; ** = berpengaruh nyata pada taraf 1%; tn = tidak nyata

Lampiran 12. Tabel Kriteria Kesuburan Tanah

Sifat Tanah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
C -Organik (%)	< 1,00	1,00 - 2,00	2,01 - 3,00	3,01 - 5,00	> 5,00
Nitrogen (%)	< 0,10	0,10 - 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 0,75	> 0,75
C/N	< 5	5 - 10	11 - 15	16 - 25	> 25
P ₂ O ₅ HCl (me/100g)	< 10	10 - 20	21 - 40	41 - 60	> 60
P ₂ O ₅ Bray-1 (ppm)	< 10	10 - 15	16 - 25	26 - 35	> 35
P ₂ O ₅ Olsen (ppm)	< 10	10 - 25	26 - 45	46 - 60	> 60
K ₂ O HCl 25% (me/100g)	< 10	10 - 20	21 - 40	41 - 60	> 60
KTK (me/100g)	< 5	5 - 16	17 - 24	25 - 40	> 40
Susunan Kation :					
K (me/100g)	< 0,1	0,1 - 0,2	0,3 - 0,5	0,6 - 1,0	>1,0
Na (me/100g)	< 0,1	0,1 - 0,3	0,4 - 0,7	0,8 - 1,0	>1,0
Mg (me/100g)	< 0,4	0,4 - 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 8,0	> 8,0
Ca (me/100g)	< 0,2	2 - 5	6 - 10	11 - 20	> 20
Kejenuhan Basa (%)	< 20	20 - 35	36 - 50	51 - 70	> 70
pH H₂O	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalis
	< 4,5	4,5 - 5,5	5,6- 6,5	6,6-7,5	7,6-8,5

Sumber: Agus *et al.* (2005)

Lampiran 13. Tabel Hasil Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) Taraf 5%

Pengamatan	Perlakuan	pH H ₂ O	P tersedia	KTK	K	Na	Mg	Ca	KB
			mg kg ⁻¹			me 100 g ⁻¹			%
2 MSI	Do	5,04	3,49	56,80	0,30a	0,61ab	1,19a	9,79b	20,03a
	D1	5,09	4,82	56,84	0,52b	0,64b	2,55b	9,39b	22,26b
	D2	5,09	2,05	55,32	0,78c	0,67b	1,59ab	10,77c	24,23b
	D3	5,05	4,05	58,64	0,27a	0,57a	1,24a	9,44b	18,83a
	D4	5,08	3,40	59,07	0,48b	0,59ab	2,14b	8,41a	19,01a
4 MSI	Do	5,01a	3,71	58,40ab	0,32a	0,63a	1,73a	10,35b	21,43ab
	D1	5,02a	3,67	56,67a	0,48b	0,62a	2,86b	9,68a	23,31b
	D2	5,08b	2,99	63,62b	0,84d	0,71b	2,6b	10,63b	22,57b
	D3	5,07b	3,63	56,88a	0,32a	0,60a	2,52b	10,15ab	23,02b
	D4	5,09b	2,66	65,19b	0,60c	0,68b	2,56b	9,75ab	20,15a
6 MSI	Do	5,08	5,62	60,12	0,33a	0,60ab	1,84	10,45	21,44a
	D1	5,08	6,17	63,32	0,58b	0,67b	2,27	11,50	23,05ab
	D2	5,11	6,45	61,95	0,79c	0,69b	1,98	12,02	24,07b
	D3	5,06	5,39	58,69	0,31a	0,55a	2,27	10,64	22,7ab
	D4	5,08	6,14	66,56	0,58b	0,63b	2,02	11,41	21,4a

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%

Lampiran 14. Dokumentasi Penelitian



a. Pengeringan Tanah



b. Pengayakan Tanah



c. Penimbangan Tanah



d. Asam Humat KH26



e. Tanah inkubasi



f. Sentrifuge untuk analisis KTK



g. Analisis K, Na Tanah



h. Proses analisis Ca, Mg



i. Analisis P tersedia tanah



j. Analisis pH tanah

