

**APLIKASI ASAM ORGANIK DAN KOMPOS DARI  
SISA TANAMAN UNTUK PENINGKATAN  
KETERSEDIAAN P PADA ULTISOL  
SULAWESI SELATAN**

**DISERTASI**

**Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Doktor**



**Oleh:  
KASIFAH  
NIM. 117040100111006**

**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN DAN LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2014**

# **DISERTASI**

## **APLIKASI ASAM ORGANIK DAN KOMPOS DARI SISA TANAMAN UNTUK PENINGKATAN KETERSEDIAAN P PADA ULTISOL SULAWESI SELATAN**

Oleh:  
**Kasifah**  
**NIM. 117040100111006**

Komisi Penasehat,

**Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D**  
Promotor

**Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS**  
Ko-Promotor 1

**Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS**  
Ko-Promotor 2

Mengetahui,  
Universitas Brawijaya  
Ketua Program Pascasarjana Fakultas Pertanian

**Prof. Dr. Ir. M. Luthfi Rayes, M.Sc.**  
NIP. 19540505 198303 1 008

## SUSUNAN TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI : **APLIKASI ASAM ORGANIK DAN KOMPOS DARI SISA TANAMAN UNTUK PENINGKATAN KETERSEDIAAN P PADA ULTISOL SULAWESI SELATAN**

Nama : Kasifah  
NIM : 117040100111006  
Program Studi : S3 Ilmu Pertanian  
Minat : Manajemen Sumberdaya Lahan dan Lingkungan

### KOMISI PROMOTOR

Promotor : Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D  
Ko-Promotor : Prof. Dr. Ir. Syekhfani, MS  
Ko-Promotor : Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS

### TIM PENGUJI

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. M. Luthfi Rayes, M.Sc.  
Penguji 2 : Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc., Ph.D.  
Penguji 3 : Dr. Ir. Budi Prasetyo, MP.  
Penguji 4 : Dr. Ir. Netty, M.Si.

Tanggal Ujian Proposal : 19 Desember 2012  
Seminar hasil : 26 Juni 2014  
Ujian Tertutup : 18 September 2014

## **PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan Disertasi, saya bersedia Disertasi (Doktor) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU no. 20 tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, September 2014

## ARTIKEL ILMIAH DARI DISERTASI

1. **Kasifah**, Syekhfani, Y. Nuraini and E. Handayanto. 2014. Effects of plant residue and compost extracts on phosphorus solubilization of rock phosphate and soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 8(5): 43-49.
2. **Kasifah**, Syekhfani, Y. Nuraini and E. Handayanto. 2014. Effects of application of groundnut biomass compost on uptake of phosphorus by maize grown on an Ultisol of South Sulawesi. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*.1(4): 159-164.

## RIWAYAT HIDUP



Kasifah, lahir di Bone Sulawesi Selatan, tanggal 15 Maret 1966 dari ayah H. Muhammad Saing Nengke, BA. (Alm.) dan ibu Hj. Saenab, sebagai anak ke-2 dari 7 bersaudara. Pendidikan formal sekolah dasar di SD No. 44 Kading, lulus tahun 1978, SMP Negeri 1 Watampone lulus tahun 1981, dan lulus SMA Negeri 1 Watampone tahun 1984. Pada tahun yang sama diterima di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, dan lulus tahun 1989. Melanjutkan pendidikan strata 2 (S2) di Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin pada Program Studi Sistem-Sistem Pertanian/Tanaman tahun 1995 dan lulus tahun 1997 dengan predikat "Cum Laude". Tahun 2011 berkesempatan melanjutkan studi di Program Pascasarjana Universitas Brawijaya pada Program Doktor Ilmu Pertanian (PDIP), minat Manajemen Sumberdaya Lahan dan Lingkungan.

Pengalaman kerja, dimulai sebagai Asisten Dosen di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin; di Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Muslim Indonesia, dan di Fakultas Pertanian Universitas 45, tahun 1988-1990. Tahun 1990, terangkat sebagai dosen Kopertis Wilayah VII Surabaya dpk pada Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember sampai tahun 2000. Selanjutnya, Tahun 2000 pindah ke Kopertis Wilayah IX Sulawesi dpk pada Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Makassar, sampai sekarang. Diangkat sebagai Ketua Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian tahun 2001 sampai 2008 dan Ketua Jurusan Agribisnis tahun 2008-2010. Pengalaman penelitian kompetitif diantaranya Penelitian Dosen Muda, Hibah Bersaing, dan hibah kompetitif DIKTI lainnya. Penghargaan yang pernah diperoleh adalah Satya Lancana Karya Satya 10 Tahun (Tahun 2006), dan Satya Lancana Karya Satya 20 Tahun (Tahun 2010) dari Presiden Republik Indonesia.

Menikah dengan Andi Nurson Petta Pudji, S.Ag., M.Pd.I, dan dikaruniai 3 orang putra: Aditya Chandra Meinaldy, Andika Surya rachmat, dan Andi Muhammad Ma'mun Nizham.

## RINGKASAN

**KASIFAH.** Program Pascasarjana Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Aplikasi Asam Organik dan Kompos dari Sisa Tanaman untuk Peningkatan Ketersediaan P pada Ultisol di Sulawesi Selatan. Komisi Promotor dan Ko-Promotor: Prof.Ir., Eko Handayanto, MSc., PhD., Prof.Dr.Ir. Syekhfani MS., Dr.Ir. Yulia Nuraini, MS.

---

Sebagian besar wilayah lahan kering masam di Sulawesi Selatan yang mencakup luasan 9.521.651 ha didominasi oleh Ultisol. Tanaman yang sering dibudidayakan adalah ubi kayu, lengkuas, rumput gajah, beberapa jenis tanaman semusim. Namun demikian, produksi yang dihasilkan umumnya masih rendah. Hal ini disebabkan oleh rendahnya P tersedia pada tanah masam Ultisol tersebut. Rendahnya P tersedia tanah tersebut terkait dengan rendahnya pH tanah ( $< 5.5$ ) serta tingginya kelarutan Al. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol di Sulawesi Selatan tersebut adalah dengan aplikasi bahan organik, baik berupa sisa tanaman, pupuk organik dan kompos. Namun demikian, sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah yang cukup berlimpah di wilayah tersebut belum banyak digunakan oleh petani untuk memperbaiki produktivitas tanah. Hal ini terjadi karena terbatasnya informasi tentang peran sisa tanaman segar dan kompos sisa tanaman dalam meningkatkan ketersediaan P tanah.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dan mempelajari (1) karakteristik asam organik dari ekstrak sisa tanaman segar dan ekstrak kompos sisa tanaman, serta uji kemampuan asam organik dari sisa tanaman dan asam organik dari kompos sisa tanaman terhadap kelarutan P dari baruan fosfat alam, (2) pengaruh aplikasi asam organik dari ekstrak kompos sisa tanaman terhadap ketersediaan P tanah, dan (3) pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman terhadap serapan P oleh tanaman jagung.

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap yaitu, (1) Karakterisasi asam organik dari ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung, serta uji kemampuan asam organik dari sisa segar tanaman padi, jagung, dan kacang tanah dan asam organik dari kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah, dalam melarutkan P dari baruan fosfat alam, (2) Uji pengaruh aplikasi asam organik dari ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah terhadap ketersediaan P tanah, dan (3) Uji pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap serapan P oleh tanaman jagung. Penelitian tahap 1, dan 2, dilaksanakan di laboratorium, sedangkan penelitian tahap 3 dilaksanakan di kebun percobaan Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Batangkaluku, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan bulan Desember 2012 sampai dengan Pebruari 2014.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) Ekstrak sisa segar tanaman padi, jagung dan kacang tanah hanya mengandung asam sitrat dan asam laktat (asam organik molekul rendah), sedangkan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah selain mengandung asam organik bermolekul rendah (asam laktat, asam malat, dan asam asetat), juga mengandung asam organik bermolekul tinggi (asam humat dan asam fulvat), (2) Kemampuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah melepaskan P dari batuan fosfat alam lebih baik dibandingkan ekstrak sisa segar tanaman padi, jagung dan kacang tanah, (3) Aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan

kacang tanah berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan ketersediaan P tanah; peningkatan ketersediaan P tertinggi akibat aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah, dan (4) Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah meningkatkan ketersediaan P tanah dan serapan P oleh tanaman jagung. Aplikasi 25 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah /ha meningkatkan 416,98% serapan P oleh tanaman jagung bila dibandingkan dengan kontrol.

## SUMMARY

**KASIFAH.** Postgraduate Program, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya. Application of Organic Acid and Compost Generated from Plant Residues to Improve P Availability in an Ultisol of the South Sulawesi. Advisory Committees: Prof.Ir. Eko Handayanto, MSc., PhD., Prof. Dr.Ir. Syekhfani, MS., and Dr.Ir. Yulia Nuraini, MS.

---

Most of acid upland areas in South Sulawesi that covers an area of 9,521,651 ha is dominated by Ultisols. Plants commonly cultivated in the areas are cassava, ginger, elephant grass, some types of crops. Nevertheless, the production are generally low. This is caused by low content of available P in the soils. The low content of available soil P is associated with low soil pH (<5.5) and high solubility of Al. One effort that can be made to increase availability of P in Ultisols of South Sulawesi is application of organic materials, either in the form of crop residues, organic fertilizers and composts. However, harvest residues of rice, maize and groundnut that are quite abundant in the region have not been widely used by farmers to improve soil productivity. This is because of limited information about the role of crop residues and composts in improving soil P availability.

The objectives of this study were study (1) the characteristics of the organic acids from fresh crop residues and compost extracts, and the ability of the organic acids to solubilize P of natural rock phosphate, (2) the effect of the application of organic acids from crop residues and compost extracts on soil P availability, and (3) the effect of compost application on P uptake by maize.

The experiment was conducted in three phases, i.e. (1) characterization of organic acids from plant residue and compost extracts of rice, maize, and groundnut, and to study the ability of the organic acids to solubilize P from natural rock phosphate, (2) test the effect of the application of organic acids from compost extract leftover rice, corn, and peanuts on the availability of soil P, and (3) to elucidate the effect of application of groundnut compost on P uptake by maize. The first and second phases of this study were carried out in a laboratory, while the third phase was conducted at experimental field of Center for Agricultural Extension (BBPP) Batangkaluku, Gowa, South Sulawesi. The overall activities were carried out from December 2012 to February 2014.

The results showed that: (1) extracts of harvest residues of rice, maize and groundnut only contained citric and lactic acids (low-molecular organic acids), while that of harvest residue compost of rice, maize and groundnut contained in low-molecular organic acids (lactic, malic, and acetic acids) as well as high-molecular organic acids (humic and fulvic acids), (2) the ability to composts of harvest residues of rice, maize and groundnut in solubilizing P from natural rock phosphate was better than extracts of fresh rice, maize and groundnut harvest residues, (3) application of rice, maize and groundnut harvest residues significantly increased the availability of soil P; the highest increase in the availability of P was due to application of groundnut harvest residue, and (4) application of compost of groundnut harvest residues increased the availability of soil P and P uptake by maize. Application of 25 t/ha compost of groundnut harvest residue / ha increased 416.98% of P uptake by maize when compared to control.

## KATA PENGANTAR

Begitu banyak pihak yang terlibat dalam penyelesaian disertasi ini. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih dan Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Salawat dan salam tak lupa penulis haturkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW.

Penghargaan yang sebesar-besarnya kepada: Bapak Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D., selaku promotor, Bapak Prof. Dr. Ir. Syekhiani, MS, dan Ibu Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS., masing-masing selaku ko-promotor, penulis sangat bersyukur dan merasa bangga atas kesediaan, perhatian yang sangat besar, ketulusan, keikhlasan, dan dengan penuh kesabaran, serta motivasi yang luar biasa diberikan kepada penulis selama ini. Terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Bapak dan Ibu penguji: Bapak Prof. Dr. Ir. M. Luthfi Rayes, M.Sc., Bapak Dr. Ir. Budi Prasetyo, MP., dan Ibu Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc., Ph.D., serta Ibu penguji eksternal Dr. Ir. Netty, M.Si, atas arahan, masukan, saran, dan evaluasi yang diberikan untuk kesempurnaan tulisan ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Soemarno, M.S. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU., atas perhatian, arahan dan motivasi yang diberikan dan sangat besar manfaatnya sampai saat ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. Dirjen Pendidikan Tinggi melalui BPPS, yang telah memberikan beasiswa selama penulis menempuh pendidikan Doktor pada Program Pascasarjana Universitas Brawijaya.
2. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar, Ketua Badan Pelaksana Harian (BPH) Universitas Muhammadiyah Makassar, dan Dekan Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Makassar, atas kesempatan yang diberikan untuk melanjutkan pendidikan Doktor di Universitas Brawijaya.
3. Rektor Universitas Brawijaya, Direktur Program Pascasarjana, Ketua Program Pascasarjana (PDIP), dan Koordinator Minat Studi Agroteknologi Program Pascasarjana Universitas Brawijaya, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas pendidikan selama penulis mengikuti pendidikan pada Program Pascasarjana Universitas Brawijaya.
4. Segenap dosen dan karyawan pada Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, terkhusus kepada Ibu Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, PhD, Bapak Dr. Ir. Sudarto, MS, dan Bapak Dr. Ir. Sugeng Priyono, SU, atas bantuan dan dukungan moril, Staf dan karyawan laboratorium: Mbak Andari dan Mas Wahyu (Lab. Kimia Tanah), Pak Ngadirin (Lab. Fisika Tanah), Pak Sarkam (Lab. Biologi Tanah), Pak Suhamtono (Lab. GIS), Pak Kasran dan staf (UPT Kompos), serta Mas Fian, terima kasih atas bantuannya selama penelitian.
5. Kepala BBPP Gowa dan Bapak/Ibu Widyaiswara, terima kasih atas bantuan dan partisipasinya selama penulis mengadakan penelitian di Kebun Percobaan BBPP Batangkaluku.

6. Bapak Ir. H. Muh. Syaiful Saleh, M.Si. dan istri, sahabatku Prof. Ir. Sumbangan Baja, M.Sc. Ph.D., Ir. Muh. Ramli, M.P., Hj. Syamsia, SP., M.Si., dan Dr. Ir. Netty, M.Si., terima kasih atas dukungan dan dorongan semangat yang diberikan kepada penulis selama ini.
7. Sahabat-sahabat di Program Pascasarjana Fakultas Pertanian (PPs-FP), Program Doktor Ilmu Pertanian (PDIP) “Agroekoteknologi angkatan 2011” pada umumnya, dan sahabat-sahabat “Minat Manajemen Sumberdaya Lahan dan Lingkungan (MSDL) angkatan 2011” khususnya: Pak Atekan, Pak Ramli, Pak Budi, Bu Aida, Pak Islah, dan Pak Jody, serta kepada Pak Fadhli, Pak Jun, Bu Etty, Bu Sri, Pak Ben, dan Pak Mais, penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan, persaudaraan, kekompakan, ketulusan, dorongan, dan persahabatan yang terjalin selama ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya, khusus penulis haturkan kepada Ayahandaku H. Muh. Saing Nengke, BA (alm) dan Ibundaku Hj. Saenab tercinta, atas bimbingan, doa restu, keikhlasan dan kasih sayang serta wejangan yang selalu diberikan kepada penulis sampai saat ini untuk selalu fokus, tabah, sabar, dan tawakkal selama penulis menempuh pendidikan. Kepada Ayahanda dan Ibunda mertuaku, terima kasih atas doa, dorongan moril dan perhatiannya selama penulis menempuh pendidikan. Kepada Kakak dan adik-adikku, saudara-saudara iparku, terima kasih atas doa dan dukungan morilnya. Terkhusus kepada suamiku tercinta Andi Nurson Petta Pudji, S.Ag., M.PdI, dan anak-anakku tersayang: Aditya Chandra Meinaldy (Adit), Andika Surya Rachmat (Dede), dan Andi Muhammad Ma'mun Nizham (Andi Nizham), terima kasih atas kesabaran, pengorbanan, keikhlasan, perhatian, kesetiaan dan cinta kasihnya, serta dorongan yang senantiasa diberikan kepada penulis yang menjadi ujung tombak semangat dalam menempuh pendidikan ini. Kepada semua pihak yang tidak sempat disebutkan satu per satu, penulis mengucapkan terima kasih.

Akhirnya penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu saran dan masukan sangat penulis harapkan. Terima kasih.

Malang, September 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>v</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Ultisol .....	6
2.2. Permasalahan Fosfor pada Ultisol .....	6
2.3. Upaya Mengatasi Permasalahan Fosfor pada Ultisol .....	8
2.4. Asam Organik dan Ketersediaan P tanah .....	10
<b>III. KERANGKA PENELITIAN DAN HIPOTESIS</b> .....	<b>15</b>
3.1. Kerangka Penelitian .....	15
3.2. Hipotesis .....	17
<b>IV. BAHAN DAN METODE</b> .....	<b>18</b>
4.1. Penelitian I: Karakterisasi Asam Organik dari Sisa Tanaman .....	18
dan Kompos serta Uji Kemampuan Ekstrak dari Sisa Tanaman .....	18
dan Kompos dalam Melepaskan P .....	18
4.1.1. Tujuan .....	18
4.1.2. Tempat dan Waktu .....	18
4.1.3. Bahan .....	18
4.1.4. Pelaksanaan .....	19
4.2. Penelitian II: Pengaruh Aplikasi Ekstrak Asam Organik dari .....	23
Kompos terhadap Ketersediaan P pada Ultisol .....	23
4.2.1. Tujuan .....	23
4.2.2. Tempat dan Waktu .....	24
4.2.3. Bahan .....	24
4.2.4. Pelaksanaan .....	24
4.3. Penelitian III: Pengaruh Aplikasi Kompos Sisa Tanaman .....	26
kacang tanah terhadap Serapan P oleh Tanaman Jagung .....	26
4.3.1. Tujuan .....	26
4.3.2. Tempat dan Waktu .....	27
4.3.3. Bahan .....	27
4.3.4. Pelaksanaan .....	27

<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
5.1. Karakteristik Asam-Asam Organik dari Sisa Tanaman dan Kompos, serta Kemampuan Ekstrak Sisa dari Tanaman dan Kompos dalam Melarutkan P .....	29
5.1.1. Karakteristik asam-asam organik dari ekstrak sisa tanaman dan kompos.....	29
5.1.2. Pengaruh Aplikasi Ekstrak Sisa Tanaman dan Kompos dalam Melarutkan P dari BFA .....	33
5.1.3. Kesimpulan .....	41
5.2. Pengaruh Aplikasi Ekstrak Kompos dan Kompos terhadap Ketersediaan P .....	42
5.2.1. P-tersedia tanah.....	42
5.2.2. Kesimpulan .....	58
5.3. Pengaruh Kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap P tersedia, Serapan P, Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung pada Ultisol.....	59
5.3.1. Kemasaman dan P tersedia tanah saat panen .....	59
5.3.2. Pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung....	63
5.3.3. Pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap serapan P oleh tanaman jagung .....	71
5.3.4. Kesimpulan .....	77
5.4. Pembahasan Umum .....	78
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>87</b>
6.1. Kesimpulan.....	87
6.2. Saran.....	88
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>89</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>99</b>

## DAFTAR TABEL

1.	Analisis kandungan kimia kompos jerami, jagung, dan kacang tanah.....	21
2.	Susunan perlakuan uji kelarutan P dalam ekstrak air sisa tanaman dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah.....	23
3.	Hasil analisis Ultisol Sulawesi Selatan dan Alfisol Malang Selatan .....	25
4.	Perlakuan percobaan ekstrak asam organik dari kompos dan kompos dari sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah.....	26
5.	Perlakuan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah pada Ultisol dari Moncongloe .....	28
6.	Pengaruh inkubasi ekstrak kompos dan kompos terhadap perubahan Al-P pada Ultisol dan Alfisol.....	51
7.	Pengaruh inkubasi ekstrak kompos dan kompos terhadap perubahan Fe-P pada Ultisol dan Alfisol.....	54
8.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap tinggi tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan .....	65
9.	Perhitungan recovery P oleh tanaman jagung varietas Gumarang pada Ultisol.....	67
10.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap bobot kering tajuk tanaman dan bobot kering akar tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan .....	73
11.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap hasil tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan .....	74
12.	Hubungan antara dosis kompos sisa tanaman kacang tanah dengan P tanah tersedia dan serapan P tanaman jagung varietas Gumarang .....	75

## DAFTAR GAMBAR

1	Mekanisme pembebasan orthofosfat yang terikat oleh Al dan Fe oleh asam-asam organik .....	14
2.	Kerangka alur penelitian peningkatan ketersediaan P pada Ultisol dengan aplikasi asam organik dan kompos dari sisa tanaman .....	16
3.	Sisa tanaman yang digunakan dalam penelitian: (a) Sisa tanaman padi; (b) Sisa tanaman jagung; (c) Sisa tanaman kacang tanah .....	19
4.	Proses pembuatan ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos: Delapan g sisa tanaman atau kompos + 200 mL air suling (a), dikocok selama 8 jam (b), kemudian disaring dengan kertas saring Whatman 42 (c), hasil ekstrak sisa tanaman dan kompos (d)..	20
5.	Kompos sisa tanaman padi (a), jagung (b), dan kacang tanah (c) .....	20
6.	Konsentrasi asam organik bermolekul rendah dari dari ekstrak sisa tanaman (ET) padi, jagung, dan kacang tanah, dan ekstrak kompos (EK) sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah.....	30
7.	Konsentrasi asam-asam organik (molekul rendah dan molekul tinggi) dari ekstrak sisa tanaman (ET) padi, jagung, dan kacang tanah, dan ekstrak kompos (EK) sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah.....	30
8.	Konsentrasi P larut dari BFA dalam ekstrak sisa tanaman dan kompos, selama inkubasi 56 hari.....	34
9.	Pengaruh aplikasi ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap P tersedia pada Ultisol, selama inkubasi 63 hari. ....	43
10.	Pengaruh aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap P tersedia Alfisol, selama inkubasi 63 hari.....	43
11.	Pengaruh ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap perubahan Aldd tanah Ultisol, selama inkubasi 63 hari .....	46
12.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap perubahan pH Ultisol pada akhir percobaan.....	60
13.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap P tanah tersedia saat panen .....	61
14.	Hubungan antara P tersedia tanah dan bobot kering tongkol (g) dan bobot biji jagung per tongkol (g).....	63
15.	Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap total serapan P tanaman jagung varietas Gumarang.....	69
16.	Hubungan antara P tersedia dalam tanah dan serapan P tajuk tanaman dan serapan P biji per tongkol jagung varietas Gumarang .....	69
17.	Hubungan antara P tersedia dalam tanah dan total serapan P pada tanaman jagung varietas Gumarang.....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

1.	Metode analisis tanah dan bahan organik.....	100
2.	Rekapitulasi data hasil penelitian Tahap I.....	104
3.	Rekapitulasi data hasil penelitian Tahap II.....	105
4.	Deskripsi jagung varietas Gumarang .....	106
5.	Dokumentasi penelitian Tahap III.....	107
6.	Peta Jenis Tanah Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan.....	108
7.	Peta Jenis Tanah Kabupaten Malang .....	109
8.	Glosarium .....	110

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Di Sulawesi Selatan, luas lahan kering masam adalah 9.521.651 ha yang didominasi oleh Ultisol (1.529.242 ha) (Mulyani *et al.*, 2004; Puslitbangtanak, 2000). Ultisol sering diidentikkan dengan tanah yang tidak subur. Tanaman yang sering dibudidayakan adalah ubi kayu, lengkuas, rumput gajah, beberapa jenis tanaman semusim. Namun demikian, produksi tanaman sangat rendah. Hal ini terkait dengan sifat Ultisol yang mempunyai kemasaman tanah dan kejenuhan  $Al_{dd}$  tinggi, Kapasitas Tukar Kation rendah (kurang dari 24 me/100g tanah), kandungan nitrogen, fosfat dan kalium tanah rendah, serta sangat peka terhadap erosi (Subagyo *et al.*, 2000). Tingginya  $Al_{dd}$  tersebut membatasi pertumbuhan perakaran dan menurunkan produksi tanaman akibat keracunan Al (Watanabe *et al.*, 2006). Selain keracunan Al, kekahatan P merupakan salah satu kendala penting bagi usaha tani di lahan masam (Thao *et al.*, 2008; Setiawati *et al.*, 2009; Vitousek *et al.*, 2010). Pada tanah masam, sebagian besar hara P yang ditambahkan ke dalam tanah akan mengalami proses transformasi menjadi bentuk-bentuk Al-P dan Fe-P (Bates and Lynch, 2001). Bentuk-bentuk P tersebut relatif tidak larut dalam tanah, dengan demikian ketersediaan hara P dalam tanah masam relatif rendah (Setiawati *et al.*, 2009). Oleh karena itu upaya untuk memperbaiki ketersediaan P tanaman merupakan tindakan yang sangat penting bagi pengelolaan tanah masam.

Menurut Hairiah (2000), alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi persoalan tanah masam berkadar Al tinggi, adalah melalui penambahan bahan organik. Tingginya kandungan  $Al_{dd}$  dan tingginya jerapan P, pada tanah-tanah masam juga dapat dikurangi melalui khelasi senyawa humik (Winarso *et al.*,

2009). Penambahan bahan organik dapat meningkatkan ketersediaan P tanah melalui: (1) Pelepasan P melalui mineralisasi; (2) Pelepasan P dari kompleks jerapan melalui mekanisme khelasi antara Al dan Fe dengan bahan organik melalui gugus fungsional dan asam-asam organik; dan (3) Melalui *priming effect* (Stevenson, 1982). Asam-asam organik dari bahan-bahan organik atau yang dihasilkan selama proses dekomposisi bahan organik (Verlinden *et al.*, 2009), dapat bereaksi dengan Al membentuk senyawa organo-Al kompleks atau Al-khelat (Hiradate *et al.*, 2007). Pembentukan kompleks aluminium organik ini, akan menurunkan kadar aluminium sampai mencapai batas kadar yang tidak lagi membahayakan pertumbuhan tanaman, dan di samping itu, bahan organik dapat memasok unsur hara fosfor (Zalba dan Peinemann, 2002).

Hasil penelitian Minardi *et al.* (2007) menunjukkan bahwa bahan organik dengan kandungan total humat dan fulvat tertinggi, berperan sangat nyata terhadap ketersediaan P. Pemberian bahan organik *Gliricidia sepium*, mampu meningkatkan ketersediaan P tersedia sebesar 53,61%. Dari hasil penelitian itu dapat diketahui bahwa penggunaan bahan organik dari *Gliricidia sepium*, pupuk kandang sapi, dan sisa tanaman padi, dapat menurunkan konsentrasi Al, meningkatkan pH tanah, meningkatkan P tersedia, dan meningkatkan hasil (bobot tongkol) tanaman jagung manis khususnya pada tanah masam seperti Andisol. Wahyudi *et al.* (2010) menyatakan bahwa pemberian kompos *Gliricidia* dan *Tithonia* secara nyata menurunkan konsentrasi  $Al_{dd}$ , meningkatkan kadar  $Al_{chelate}$ , meningkatkan pH tanah, meningkatkan P tersedia, dan meningkatkan serapan P tanaman jagung umur 45 hari yang ditanam pada tanah Ultisol.

Hu *et al.* (2005) yang meneliti peran asam organik dan fenolik terhadap mobilisasi fosfor pada tanah masam di Western Australia melaporkan, bahwa beberapa jenis asam fenolik lebih efektif daripada asam sitrat dalam

meningkatkan ketersediaan P, setelah diinkubasi selama 14 hari. Jumlah gugus hidroksil di ligan berperan penting dalam memobilisasi P. Selanjutnya dijelaskan, bahwa pada tanah masam yang didominasi Fe, pemberian asam organik setelah diinkubasi selama 14 hari memiliki P tersedia yang jauh lebih besar dibanding yang baru diinkubasi 1 hari. Besarnya peningkatan tersebut berkisar 0,74-3,2 kali lebih besar dari sebelumnya. Peran asam organik PCA (*protocatechuic acid*) dan VAN (*vanillic acid*/asam vanilat) adalah tertinggi dalam meningkatkan P tersedia, sedang CIT (*citric acid*/asam sitrat) dan CAF (*Caffeic acid*) yang terendah. P tersedia meningkat seiring dengan waktu inkubasi asam organik pada tanah tersebut.

Meskipun telah banyak penelitian tentang peran penting asam organik yang dilepaskan oleh bahan organik dalam meningkatkan ketersediaan P pada tanah masam, teknologi ini belum banyak digunakan untuk perbaikan produktivitas Ultisol di lahan kering masam di Sulawesi Selatan. Hal ini terjadi karena terbatasnya informasi tentang bahan organik, karakteristik asam organik dari sisa tanaman maupun dari kompos yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol di Sulawesi Selatan. Faktor yang mendukung pemilihan bahan organik ini adalah berdasarkan ketersediaan dan kelimpahannya di lapangan khususnya di Sulawesi Selatan dan potensi penggunaannya sebagai pupuk organik. Sisa tanaman padi mengandung lignin 7% (Jackson, 2007), polifenol 0,53%, selulosa 22,90% (Minardi *et al.*, 2007), hemiselulosa 25% (Jackson, 2007), N 0,82%, P 0,50%, dan K 1,63% (Ruskandi dan Setiawan, 2003). Sisa tanaman jagung mengandung lignin 7% polifenol 0,73% , selulosa 36,65% dan hemiselulosa 26,00% (Jackson, 2007), N 0,92%, P 0,29%, K 1,33% (Ruskandi dan Setiawan, 2003). Sisa tanaman kacang tanah mengandung lignin 2,90% (Keer *et al.*, 1983), N 2,64%, P 0,56%, dan K 1,17%

(Dahlan dan Darmansyah, 2011). Menurut Hairiah (2000), kriteria pemilihan bahan organik yang berkualitas adalah: (1) Nisbah C/N rendah; (2) Kandungan lignin rendah (<15%); (3) Kandungan polifenol rendah (4%); (4) P total >0,25%; dan (5) C/P <200.

Di wilayah lahan kering masam di Sulawesi Selatan banyak tersedia sisa tanaman, antara lain padi, jagung dan kacang tanah. Namun demikian, sisa tanaman tersebut umumnya hanya digunakan sebagai pakan ternak atau bahkan dibakar.

## **1.2. Permasalahan**

- 1) Produksi tanaman pangan di lahan kering masam di Sulawesi Selatan sangat rendah karena rendahnya ketersediaan P tanah Ultisol yang mendominasi lahan kering masam di Sulawesi Selatan. Ketersediaan P pada tanah Ultisol di Sulawesi Selatan dapat ditingkatkan dengan penambahan sisa tanaman sebagai bahan organik dan asam organik, baik dari ekstrak segar sisa tanaman maupun ekstrak kompos sisa tanaman.
- 2) Di lahan kering masam di Sulawesi Selatan banyak tersedia sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah yang dapat digunakan sebagai bahan organik dan sumber asam organik untuk meningkatkan ketersediaan P pada tanah Ultisol. Namun demikian, hal tersebut belum banyak dilakukan oleh petani karena terbatasnya informasi tentang jenis bahan organik, karakteristik asam organik dari sisa tanaman maupun dari kompos yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol di Sulawesi Selatan yang kemudian meningkat pertumbuhan dan produksi tanaman pangan.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

- 1) Mengetahui dan mempelajari karakteristik asam-asam organik yang diekstrak dari bahan organik sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah baik dalam bentuk segar maupun yang sudah dikomposkan, dan kemampuannya dalam melarutkan P dari sumber fosfat alam.
- 2) Mengetahui dan mengungkap pengaruh asam-asam organik yang diekstrak dari kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah terhadap ketersediaan P tanah.
- 3) Mengetahui dan mempelajari pengaruh kompos dari sisa tanaman terpilih (sisa tanaman kacang tanah) dalam meningkatkan serapan P oleh tanaman jagung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Ultisol

Ultisol meliputi 48,3 juta hektar, yang tersebar luas di Pulau Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, dan Papua. Di Sulawesi Selatan, luas Ultisol sekitar 1.529.242 ha (Mulyani *et al.*, 2004; Puslitbangtanak, 2000). Ultisol, merupakan tanah mineral yang berkembang dan mengalami pelapukan lanjut dan pencucian yang intensif, terbentuk di daerah beriklim basah dengan curah hujan lebih dari 2000 mm per tahun tanpa bulan kering. Adanya curah hujan yang tinggi, menyebabkan reaksi kimia berjalan cepat, sehingga proses pelapukan dan pencucian berjalan cepat yang kemudian mengubah tanah menjadi masam (Giaveno dan Filho, 2000; Miranda *et al.*, 2005). Selain itu, kandungan Al, Fe, dan Mn menjadi tinggi serta dapat bersifat racun bagi tanaman. Suhu yang tinggi di daerah tropika menunjang terjadinya pembentukan mineral liat yang didominasi oleh mineral liat kaolinit dan gipsit. Proses pencucian liat menghasilkan horizon albik di lapisan tanah bawah. Bersamaan dengan pencucian liat, juga terjadi podsolisasi di mana sesquioksida besi dipindahkan dari horizon albik ke horizon argilik. Horizon argilik ini mempunyai kandungan liat lebih tinggi daripada horizon di atasnya (Mulyani *et al.*, 2004).

### 2.2. Permasalahan Fosfor pada Ultisol

Faktor pembatas utama untuk produktivitas pertanian pada tanah masam terutama karena toksisitas kelebihan aluminium (Al) (Goenaga, 2011), yaitu adanya aluminium beracun ( $Al^{3+}$ ) (Hoekenga *et al.*, 2006) di dalam tanah dan kurangnya unsur hara, terutama fosfor (P) (De Farias *et al.*, 2011).

Al adalah logam penting dalam fraksi mineral tanah (Pintro dan Taylor, 2004) dan menjadi faktor yang semakin penting dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produktivitas tanah (Goenaga dan Smith, 2002; Goenaga, 2011). Kehadiran Al sebagai kendala utama produktivitas tanah masam terjadi dalam bentuk yang berbeda di dalam larutan tanah.  $\text{Al}^{3+}$  hadir pada pH 4-5,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  dan  $\text{Al}(\text{OH})^+$  pada pH 5,5-7, dan  $\text{Al}(\text{OH})^{4-}$  pada pH 7-8. Ion kompleks lain seperti  $\text{AlO}_4\text{Al}_{12}(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}^{7+}(\text{Al}_{13})$ , juga bersifat racun. Tetapi tidak ada keracunan rizosfer terdeteksi untuk kehadiran  $\text{AlSO}_4^+$  dan  $\text{Al}(\text{SO}_4)_2^-$  atau Al-F (yaitu  $\text{AlF}^{2+}$  dan  $\text{AlF}_2^+$ ). Status dari  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  tidak tentu meskipun hasil penelitian mengindikasikan Al-OH bersifat racun (Pietraszewska, 2001). Salah satu gejala visual toksisitas Al pada tanaman adalah berkurangnya pertumbuhan akar (Zavas *et al.*, 1996, Goenaga dan Smith, 2002; Hoekenga *et al.*, 2006, Watanabe *et al.*, 2006, Goenaga, 2011). Pada pH <5, species  $\text{Al}^{3+}$  yang bersifat racun larut pada tingkatan yang menghambat pertumbuhan akar dan menurunkan produksi tanaman (Le Van dan Masuda, 2004; Watanabe *et al.*, 2006).

Fosfor adalah unsur hara utama yang berperan dalam pembentukan fosfolipid, asam nukleat, nukleosida, koenzim, dan ester fosfat tanaman (Watanabe dan Takada, 2006). Fosfor (P), adalah salah satu unsur hara makro yang membatasi produksi pertanian pada tanah-tanah masam di daerah tropis (Thao *et al.*, 2008; Setiawati dan Handayanto, 2010; Vitousek *et al.*, 2010). Pada kondisi kekurangan P, tanaman akan membentuk akar halus (rambut akar) dan massa akar yang lebih banyak untuk memperoleh P lebih dari tanah. Akar-akar tanaman mengeluarkan komponen khelat, sebagai senyawa-senyawa organik anion yang memobilisasi dan menggunakan senyawa fosfat tidak larut, seperti Al, Fe, dan Ca (Ryan *et al.*, 2001; Watanabe *et al.*, 2006). Akar juga melepaskan

enzim seperti asam fosfatase ( $AP_{ase}$ ) untuk menggunakan P organik (Dakora dan Phillips, 2002). Pada tanah masam, jenis fosfat yang paling umum ditemukan adalah vascite ( $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ ), yang diikuti strengite ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ) (Bashan *et al.*, 2013), oleh Richardson *et al.* (2009) disebut sebagai mineral yang sangat stabil.

### 2.3. Upaya Mengatasi Permasalahan Fosfor pada Ultisol

Telah diuraikan di atas bahwa faktor utama yang menghambat pertumbuhan dan produksi tanaman pada tanah masam Ultisol adalah tingginya kelarutan Al yang menyebabkan keracunan tanaman oleh Al, serta rendahnya ketersediaan P karena terbentuknya kompleks Al-P yang tidak tersedia bagi tanaman. Menurut Mikuta *et al.* (2006), di dalam tanah P dijerap di permukaan mineral atau di pori berukuran nanometer dari mineral tanah dan agregat.

Ketersediaan P pada tanah masam Ultisol sebenarnya dapat ditingkatkan melalui pemupukan P. Namun demikian, efisiensi pemupukan fosfor pada tanah masam umumnya kurang dari 20% karena fiksasi P melalui pengendapan dengan Fe dan Al dan absorpsi oleh Fe oksida (Setiawati *et al.*, 2009). Serapan fosfor mungkin menurun dengan peningkatan pH pada tanah masam yang disebabkan oleh pengendapan Fe dan Al oksida amorf. Anion organik dengan massa molekul rendah dapat berkoordinasi dengan Fe atau Al larut membuat beberapa kompleks yang lebih stabil dari Fe atau Al fosfat yang mencegah pembentukan fosfat Fe atau Al (Srivastava *et al.*, 2007).

Daya meracun Al terhadap tanaman yang disebabkan oleh tingginya kelarutan  $Al_{dd}$  pada tanah masam dapat diturunkan dengan pemberian asam organik. Asam organik hasil dekomposisi bahan organik bervariasi dari asam alifatik sederhana hingga asam aromatik dan heterosiklik. Asam organik yang paling efektif menurunkan keracunan Al adalah asam organik yang mengandung dua pasang OH/COOH yang digandeng pada dua karbon yang berdampingan

(sitrat dan tartarat), atau gugus COOH yang dihubungkan secara langsung (oksalat). Asam organik yang mengandung sepasang OH/COOH yang terikat pada rantai dua karbon yang berdampingan atau dua gugus COOH yang terikat pada karbon pusat (malonat), memiliki kemampuan yang sedang, dan asam organik yang tidak memiliki konfigurasi struktur tertentu adalah yang paling lemah dalam mengatasi keracunan Al (Hue *et al.*, 1986). Posisi relatif OH/COOH dalam konfigurasi struktur asam organik penting artinya, karena berkaitan dengan mekanisme penurunan aktifitas Al dengan membentuk struktur cincin dengan 5 atau 6 ikatan stabil antara Al dengan asam organik.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Winarso *et al.* (2009) menunjukkan bahwa untuk menetralkan atau menurunkan aktivitas Al pada tanah Ultisol (*Typic paleudult*) Kentrong Banteng (kadar  $Al_{dd}$  awal 6,7 me/100g dan pH 4,2), dibutuhkan 1000 ppm dalam perbandingan tanah:larutan adalah 1:5. Penurunan  $Al_{dd}$  tanah oleh senyawa humik tersebut berpengaruh pada P-larut tanah, baik desorpsi maupun adsorpsi P. Namun, penambahan sampai 3000 mg/L larutan humik, justru dapat menurunkan kelarutan P sebesar 49,15%. Penurunan  $Al_{dd}$  tanah, disebabkan aluminium mengendap menjadi  $Al(OH)_3$  akibat peningkatan pH, dan terkelat oleh gugus-gugus fungsional (khususnya COOH dan OH) yang dikandung oleh senyawa humik (Heim *et al.*, 2003; Kubicki dan Trout, 2003).

Sebagian besar limbah organik atau pertanian yang diberikan ke dalam tanah dalam bentuk kompos, mengandung senyawa humat (Li *et al.*, 2009; Winarso *et al.*, 2011). Kompos merupakan bahan-bahan organik yang telah mengalami pelapukan, seperti jerami, alang-alang, sekam padi, dan lain-lain termasuk kotoran hewan. Menurut Bernal *et al.* (2009), kompos adalah proses biooksidatif mineral dan proses humifikasi secara menyeluruh dari bahan

organik, yang mengarah ke produk akhir yang stabil dengan sifat tertentu seperti senyawa humat. Senyawa humik yang terkandung di dalam kompos, paling penting dan bertanggung jawab untuk fungsi-fungsi kesuburan organik dari kompos tersebut (Bernal *et al.*, 2009). Menurut Plaza *et al.* (2005), senyawa humat adalah senyawa organik yang dihasilkan secara biologis melalui proses pengomposan bahan-bahan organik, bersifat stabil, mengandung senyawa organik kompleks, selain itu juga mengandung karbon dioksida, air, dan mineral yang dilepaskan selama proses dekomposisi bahan organik.

Syarief *et al.* (2008) menyatakan bahwa senyawa humat dan fulvat dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Peningkatan tersebut menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur-unsur hara atau nutrisi. Senyawa humat dan fulvat membentuk kompleks dengan unsur mikro sehingga melindungi unsur tersebut dari pencucian oleh air hujan. Demikian pula, unsur N, P, dan K, diikat dalam bentuk organik atau dalam tubuh mikroorganisme sehingga dapat dipertahankan dan sewaktu-waktu dapat diserap oleh tanaman. Senyawa humat dan fulvat, mengikat dan mengatur pelepasan hara (*slow release*) sesuai kebutuhan tanaman sehingga dapat meningkatkan efektivitas penggunaan pupuk dan mengurangi kehilangan hara karena terlarut atau menguap.

#### **2.4. Asam Organik dan Ketersediaan P tanah**

Tanah mengandung asam organik struktural sederhana yang mempunyai berat molekul rendah dan mengandung senyawa C-, H-, dan O. Secara umum, konsentrasi asam organik di dalam tanah rendah. Konsentrasi asam organik dalam tanah berkisar antara 0,1-100  $\mu\text{mol/L}$ . Menurut Van Hees *et al.* (2002), konsentrasi asam organik dalam larutan tanah biasanya berkisar < 1 sampai 100  $\mu\text{mol/L}$ . Ketika konsentrasi asam organik rendah (yaitu, 10-100  $\mu\text{mol/L}$ ), maka

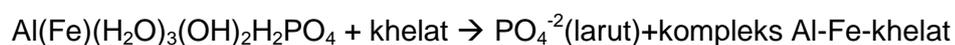
asam organik tersebut akan cepat termineralisasi oleh mikroorganisme tanah, dengan waktu tinggal rata-rata dalam tanah sekitar 0,5 sampai 2 jam (Van Hees *et al.*, 2003). Meski keberadaan asam organik di dalam tanah adalah singkat, namun asam organik dapat diproduksi dan dibentuk terus menerus. Oleh karena itu, asam organik memiliki peran yang sangat penting terutama untuk mobilisasi berbagai fosfat di dalam tanah.

Sumber bahan organik alami dalam tanah berasal dari substansi humus (*humic substances*), yang biasanya terakumulasi pada bagian lapisan atas tanah (*top soil*). Zat aktif atau kandungan utama dalam humus yang berperan terhadap kesuburan tanah adalah senyawa asam humat (*Humic acid*) dan asam fulvat (*Fulvic acid*). Senyawa-senyawa tersebut merupakan zat organik yang stabil dan merupakan hasil akhir dari proses dekomposisi bahan organik (Verlinden *et al.*, 2009).

Humat dan fulvat termasuk asam organik kompleks, aromatik, dengan berat molekul yang relatif tinggi (berat molekul > 2000). Senyawa humat, merupakan salah satu senyawa organik kompleks, komposisi struktural heterogen yang terdiri atas berbagai struktur aromatik dan alifatik, di antaranya karboksil dan fenolik. Tanah yang mempunyai kandungan humat yang tinggi, akan memiliki kesuburan yang lebih tinggi (Wershaw, 1992). Humat yang merupakan hasil akhir proses dekomposisi bahan organik, berwarna hitam kecoklatan, amorf, dapat diekstraksi (larut) dengan basa kuat, tidak larut dalam asam, dan relatif tahan terhadap degradasi serta mengandung muatan negatif yang dapat dipengaruhi pH (Schnitzer, 2001; Hiradate *et al.*, 2007). Humat dapat terdisosiasi menjadi ion yang aktif serta bersifat koloidal dan relatif stabil. Humat adalah zat organik yang memiliki struktur molekul kompleks dengan berat molekul tinggi (makromolekul), yang mempunyai berat molekul antara 22.000–

230.000 (5.000-300.000 dalton), berpolimerisasi tinggi, polielektrolit bermuatan negatif atau dapat disebut sebagai polimer organik yang mengandung gugus aktif seperti phenolic (MacCarthy, 2001; Banach-Szott dan Debska, 2008) dan carboxylic, serta kandungan C 50-62% (Schnitzer, 2001; Xu *et al.*, 2006).

Humat dan fulvat merupakan molekul polielektrolit yang bermuatan negatif (anion) pada pH >3. Prilaku ini akan menentukan kemampuan humat dan fulvat dalam mengkhelat Al. Pada pH >11, humat mampu mengkhelat dua kali lebih banyak daripada pH >7 (Alimin *et al.*, 2005). Telah dijelaskan sebelumnya oleh Aida *et al.* (2004), bahwa asam-asam organik berperan penting dalam menekan kelarutan ion logam dengan jalan membentuk kompleks organik atau khelasi. Humat dan fulvat mempunyai kemampuan tinggi dalam pembentukan khelat dengan beberapa kation, terutama aluminium dan besi. Proses pembentukan kompleks, khususnya dengan kation-kation penjerap P dalam tanah, diduga dapat menurunkan jerapan P dengan mekanisme sebagai berikut:



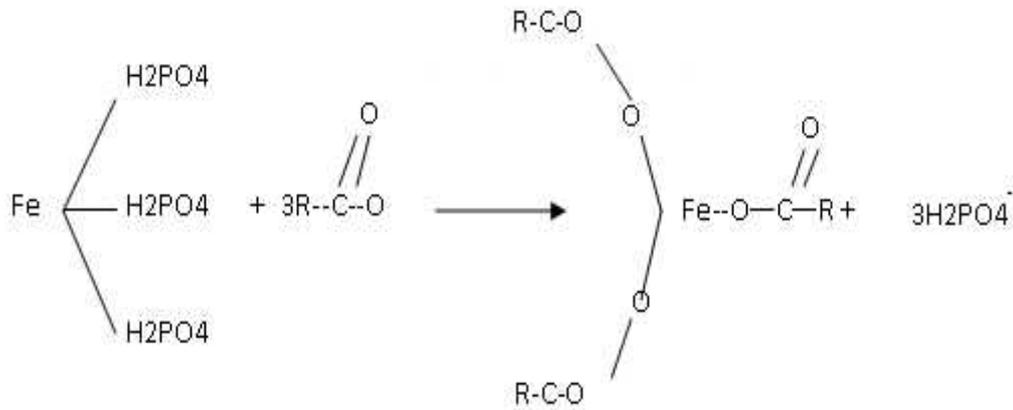
Menurut Alimin *et al.* (2005), pengkhelatan logam terjadi karena gugus fungsional dari humat dan fulvat mengalami deprotonasi yang dapat menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul, sehingga meningkatkan jumlah muatan negatif, yang menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid humat bermuatan negatif menjadi lebih terbuka serta berbentuk linier dengan meningkatnya pH. Dengan meningkatnya pH, akan meningkatkan konsentrasi  $\text{-COO}^-$  yang dapat berfungsi sebagai ligan pada humat dan fulvat.

Pengaruh pengkhelatan terhadap mobilitas logam disebabkan oleh adanya perubahan kelakuan ion. Setelah terjadi pengkhelatan, kation akan dikelilingi oleh ligan-ligan pengkhelat dan kation tersebut dapat ditransformasikan

ke dalam bentuk anion, sehingga anion tersebut akan ditolak oleh koloid bermuatan negatif. Stabilitas reaksi kimia antara humus dengan logam bervalensi tiga ( $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$ ) dalam membentuk kompleks paling kuat. Humat dan fulvat merupakan asam organik yang paling kuat dalam membebaskan orthofosfat dari Al dan Fe.

Adanya senyawa organik dalam jumlah yang cukup memungkinkan terjadinya khelat, yaitu senyawa organik yang berikatan dengan kation logam (Fe, Mn, dan Al). Terbentuknya khelat logam akan mengurangi pengikatan P oleh unsur-unsur tersebut, sehingga P menjadi lebih tersedia bagi tanaman. Beberapa peneliti menyatakan bahwa kelarutan Ca-P meningkat dengan penurunan pH tanah, karena untuk pelepasan  $\text{H}^+$  dari asam organik yang dikeluarkan dari akar tanaman (Hinsinger, 2001). Khelasi  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$  oleh anion organik menyebabkan pelepasan P-bound anorganik oleh kation ini dan anion organik bersaing dengan adsorpsi P pada permukaan partikel tanah yang merangsang desorpsi dari adsorpsi anion fosfat.

Mekanisme pembebasan orthofosfat yang terikat oleh Al atau Fe oleh asam-asam organik terjadi melalui pembentukan senyawa kompleks logam organik, oleh Kwong dan Huang (1979), digambarkan sebagai berikut: (1) Anion organik bersaing dengan orthofosfat pada permukaan koloid yang bermuatan positif; (2) Pelepasan orthofosfat dengan ikatan logam-P tertentu melalui pembentukan kompleks logam-organik; (3) Modifikasi muatan permukaan koloid oleh ligan organik (Gambar 1).



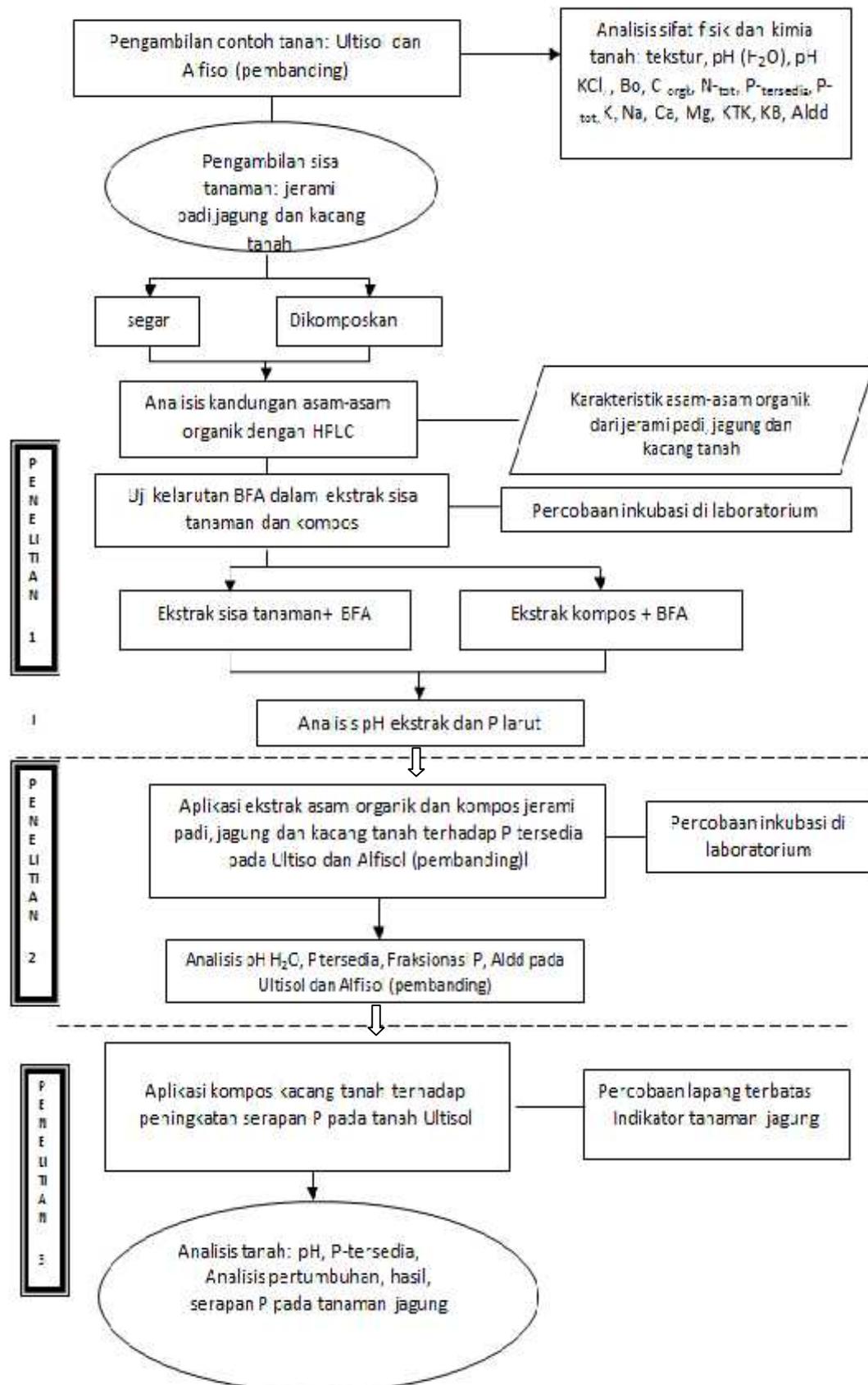
Gambar 1 Mekanisme pembebasan orthofosfat yang terikat oleh Al dan Fe oleh asam-asam organik

Selain asam organik bermolekul tinggi, di dalam tanah juga dijumpai asam organik bermolekul rendah, misalnya asam sitrat dan oksalat di tanah yang dikenal sejak lama. Hasil penelitian Peniwatri *et al.* (2001) pada Andisol menunjukkan bahwa meningkatnya ketersediaan P disebabkan oleh peran asam-asam organik berbagai molekul lemah. Peningkatan ketersediaan P dalam tanah oleh aktivitas asam-asam organik terhadap reduksi Al dan Fe aktif, terjadi karena hasil pertukaran ligan dari oksida besi dan Al dengan asam-asam organik. Namun demikian, konsentrasi asam organik bermolekul rendah dalam larutan tanah pada umumnya rendah, biasanya berkisar dari 1 sampai 50  $\mu\text{M}$ , dibandingkan dengan banyak zat anorganik terlarut dalam larutan tanah, misalnya  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  (Jones *et al.*, 2003).

### III. KERANGKA PENELITIAN DAN HIPOTESIS

#### 3.1. Kerangka Penelitian

Penelitian ini terdiri atas 3 tahap: (1) Tahap I: karakterisasi asam-asam organik dalam ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos sisa tanaman, yang dilanjutkan dengan uji kemampuan asam-asam organik dari ekstrak tersebut dalam melarutkan P dari sumber fosfat alam (Batuan Fosfat Alam= BFA). Ekstraksi terhadap sisa tanaman dan kompos dilakukan, agar asam-asam organik yang terkandung di dalam sisa tanaman dan kompos tersebut dapat secara langsung digunakan untuk menguji kelarutan P dari sumber fosfat alam. Pemilihan Batuan Fosfat Alam (BFA) sebagai sumber fosfat alam, karena BFA banyak mengandung P (P-total cukup tinggi) tetapi P tersedia rendah atau susah larut. Hasil penelitian Tahap I, diperoleh perlakuan yang terbaik dalam melarutkan P dari BFA, dan selanjutnya dipilih sebagai perlakuan pada penelitian tahap berikutnya; (2) Tahap II, pengaruh aplikasi ekstrak asam organik dari kompos terhadap ketersediaan P tanah. Pada penelitian Tahap II, perlakuan terbaik dalam meningkatkan P tersedia dipilih untuk aplikasi di lapangan pada penelitian Tahap III. (3) Tahap III, pengaruh aplikasi kompos tanaman kacang tanah terhadap peningkatan serapan P oleh tanaman jagung (sebagai tanaman indikator). Secara skematis kerangka alur penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka alur penelitian peningkatan ketersediaan P pada Ultisol dengan aplikasi asam organik dan kompos dari sisa tanaman

### **3.2. Hipotesis**

- 1) Asam organik dari sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah yang diekstrak segar dan dikomposkan, mempunyai karakteristik asam-asam organik yang berbeda dan kemampuan melepaskan P yang berbeda pula.
- 2) Ekstrak asam organik dari kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung dan sisa tanaman kacang tanah (tidak diekstrak), mempengaruhi ketersediaan P pada tanah.
- 3) Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah pada tanah Ultisol meningkatkan serapan P tanaman jagung.

## IV. BAHAN DAN METODE

### 4.1. Penelitian I: Karakterisasi Asam Organik dari Sisa Tanaman dan Kompos serta Uji Kemampuan Ekstrak dari Sisa Tanaman dan Kompos dalam Melepaskan P

#### 4.1.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) mengetahui karakteristik asam organik dari ekstrak sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah (segar), dan dari ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, dan (2) mengetahui dan mempelajari kemampuan ekstrak sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah (segar), serta ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah, dalam melepaskan P dari Batuan Fosfat Alam sebagai sumber fosfat alam.

#### 4.1.2. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya pada bulan Desember 2012 sampai dengan 16 April 2013.

#### 4.1.3. Bahan

Bahan yang digunakan adalah (1) sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah (Gambar 3) yang diperoleh dari lahan kering di Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, (2) batuan fosfat alam (BFA), dan (3) asam organik murni sebagai pembanding, yaitu asam sitrat, asam laktat, asam malat (masing-masing dengan konsentrasi 1 mM) dan senyawa humat komersial (1%). BFA yang digunakan adalah BFA dari pertambangan rakyat Sedayu Gresik dengan kadar  $P_2O_5$ -total= 12,78%), dan kadar  $P_2O_5$  asam sitrat 2%= 4,30% (atau 42989,03 ppm). Kandungan kation-kation yang lain, di antaranya: Ca (16,63%), Mg

(1,36%), Fe (1,12%), Mn (1,74%), Na (1,57%), K (175 ppm), Zn (127 ppm), dan Cu (32 ppm).

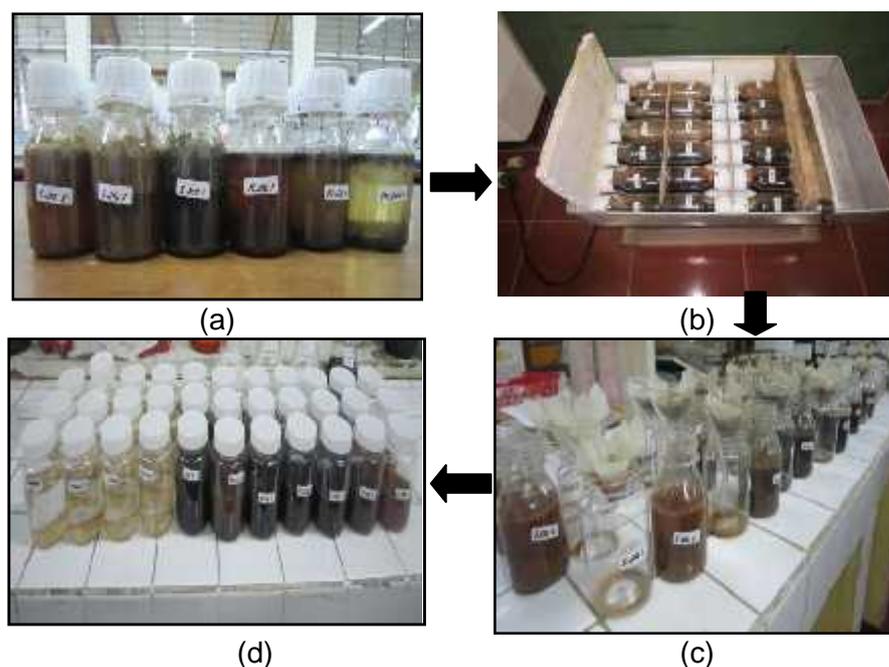
#### 4.1.4. Pelaksanaan

##### (a) Ekstraksi Sisa Tanaman

Sisa segar tanaman padi, jagung dan kacang tanah (masing-masing 3 kg), dikeringkan di oven pada suhu 65°C selama 48 jam (merujuk pada metode Meda *et al.*, 2001; Cassiolato *et al.*, 2002; Pavinato *et al.*, 2008), selanjutnya dihaluskan dan diayak dengan ayakan 2 mm. Sisa tanaman tersebut selanjutnya dibuat ekstrak dengan bahan pelarut air suling. Metode percobaan pembuatan ekstrak mengadopsi dengan yang dilakukan oleh Pavinato *et al.*, (2008). Masing-masing sisa tanaman (8 g; bahan kering angin dicampur dengan 200 mL air suling (perbandingan 1:25), setara 20 t/ha, selanjutnya dikocok dengan kocokan horizontal selama 8 jam (Cassiolato *et al.*, 2002), kemudian disaring dengan kertas saring (Whatman 42), sehingga dihasilkan ekstrak sisa tanaman. Proses pembuatan ekstrak sisa tanaman disajikan pada Gambar 4.



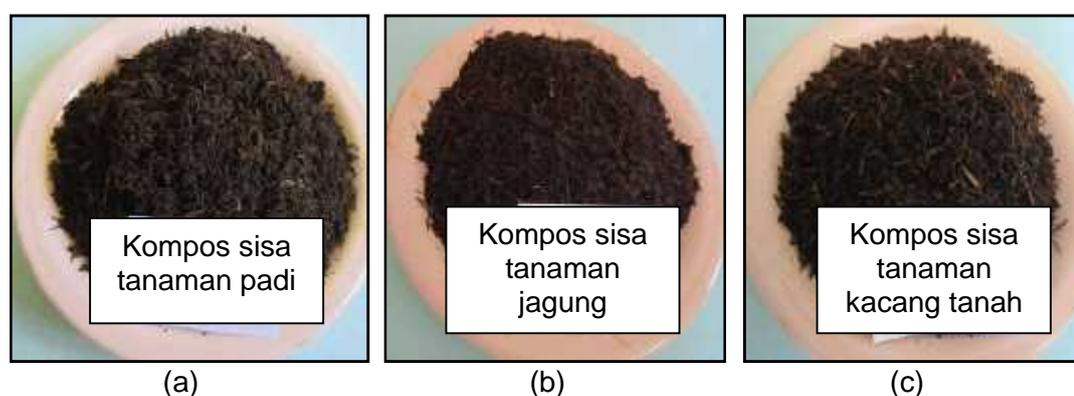
Gambar 3. Sisa tanaman yang digunakan dalam penelitian; (a) Sisa tanaman padi; (b) Sisa tanaman jagung; (c) Sisa tanaman kacang tanah



Gambar 4. Proses pembuatan ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos: Delapan g sisa tanaman atau kompos + 200 mL air suling (a), dikocok selama 8 jam (b), kemudian disaring dengan kertas saring Whatman 42 (c), hasil ekstrak sisa tanaman dan kompos (d)

#### (b) Pembuatan Kompos dan Ekstraksi Kompos

Sisa segar tanaman padi, jagung dan kacang tanah (masing-masing 30 kg) dikomposkan selama 2 bulan (Desember 2012-Januari 2013) di UPT Kompos Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Ekstrak kompos sisa tanaman diperoleh dengan cara yang sama untuk memperoleh ekstrak sisa tanaman (subbab 4.1.4a). Kompos sisa tanaman disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kompos sisa tanaman padi (a), jagung (b), dan kacang tanah (c)

Analisis komposisi kimia kompos meliputi: pH (pH meter), C-organik (Walkey and Black), N-total (Kjedahl), P, K, Na, Ca, Mg (metode pengabuan basah, HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>), nisbah C/N, dan nisbah C/P. Metode analisis sesuai dengan petunjuk teknis Balai Penelitian Tanah (2005). Hasil analisis komposisi kimia kompos disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis kandungan kimia kompos jerami, jagung, dan kacang tanah

No	Jenis analisis	Metode	Kompos		
			Sisa tanaman padi	Sisa tanaman jagung	Sisa tanaman kacang tanah
1	pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	pH meter	7,8	7,4	7,2
2	N-total (%)	Kjedahl	1,83	3,02	1,98
3	C-organik (%)	Walkey and Black	19,11	21,49	14,30
4	C/N		10,44	7,11	7,22
5	P total (%)	HCl 25%	0,26	0,56	0,41
6	K (%)	HCl 25%	0,87	1,53	2,47
7	Ca (%)	HCl 25%	1,24	1,38	1,39
8	Mg (%)	HCl 25%	0,62	0,99	0,83
9	Na (%)	HCl 25%	1,47	1,73	4,33
10	C/P		73,50	38,38	34,88
11	Humat (ppm)		2181,00	2278,00	193,00
12	Fulvat (ppm)		1621,00	1777,00	2104,00

### (c) Analisis Asam Organik

Analisis kandungan asam organik dari sisa tanaman dan kompos dilakukan dengan menggunakan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Analisis dilaksanakan di laboratorium LIPI Bogor. Analisis ini dilaksanakan selama 3 minggu yaitu pada bulan Februari 2013. Cara penetapan asam organik dilakukan berdasarkan metode AOAC (*Association of Official Analytical Chemistry*, 2006) sebagai berikut: pada 10 g sampel ditambahkan 10 mL asetonitril (CH<sub>3</sub>CN), dicampur merata dengan menggunakan blender mikro pada temperatur 4<sup>o</sup>C, kemudian disaring dengan kertas saring Whatman 42.

Sepuluh mL campuran sampel dan asetronitril dielusi pada kolom silika diameter 10  $\mu\text{m}$ , dibiarkan selama 10 menit, kemudian dielusi kembali dengan 10 mL asetronitril. Asam-asam organik akan tertinggal pada kolom yang kemudian dielusi dengan larutan metanol 2 x 10 mL. Ekstrak metanol kemudian dikeringkan dalam *freeze dryer* pada  $-50^{\circ}\text{C}$ , selama 30 menit. Setelah kering, 10 mL phase gerak (methanol 0,08 MH2 Joy) disaring dengan menggunakan 0,2  $\mu$  miliphore. Kemudian 20  $\mu\text{L}$  contoh diinjeksi pada HPLC, Column Bondapaq Q 10  $\mu$  miliphore pada temperatur ruang dengan menggunakan detektor ABS 25 nm, laju alir 1 mL/menit isocratic system. Hasil chromatogram dibandingkan dengan contoh standar (baku standar). Perhitungan g/mL contoh = luas areal contoh x 10 g/L: luas areal standar.

**(d) Uji kemampuan ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos dalam melepaskan P**

Ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos (200 mL) di masukkan ke dalam botol plastik ukuran 250 mL kemudian ditambahkan 0,4 g BFA (setara 100 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), dan diinkubasi selama 56 hari (8 minggu), pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ - $27^{\circ}\text{C}$  (Pavinato *et al.*, 2008). Pada percobaan ini juga digunakan larutan pembanding berupa asam-asam organik murni, asam sitrat 1 mM, larutan asam laktat 1 mM, larutan asam malat 1 mM, dan senyawa humat 1%. Pemilihan jenis asam-asam organik ini ditentukan berdasarkan hasil analisis (subbab 4.1.4c). Sebelas perlakuan (3 ekstrak tanaman, 3 ekstrak kompos, 1 larutan asam sitrat, 1 larutan asam malat, 1 larutan asam laktat, 1 larutan humat, dan 1 kontrol) (Tabel 2) disusun dalam Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan.

Pada hari ke-1, 3, 7, 14, 28, dan 56 setelah inkubasi, dilakukan analisis P larut dan pH. Penetapan P larut dilakukan dengan pengukuran secara langsung berdasarkan metode penetapan fosfat larut air dengan pewarnaan biru molibden

(Balai Penelitian Tanah, 2005). Pengukuran pH dilakukan secara langsung pada larutan. Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan Program Microsoft Office Excel 2007 untuk analisis rata-rata perlakuan, anova dengan menggunakan uji F pada taraf kepercayaan 95% (  $\alpha = 5\%$ ), uji Duncan Multiple Range Test (DMRT).

Tabel 2. Susunan perlakuan uji kelarutan P dalam ekstrak air sisa tanaman dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah

No	Simbol	Perlakuan *)
1.	Kontrol	200 ml air suling + 0,4 g BFA
2.	ETP	200 ml ekstrak sisa tanaman padi + 0,4 g BFA
3.	ETJ	200 ml ekstrak sisa tanaman jagung + 0,4 g BFA
4.	ETKT	200 ml ekstrak sisa tanaman kacang tanah + 0,4 g BFA
5.	EKP	200 ml ekstrak kompos sisa tanaman padi + 0,4 g BFA
6.	EKJ	200 ml ekstrak kompos sisa tanaman jagung + 0,4 g BFA
7.	EKKT	200 ml ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah + 0,4 g BFA
8.	H	200 ml larutan humat 1% + 0,4 g BFA (Pembanding 1)
9.	AS	200 ml larutan asam sitrat 1 mM + 0,4 g BFA (Pembanding 2)
10.	AM	200 ml larutan asam malat 1 mM + 0,4 g BFA (Pembanding 3)
11.	AL	200 ml larutan asam laktat 1 mM + 0,4 g BFA (Pembanding 4)

Keterangan:

\*) Penentuan konsentrasi larutan pembanding 1 mM (asam sitrat, malat, dan laktat), didasari bahwa pada umumnya konsentrasi asam organik larutan tanah biasanya berkisar dari 1 sampai 100 mM (Van Hees *et al.*, 2002); 1 mM asam sitrat setara dengan 192 mg/L; 1 mM asam malat setara dengan 134 mg/L; 1 mM asam laktat setara dengan 0,083 mg/L; BFA = batuan fosfat alam

## 4.2. Penelitian II: Pengaruh Aplikasi Ekstrak Kompos dan Kompos terhadap Ketersediaan P pada Ultisol

### 4.2.1. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari pengaruh aplikasi ekstrak asam organik dari kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap P tersedia pada Ultisol dari Moncongloe, Sulawesi Selatan.

#### **4.2.2. Tempat dan Waktu**

Penelitian dilakukan Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya pada tanggal 11 Mei sampai dengan 26 Juli 2013.

#### **4.2.3. Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstrak kompos dari sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung dan sisa tanaman kacang tanah, kompos sisa tanaman padi, kompos sisa tanaman jagung, dan kompos sisa tanaman kacang tanah. Pemilihan jenis perlakuan pada tahap ketiga ini, didasarkan pada hasil penelitian Tahap I (subbab 4.1), dengan memilih perlakuan dengan P-larut yang cenderung meningkat pada akhir percobaan. Tanah yang digunakan adalah Ultisol dari Moncongloe, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan (Lampiran 6), dan Alfisol dari Desa Dokosari, Kecamatan Godangan, Kabupaten Malang (sebagai tanah pembanding) (Lampiran 7).

#### **4.2.4. Pelaksanaan**

Contoh tanah diambil di lapangan pada lahan kering di Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros dengan koordinat  $05^{\circ} 08' 55,13''$  LS dan  $119^{\circ} 33' 51,02''$  BT (Lampiran 6), dan Alfisol (sebagai tanah pembanding) diambil dari Desa Dokosari, Kecamatan Godangan, Kabupaten Malang dengan koordinat  $08^{\circ} 15' 39,7''$  LS dan  $112^{\circ} 36' 31,7''$  BT (Lampiran 7). Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak pada kedalaman 0-30 cm, kemudian dicampur merata (komposit), selanjutnya dikeringanginkan. Tanah kering angin tersebut kemudian diayak dengan saringan 0,5 mm. Selanjutnya, contoh tanah tersebut dianalisis untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya, meliputi: tekstur, pH ( $H_2O$ ), pH (KCl), bahan organik (%), C-organik (Walkey and Black), N-total (Kjedahl), nisbah C/N, P-total (HCl 25%), P-tersedia (Bray I dan Bray II), Basa-basa K, Na, Ca, Mg

(NH<sub>4</sub>Oc 1 N pH 7), KB, KTK (NH<sub>4</sub>OAc 1 N pH: 7), Al<sub>dd</sub> (KCl 1 M), dan H<sub>dd</sub> (KCl 1 M). Hasil analisis tanah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis Ultisol Sulawesi Selatan dan Alfisol Malang Selatan

No.	Jenis analisis	Metode	Ultisol	Alfisol
1	pH H <sub>2</sub> O (1:1)	pH meter	4,9	6,3
2	pH KCl (1:1)	pH meter	3,8	4,9
3	Bahan Organik		0,54	1,98
4	C-organik (%)	Walkey and Black	0,32	1,15
5	N-total (%)	Kjedahl	0,16	0,09
6	P total (mg/kg)	HCl 25%	348,50	210,75
7	P -tersedia (mg/kg)	Bray I		1,18
	P -tersedia (mg/kg)	Bray II	1,18	
8	K (me/100g)	NH <sub>4</sub> OAc 1N	0,06	0,86
9	Na (me/100g)	NH <sub>4</sub> OAc 1N	0,30	32,23
10	Ca (me/100g)	NH <sub>4</sub> OAc 1N	3,00	8,79
11	Mg (me/100g)	NH <sub>4</sub> OAc 1N	0,79	1,55
12	KTK (me/100g)	NH <sub>4</sub> OAc 1N	26,77	55,84
13	KB (%)		15,00	77,78
14	A <sub>ldd</sub> (me/100g)	KCl 1 M	6,59	tt
15	H <sub>dd</sub> (me/100g)	KCl 1 M	1,34	tt
16	Tekstur	Pipet		
	Pasir (%)		35	9
	Debu ((%)		38	65
	Liat (%)		27	26
	Kelas tekstur	Lempung/ Lempung berliat		Lempung berdebu

Keterangan: tt: tidak terdeteksi

Tanah kering udara (Ultisol dan Alfisol) ditimbang seberat 500 g kemudian dimasukkan ke dalam polybag plastik berukuran 1 kg, kemudian pada masing-masing contoh tanah ditambahkan 5 g ekstrak kompos (penelitian 1) atau 5 g kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah (Tabel 4).

Campuran tanah dan ekstrak kompos atau tanah dan kompos kemudian diinkubasi selama 63 hari (9 minggu). Sepuluh perlakuan (Tabel 4) disusun dalam Rancangan Acak lengkap (RAL) dengan 3 ulangan. Analisis pH (H<sub>2</sub>O) dan (KCl) (pH meter), P-total (HCl 25%), P-tersedia (Bray I dan II), fraksionasi P (Al-

P, Fe-P dan Ca-P) (metode Chang dan Jackson (1957) yang dimodifikasi oleh Zhang (Pierzynski *et al.*, 2000), serta Al<sub>dd</sub> (KCl 1M), dilakukan pada hari ke-0, 7, 14, 28, 42 dan 63 hari setelah inkubasi. Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan Program Microsoft Office Excel 2007 untuk analisis rata-rata perlakuan, anova dengan menggunakan uji F pada taraf kepercayaan 95% (5%) dan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT).

Tabel 4. Perlakuan percobaan ekstrak asam organik dari kompos dan kompos dari sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah

No	Simbol	Perlakuan
1	U-kontrol	500 g Ultisol, tanpa pemberian ekstrak dan kompos
2	A-Kontrol	500 g Alfisol, tanpa pemberian ekstrak dan kompos
3	U-EKP	500 g Ultisol + ekstrak dari 5 g kompos sisa tanaman padi (setara 20 t/ha kompos sisa tanaman padi) *)
4	U-EKJ	500 g Ultisol + ekstrak dari 5 g kompos sisa tanaman jagung (setara 20 t/ ha kompos sisa tanaman jagung)
5	U-EKKT	500 g Ultisol + ekstrak dari 5 g kompos sisa tanaman kacang tanah (setara 20 t/ha) kacang tanah (setara 20 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah)
6	U-KP	500 g Ultisol + 5 g kompos sisa tanaman padi (setara 20 t/ha)
7	U-KJ	500 g Ultisol + 5 g kompos sisa tanaman jagung (setara 20 t/ha)
8	U-KKT	500 g Ultisol + 5 g kompos sisa tanaman kacang tanah (setara 20 t/ha)
9	A-EKJ	500 g Alfisol + ekstrak dari 5 g kompos sisa tanaman jagung (setara 20 t/ha kompos sisa tanaman jagung)
10	A-KJ	500 g Alfisol + 5 g kompos sisa tanaman jagung (setara 20 t/ha)

Keterangan: \*) ekstrak dari 5 gram kompos dibuat dengan cara melarutkan 5 gram masing-masing jenis kompos ke dalam 125 ml air suling (perbandingan 1:25), sehingga diperoleh larutan ekstrak sebanyak 125 ml

#### 4.3. Penelitian III: Pengaruh Aplikasi Kompos Sisa Tanaman Kacang Tanah terhadap P tersedia, Serapan P, Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung

##### 4.3.1. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap P tersedia, serapan P,

pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada tanah Ultisol dari Moncongloe, Sulawesi Selatan.

#### **4.3.2. Tempat dan Waktu**

Penelitian dilakukan di kebun percobaan Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Batangkaluku, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, mulai 27 September 2013 sampai dengan 25 Desember 2013. Analisis jaringan tanaman dan analisis tanah akhir percobaan dilakukan di Laboratorium Tanah BPTP Maros Sulawesi Selatan pada bulan Januari 2014 – Februari 2014.

#### **4.3.3. Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompos sisa tanaman kacang tanah, pupuk Urea, pupuk KCl, tanah Ultisol, dan benih jagung varietas Gumarang. Pemilihan kompos sisa tanaman kacang tanah sebagai perlakuan adalah berdasarkan hasil penelitian Tahap II (subbab 4.2). Tanah Ultisol yang digunakan adalah tanah yang sama pada penelitian tahap II), yang diambil dari Moncongloe, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan (Lampiran 6). Benih jagung varietas Gumarang. diperoleh dari Balai Penelitian Serealia Lain (BALITSEREAL) Maros (deskripsi jagung varietas Gumarang disajikan pada Lampiran 4).

#### **4.3.4. Pelaksanaan**

Delapan kilogram lapisan atas Ultisol kering udara yang lolos ayakan 2 mm dimasukkan ke pot plastik ukuran 10 kg dengan diameter 28 cm, kemudian dicampur dengan kompos sesuai dengan perlakuan (Tabel 5). Pupuk dasar berupa Urea dan KCl diberikan dengan dosis masing-masing sebesar 300 kg/ha dan 200 kg/ha. Pemberian pupuk dasar ini diberikan 2 kali selama pertanaman, yaitu setengah dosis diberikan pada saat tanam dan sisanya pada minggu ke-6 setelah tanam. Delapan perlakuan (Tabel 5) disusun dalam Rancangan Acak

Kelompok (RAK) dengan 3 ulangan. Setiap pot ditanami 2 benih jagung, namun setelah tanaman tumbuh kuat, dilakukan penjarangan dengan menyisakan 1 tanaman per pot. Kadar air tanah selama penelitian, dipertahankan mendekati kapasitas lapangan dengan menambahkan air secara periodik.

Tabel 5. Perlakuan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah pada Ultisol dari Moncongloe

No.	Simbol	Perlakuan	Masukan (mg/kg tanah)		
			Humat	Fulvat	P
1.	Kontrol	Tanpa kompos sisa tanaman kacang tanah	0,00	0,00	0,00
2.	K10	10 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	0,97	10,52	20,50
3.	K15	15 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	1,45	15,78	30,75
4.	K20	20 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	1,93	21,04	41,00
5.	K25	25 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	2,41	26,30	51,25
6.	K30	30 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	2,90	31,56	61,50
7.	K35	35 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	3,38	36,82	71,75
8.	K40	40 t/ha kompos sisa tanaman kacang tanah	3,86	42,08	82,00

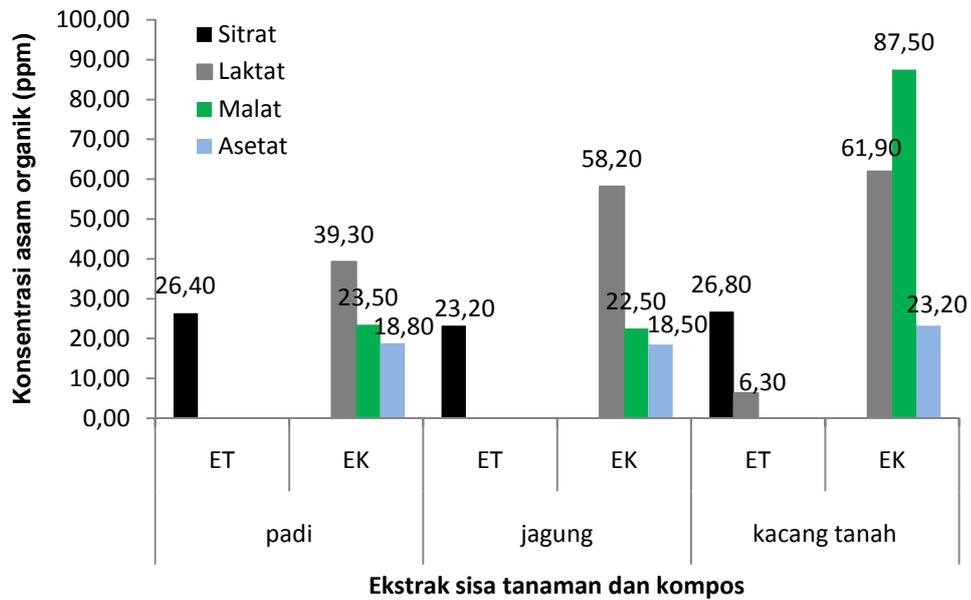
Tinggi tanaman jagung diamati pada minggu ke-3, 4, 5, 7, 8 dan 9. Pengamatan pada saat panen (90 HST), meliputi bobot kering tajuk, bobot kering akar, panjang tongkol jagung, bobot tongkol, diameter tongkol, bobot biji per tongkol, serapan P tanaman, kadar P pada biji, pH (H<sub>2</sub>O) tanah, dan P- tersedia tanah. Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan Program Microsoft Office Excel 2007 untuk analisis rata-rata perlakuan, anova dengan menggunakan uji F pada taraf kepercayaan 95% (  $\alpha = 5\%$ ), uji Duncan Multiple Range Test (DMRT), *standard error*, dan analisis regresi.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

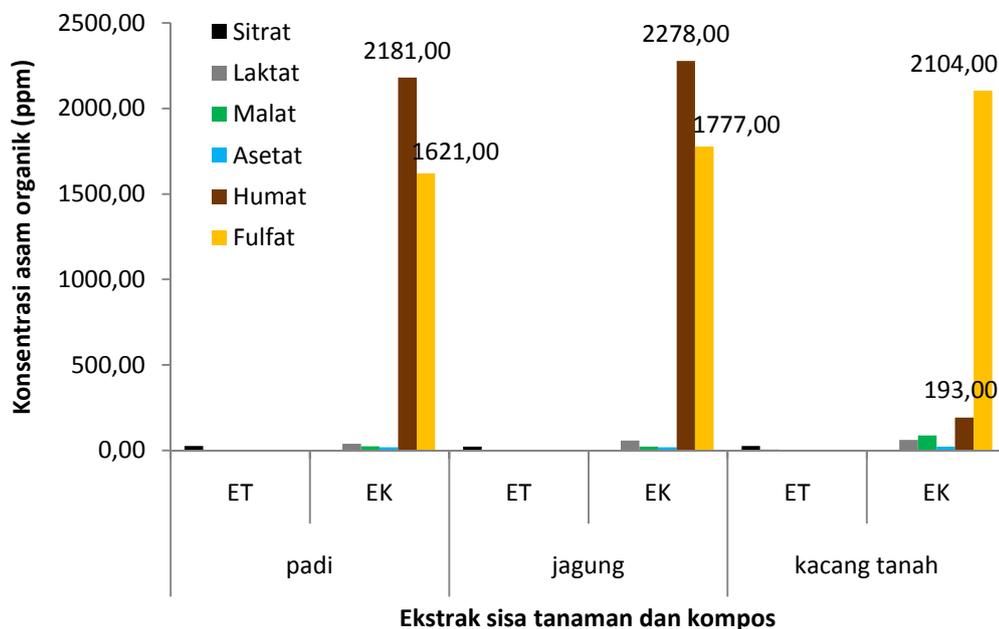
### 5.1. Karakteristik Asam-Asam Organik dari Sisa Tanaman dan Kompos, serta Kemampuan Ekstrak Sisa dari Tanaman dan Kompos dalam Melarutkan P

#### 5.1.1. Karakteristik asam-asam organik dari ekstrak sisa tanaman dan kompos

Jenis dan konsentrasi asam organik pada setiap ekstrak sisa tanaman dan kompos sangat bervariasi. Ekstrak sisa tanaman didominasi oleh asam organik molekul rendah yaitu asam sitrat, sedangkan ekstrak kompos sisa tanaman selain mengandung asam organik molekul rendah (asam laktat, asam malat, dan asam asetat), juga mengandung asam organik bermolekul tinggi (senyawa humat dan fulvat) (Tabel 1, Gambar 6 dan 7). Asam humat dan fulvat hanya terdapat pada ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah karena asam humat dan fulvat adalah hasil dari proses humifikasi pada pengomposan bahan organik (Banach-Szott and Debska, 2008). Kandungan asam laktat, asam malat, dan asam asetat pada ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah lebih tinggi, yaitu: masing-masing 61,90 ppm, 87,50 ppm, dan 23,20 ppm dibandingkan dengan ekstrak kompos sisa tanaman padi dan jagung (Gambar 6). Begitupula kandungan asam fulvat ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah lebih tinggi (2104,00 ppm), dibandingkan dengan ekstrak kompos sisa tanaman padi (1621 ppm) dan ekstrak kompos sisa tanaman jagung (1777,00 ppm). Kandungan asam humat tertinggi dijumpai pada ekstrak kompos sisa tanaman padi (2278,00 ppm), diikuti ekstrak kompos sisa tanaman jagung 2181,00 ppm), dan kompos sisa tanaman kacang tanah (193 ppm) (Gambar 7).



Gambar 6. Konsentrasi asam organik bermolekul rendah dari dari ekstrak sisa tanaman (ET) padi, jagung, dan kacang tanah, dan ekstrak kompos (EK) sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah.



Gambar 7. Konsentrasi asam-asam organik (molekul rendah dan molekul tinggi) dari ekstrak sisa tanaman (ET) padi, jagung, dan kacang tanah, dan ekstrak kompos (EK) sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah.

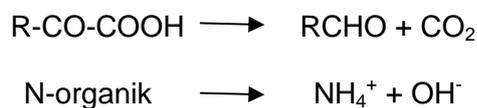
Ekstrak sisa tanaman segar hanya mengandung asam organik sederhana (asam sitrat) dan sedikit asam laktat pada sisa tanaman jagung (6,30 ppm) (Gambar 6). Hal ini diduga karena asam sitrat adalah asam lemah yang mudah larut dalam air. Ekstrak sisa tanaman (segar) belum terdekomposisi menyebabkan jumlah dan jenis asam organik yang terlarut menjadi terbatas. Sebaliknya, sisa tanaman yang sudah dikomposkan, jumlah dan jenis asam organik yang terlarut menjadi lebih banyak. Dari percobaan ini didapatkan bahwa dekomposisi bahan organik melalui proses pengomposan, menyebabkan tersedianya asam-asam organik baik bermolekul rendah maupun yang bermolekul tinggi.

Ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah, kandungan asam fulvat lebih tinggi dibandingkan asam humat, sedangkan pada ekstrak kompos sisa tanaman padi dan jagung, kandungan asam humat lebih tinggi dibandingkan asam fulvat (Gambar 7). Perbedaan tersebut diduga terkait dengan perbedaan sumber bahan organik dan kecepatan dekomposisi.

Menurut Handayanto (1994), rasio C/N, kandungan lignin, dan kandungan polifenol bahan organik, digunakan sebagai faktor penduga kecepatan dekomposisi dan senyawa terlarut yang dikandungnya. Sumber bahan organik yang banyak mengandung lignin dan polifenol akan lambat terdekomposisi (Bayer *et al.*, 2001), sebaliknya bahan organik yang tinggi kandungan N tetapi rendah kandungan C, lignin, dan polifenol, akan cepat terdekomposisi, dan menghasilkan ion-ion dan unsur hara yang tersedia bagi tanaman. Bahan organik yang lambat terdekomposisi, pada tahap awal dekomposisi akan terjadi proses imobilisasi, tetapi dalam jangka panjang akan banyak menghasilkan senyawa humat (Bayer *et al.*, 2001).

Frankenberger dan Abdelmagid (1985) juga menyatakan, bahwa rasio C/N merupakan faktor kimia penting yang menentukan kecepatan dekomposisi bahan organik. Kecepatan dekomposisi bahan organik ditentukan oleh rasio C/N bahan segar tanaman. Menurut Syekhfani (2010), sisa tanaman padi dan jagung memiliki rasio C/N antara 40%-44% sedangkan kacang-kacangan rasio C/N antara 13% sampai 25%. Semakin rendah nilai rasio C/N bahan segar, maka proses dekomposisi semakin cepat (Sindhu *et al.*, 1990; Nyamai, 1992). Dengan demikian, proses dekomposisi sisa tanaman kacang tanah lebih cepat dibandingkan dengan sisa tanaman padi dan jagung.

Hasil dekomposisi bahan organik dari sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah pada Tabel 1 menunjukkan, rasio C/N kompos sisa tanaman padi (10,44) lebih tinggi dibandingkan dengan rasio C/N kompos sisa tanaman jagung (7,11) dan kompos sisa tanaman kacang tanah (7,22). Meskipun rasio C/N kompos sisa tanaman kacang tanah relatif lebih tinggi dibandingkan rasio C/N kompos sisa tanaman jagung, kandungan C sisa tanaman kacang tanah (14,3%), lebih rendah dibandingkan dengan kandungan C sisa tanaman jagung (21,49%) (Tabel 1). Dalam proses dekomposisi bahan organik, penurunan rasio C/N disebabkan karena sumber karbon dirombak dan digunakan sebagai makanan oleh mikroorganisme, sedangkan nitrogen mengalami proses amonifikasi N-organik yang menghasilkan amonium, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Menurut Osono-san *et al.* (2008), proses dekomposisi bahan organik sangat tergantung pada kandungan komponen karbon. Bahan organik yang mengandung komponen O-alkil karbon adalah yang paling mudah didekomposisi, sementara karbon alifatik terurai secara perlahan-lahan (Ono *et*

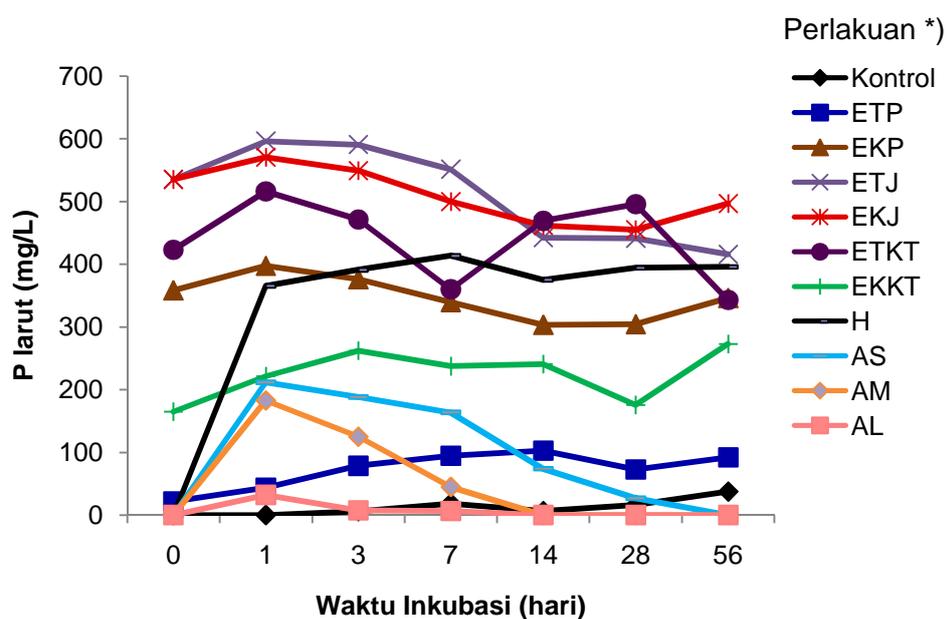
*al.*, 2011). Sisa tanaman kacang tanah lebih banyak mengandung asam organik berupa asam laktat dan asam asetat (Gambar 6 dan Lampiran 2), yang memiliki gugus fungsional o-alkil karbon ( $\text{OCH}_3$ ), sehingga sisa tanaman kacang tanah cenderung lebih cepat terdekomposisi dibanding sisa tanaman padi dan jagung.

Hairiah (2000) menyatakan, selain rasio C/N, kualitas kompos juga dapat dilihat dari rasio C/P. Rasio C/P yang lebih rendah menunjukkan bahwa bahan organik tersebut kaya akan P. Rasio C/P kompos sisa tanaman padi 73,50, kompos sisa tanaman jagung 38,38, dan kompos sisa tanaman kacang tanah 34,88 (Tabel 1). Rasio C/P <200 merupakan salah satu kriteria kompos yang berkualitas (Hairiah, 2000). Menurut Johnson *et al.* (2007), kualitas bahan organik ditentukan oleh komposisi kimia, rasio C/N, kandungan lignin, rasio lignin/N, konsentrasi polifenol, dan ukuran biomassa. Selain itu, juga dipengaruhi oleh kandungan polisakarida dan hemiselulosa (Pordesimo *et al.*, 2005), serta kandungan N (Thonnissen *et al.*, 2000).

#### **5.1.2. Pengaruh Aplikasi Ekstrak Sisa Tanaman dan Kompos dalam Melarutkan P dari BFA**

Ekstrak sisa tanaman segar dan ekstrak kompos dari sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, memiliki kandungan P awal dengan jumlah yang sangat bervariasi. Kandungan P dalam ekstrak, tertinggi pada ekstrak sisa tanaman jagung (535,26 mg/L) dan ekstrak komposnya (535,22 mg/L), kemudian disusul ekstrak sisa tanaman kacang tanah (422,76 mg/L), ekstrak kompos sisa tanaman padi (358,34 mg/L), ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah (164,75 mg/L), dan yang terendah ekstrak sisa tanaman padi (21,80 mg/L) (Gambar 8). P larut dari BFA akibat aplikasi ekstrak kompos dari sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah cenderung meningkat setelah 28 hari inkubasi. Setiap jenis ekstrak mengandung asam organik yang bervariasi dengan

konsentrasi yang beragam, tergantung dari sumber ekstraknya. Setiap jenis asam organik mempunyai karakteristik dan kemampuan yang berbeda dalam melepaskan P (P larut) dari BFA. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ström *et al.* (2001) dan Van Hees *et al.* (2002) menunjukkan bahwa secara individual, asam organik berinteraksi secara berbeda dengan fase padat tanah. Umumnya, derajat disosiasi berhubungan langsung dengan pembawa asam organik dan pH larutan. Asam organik monovalen seperti asam asetat, laktat, dan propionat, diadsorpsi secara lemah pada fase padat tanah, sementara asam organik divalen seperti asam malat, fumarat, dan suksinat, diadsorpsi pada tingkat yang lebih besar. Adsorpsi terbesar terjadi untuk asam organik trivalen, seperti asam sitrat, isositrat, dan akonitat dengan tingkat penyerapan sama dengan fosfat



Gambar 8. Konsentrasi P larut dari BFA dalam ekstrak sisa tanaman dan kompos selama inkubasi 56 hari

\*) lihat Tabel 2

Asam sitrat yang mendominasi ekstrak sisa tanaman (segar) merupakan asam organik lemah mengandung 3 gugus karboksil COOH. Dalam larutan,

asam sitrat menjadi ion sitrat, sehingga dapat mengikat ion-ion logam dengan pengkhelatan. Dalam proses pelepasan P dari BFA, gugus karboksilat (COOH) dari asam sitrat dapat mengikat Ca dari BFA. Secara sederhana, reaksi pelepasan P dari BFA (Apatit) oleh asam organik menurut Ness dan Vlek (2000) digambarkan sebagai berikut:

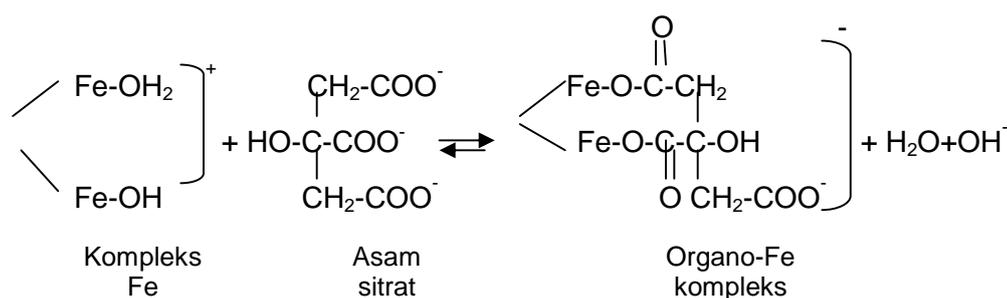


Jumlah P-BFA yang larut dalam ekstrak sisa tanaman maupun ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah lebih tinggi dibandingkan jumlah P-BFA larut pada kontrol (air aquades) dan larutan pembanding (asam organik murni: humat, asam sitrat, dan asam malat) (Gambar 8). P-BFA yang larut dalam ekstrak cukup tinggi pada saat 1 sampai 3 hari setelah diinkubasi (Gambar 8 dan Lampiran 2), kecuali pada perlakuan ekstrak sisa tanaman padi. Setelah itu, P larut cenderung turun seiring dengan waktu inkubasi. Hal ini diduga karena pengaruh dari asam-asam organik molekul rendah seperti asam sitrat, asam malat, asam laktat, dan asam asetat, yang lebih banyak berperan dalam melarutkan P pada awal inkubasi. Menurut Mike (2002), asam sitrat, asam malat, asam laktat, dan asam asetat, merupakan asam organik lemah yang dapat melepaskan proton dalam air sehingga akan mengikat ion-ion logam dalam larutan.

Menurut Van Breemen *et al.* (2000), asam-asam organik seperti asam malat, sitrat, dan oksalat, memiliki kemampuan untuk membentuk kompleks dengan kation logam, karena asam organik ini memiliki kemampuan menjadi anion organik divalen maupun trivalen. Violente dan Gianfreda (2000) menyatakan bahwa asam organik seperti asam sitrat, oksalat, tartarat, dan malat yang mengandung gugus karboksil (-COOH), alifatik-OH, dan hidroksil-fenolik, sangat efektif dalam melarutkan mineral dan pembentukan khelat dengan Al, Fe,

dan Ca. Menurut Hu *et al.* (2002), asam sitrat mampu melepaskan P yang terjerap oleh Al-P, Al-OH, dan Al-organik sampai 4,75%, sehingga menyebabkan ketersediaan P di dalam tanah meningkat.

Mekanisme pelarutan P oleh asam sitrat menurut Gerke (1992), adalah sebagai berikut: (1) Asam sitrat melarutkan P yang diikat oleh Fe, Al, dan Ca, sehingga terbentuk kompleks ligan-organik; (2) Ion sitrat (atau ion lain seperti malat, laktat, dan asetat) dapat diadsorpsi oleh tapak jerapan yang sama dengan anion fosfat, sehingga terjadi pelepasan P secara simultan; (3) Penjerapan oleh asam organik (asam sitrat, malat, laktat), mengubah muatan permukaan penjerap menjadi muatan negatif. Secara sederhana reaksi tersebut digambarkan sebagai berikut:



Dye (1995) menambahkan bahwa asam sitrat efektif melepas P yang dijerap tanah melalui mekanisme pemutusan tapak-tapak jerapan, sebagai konsekwensi besarnya konstanta stabilitas kompleks sitrat-Fe.

Asam organik sederhana seperti asam sitrat, asam malat, dan asam laktat merupakan asam organik yang mudah terdegradasi di dalam tanah hanya dalam jangka waktu jam dan hari, sehingga kemampuannya melarutkan P menjadi rendah (berkurang) (Jones *et al.*, 2001). Hal tersebut terjadi karena sumber C yang paling labil pada asam organik banyak dimanfaatkan oleh mikroorganisme tanah (Jones *et al.* (2003). Dalam proses ini, mikroorganisme mendapatkan

energi dari sumber C pada asam organik dan dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub>, sehingga dalam waktu singkat (jam atau hari) sumber C akan cepat berkurang.

Data yang disajikan pada Gambar 8 juga menunjukkan bahwa perlakuan asam humat 1% (larutan pembanding), mampu meningkatkan P larut dari BFA sebesar 836,74 mg/L setelah 1 hari inkubasi, sedangkan larutan asam sitrat 1 mM dan larutan asam malat 1 mM, masing-masing mampu melarutkan P dari BFA sebesar 484,43 mg/L dan 418,38 mg/L. Asam laktat merupakan asam lemah dengan konsentrasi 1 mM, hanya mampu melarutkan P dari BFA sebesar 73,40 mg/L setelah 1 hari inkubasi. Kekuatan asam-asam organik pembanding dalam melarutkan P dari BFA secara berturut-turut adalah: asam humat > asam sitrat > asam malat > asam laktat. Hal ini dapat dipahami bahwa semakin banyak gugus fungsional (-COOH, -OH) dari asam organik, maka kekuatan melarutkan P semakin besar. Asam humat dengan gugus fungsional yang lebih banyak, lebih kuat dalam melepaskan P dari BFA, sedangkan asam laktat (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>) yang merupakan asam lemah monovalen dengan hanya 1 gugus karboksil, kemampuannya sangat rendah dalam melarutkan P dari BFA. Menurut Sposito *et al.* (1988), anion organik dari asam trikarboksilat (asam sitrat) lebih efektif mereduksi ikatan P dibandingkan dengan asam dikarboksilat (asam malat) dan asam monokarboksilat (asam laktat). Namun, beberapa anion organik seperti asam asetat, tidak berkompetisi dengan anion P untuk tapak-tapak jerapan, sehingga absorpsi P bisa meningkat dengan kehadiran asam asetat.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Singh dan Amberger (1998), yang menguji kemampuan kompos sisa tanaman padi dalam melarutkan P dari batuan fosfat alam menyatakan bahwa kelarutan P pada awal inkubasi sangat tinggi sampai 30 hari setelah inkubasi, setelah itu kelarutan P sangat menurun drastis sampai mencapai jumlah yang diabaikan hingga 120 hari setelah inkubasi.

Kelarutan P yang tinggi dari batuan fosfat alam pada awal inkubasi, disebabkan pada ekstrak air kompos jerami terdeteksi mengandung asam organik seperti asam glikolat, oksaloasetat, suksinat, fumarat, malat, tartarat dan asam sitrat.

Selain sifat dari asam organik sederhana yang mudah terdegradasi dalam waktu yang relatif singkat tersebut, perubahan kelarutan P dari BFA dalam ekstrak asam organik, diduga juga terkait dengan kenaikan pH larutan seiring dengan waktu inkubasi. Peningkatan pH larutan ini berhubungan dengan tingginya kadar Ca di dalam BFA yaitu sekitar 16,63% CaO (Sub bab 4.1.3.). Nilai pH yang tinggi di atas pH 7,5 berpengaruh terhadap fiksasi P-larut dalam ekstrak, sehingga P larut dalam ekstrak menurun. Fiksasi P oleh  $\text{Ca}^{2+}$  membentuk senyawa hidroksi apatit (reaksi beralih ke kiri), sehingga P mengendap dalam bentuk apatit. Reaksi tersebut digambarkan sebagai berikut:



Jumlah P-BFA yang larut dalam ekstrak kompos lebih tinggi dibandingkan jumlah P-BFA yang larut dalam ekstrak sisa tanaman (bukan kompos). Hal ini terjadi karena kandungan asam organik, terutama asam organik molekul tinggi (humat dan fulvat), dalam ekstrak kompos sisa tanaman lebih beragam dan lebih tinggi dibandingkan ekstrak sisa tanaman (Gambar 6 dan 7). Kemampuan senyawa humat dan fulvat dalam melarutkan P terkait dengan gugus fungsional yang stabil pada senyawa humat dan fulvat (Stevenson, 1982).

Humat dan fulvat merupakan zat utama yang bertanggung jawab pada pengkhelatan logam dalam tanah. Menurut Alimin *et al.* (2005), pengkhelatan dengan logam terjadi karena gugus fungsional dari humat dan fulvat dapat mengalami deprotonasi yang dapat menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul sehingga meningkatkan jumlah muatan negatif, dan menyebabkan permukaan partikel-

partikel koloid humat bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka serta berbentuk linier dengan meningkatnya pH. Dengan meningkatnya pH akan meningkatkan konsentrasi  $\text{-COO}^-$  yang dapat berfungsi sebagai ligan pada humat dan fulvat. Pengaruh pengkhelatan terhadap mobilitas logam disebabkan oleh adanya perubahan kelakuan ion. Setelah terjadi pengkhelatan, kation akan dikelilingi oleh ligan-ligan pengkhelat, dan kation tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk anion, sehingga anion tersebut akan ditolak oleh koloid bermuatan negatif (Tan, 1982).

Tan (1987) menyatakan bahwa humat dan fulvat lebih berperan penting daripada asam organik yang belum terhumifikasi. Kapasitas humat dalam mengikat ion logam setara dengan jumlah ion  $\text{H}^+$  yang dipindahkan dan berhubungan dengan besarnya valensi dari ion logamnya sendiri (Stevenson dan Flitch, 1997). Tan (1982) menyatakan bahwa humat dan fulvat mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur Fe, Al, dan Ca, sehingga akan mengikat unsur-unsur tersebut dari senyawa fosfat (misalnya BFA), dan menjadikan unsur fosfat terlepas dalam larutan (tanah). Menurut Violente *et al.* (2005), pengikatan logam ataupun ion yang ada di larutan (tanah) oleh permukaan mineral dipengaruhi oleh keberadaan senyawa humat yang ada di larutan (tanah). Keberadaan senyawa humat dapat meningkatkan jerapan ataupun sebaliknya dapat menurunkan jerapan ion oleh permukaan mineral, karena permukaan mineral telah diselimuti oleh senyawa humat (membentuk kompleks). Pada senyawa humat ada dua tipe kompleks yang terbentuk antara logam dan senyawa humat, yaitu: *innersphere complexes* dan *outersphere complexes* (Navackova, 2011). *Innersphere complexes* adalah bentuk ikatan ion atau molekul pada suatu permukaan ligan atau mineral penjerap di mana ion atau molekul tersebut terikat secara langsung di permukaan ligan, tetapi jika antara

ion dan ligan terdapat setidaknya satu molekul air, maka tipe ikatan kompleks tersebut disebut *outersphere complexes*.

Hasil uji kelarutan P dari BFA dengan senyawa organik murni (larutan pembanding), menunjukkan bahwa kemampuan asam organik bermolekul tinggi (senyawa humat) dalam meningkatkan P larut dari BFA jauh lebih tinggi dibanding asam sitrat, asam malat, dan asam laktat (asam organik bermolekul rendah (Gambar 8). Senyawa humat, cenderung stabil di dalam melarutkan P dari BFA, sedangkan kemampuan asam sitrat, asam malat, dan asam laktat melarutkan P dari BFA cenderung menurun setelah 3 hari inkubasi.

Rendahnya P larut dari BFA pada perlakuan asam sitrat, asam laktat dan asam malat kemungkinan disebabkan konsentrasi larutan yang digunakan sangat rendah yaitu hanya sekitar 1 mM. Pada umumnya konsentrasi asam organik larutan tanah biasanya berkisar dari 1 sampai 100 mM (Van Hees *et al.*, 2002). Selain itu, asam organik molekul rendah merupakan asam lemah dan mengandung gugus karboksil (-COOH) yang mudah mengalami disosiasi (Wei *et al.*, 2010). Sumber karbon (C) pada asam-asam organik tersebut mudah terurai menjadi CO<sub>2</sub>. Menurut Van Hees *et al.* (2003), ketika konsentrasi asam organik rendah, maka asam organik tersebut akan cepat termineralisasi oleh mikroorganisme tanah, dengan waktu tinggal rata-rata dalam tanah sekitar 0,5 sampai 2 jam.

Meskipun demikian, kemampuan asam sitrat dalam melarutkan P lebih tinggi di bandingkan asam laktat dan malat (Gambar 8). Palomo *et al.* (2006) menyatakan bahwa untuk melepaskan P dari fase padat dan secara nyata meningkatkan P dalam larutan tanah, diperlukan konsentrasi asam sitrat >100  $\mu\text{mol/L}$ , sedangkan untuk asam tartarat dan oksalat diperlukan konsentrasi yang

lebih besar, yaitu  $> 1$  mmol/L. Urutan peningkatan mobilisasi P oleh asam organik adalah asam sitrat  $>$  asam tartarat  $>$  asam oksalat (Wang *et al.*, 2008).

Pengaruh asam organik terhadap ketersediaan hara bukan hanya ditentukan oleh jenisnya, tetapi juga ditentukan oleh jumlahnya. Asam-asam organik yang mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi, akan lebih berpengaruh dibanding dengan asam organik dengan konsentrasi yang lebih rendah. Ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, memiliki jenis asam organik yang lebih banyak dan konsentrasi asam organik yang lebih tinggi dibanding ekstrak sisa tanaman segar (Gambar 7), sehingga ekstrak kompos diduga akan lebih berperan di dalam meningkatkan ketersediaan hara dalam tanah. Selain itu, lebih tingginya kandungan humat dan fulvat dalam kompos sisa tanaman padi, jagung maupun kacang tanah, dibandingkan dengan ekstrak sisa tanaman (tidak dikomposkan) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah P tersedia dalam tanah akan lebih dipacu oleh aplikasi kompos sisa tanaman dibandingkan dengan sisa tanaman yang tidak dikomposkan (sisa tanaman segar).

### **5.1.3. Kesimpulan**

- 1) Ekstrak segar dan kompos dari sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah memiliki karakteristik asam organik yang berbeda. Ekstrak kompos sisa tanaman padi, Jagung dan kacang tanah, mengandung asam organik yang lebih banyak jenis dan jumlahnya, di antaranya asam laktat, asam malat, asam asetat, asam humat dan asam fulvat. Sedangkan ekstrak segar hanya mengandung asam sitrat dan asam laktat.
- 2) Kemampuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah dalam melarutkan P dari BFA lebih baik dibanding ekstrak sisa tanaman segar (tidak dikomposkan). Ekstrak segar sisa tanaman hanya

mampu meningkatkan P larut dari BFA pada awal (hari ke-1 sampai hari ke-3) inkubasi, sedangkan ekstrak kompos mampu meningkatkan kembali P larut dari BFA setelah hari ke-28 inkubasi.

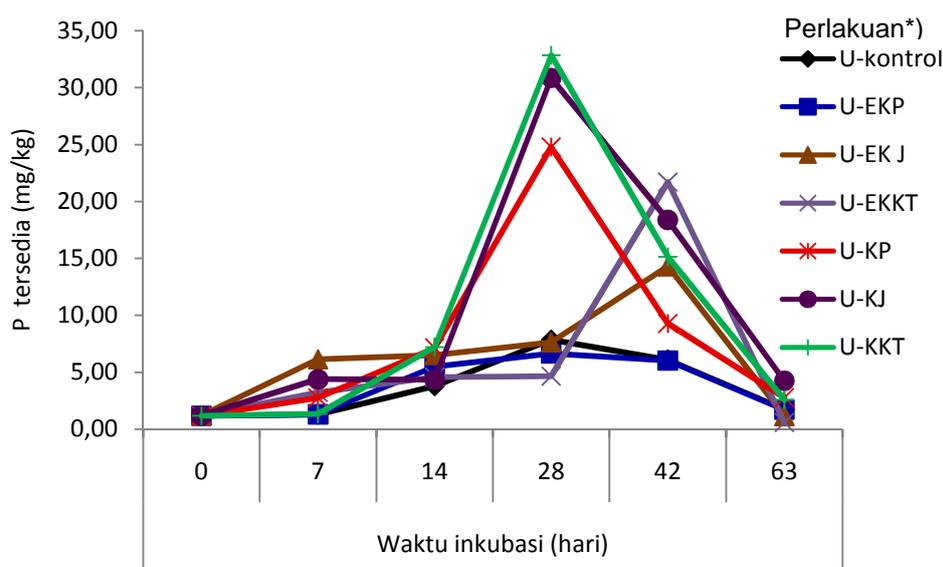
## **5.2. Pengaruh Aplikasi Ekstrak Kompos dan Kompos terhadap Ketersediaan P**

### **5.2.1. P tersedia tanah**

Penentuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah sebagai perlakuan pada tahap ini, disebabkan ekstrak kompos-kompos tersebut mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam melarutkan P dari BFA dan cenderung meningkat pada akhir masa inkubasi (hasil penelitian tahap I, sub bab 5.1.2). Selain itu, ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah mengandung asam organik yang lebih banyak baik jenis maupun jumlahnya (Gambar 7 dan Lampiran 2).

Aplikasi ekstrak asam organik dari kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, dan sisa tanaman kacang tanah berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan ketersediaan P pada Ultisol (Gambar 9). Pada perlakuan Kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, peningkatan P tersedia terjadi mulai hari ke 1 sampai dengan hari ke 28 inkubasi, kemudian menurun pada hari ke 42 dan 63. Pada hari ke-28 inkubasi, P tersedia pada kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, berturut-turut masing-masing sebesar 24,77 mg/kg, 30,84 mg/kg, dan 32,83 mg/kg. Pada perlakuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, peningkatan maksimum P terjadi pada hari ke 42 masing-masing sebesar 6,02 mg/kg, 14,29 mg/kg, dan 21,69 mg/kg, dan kemudian menurun pada hari ke 63. P tersedia maksimum oleh aplikasi ekstrak kompos jauh rendah dibandingkan dengan P tersedia dalam bentuk kompos.

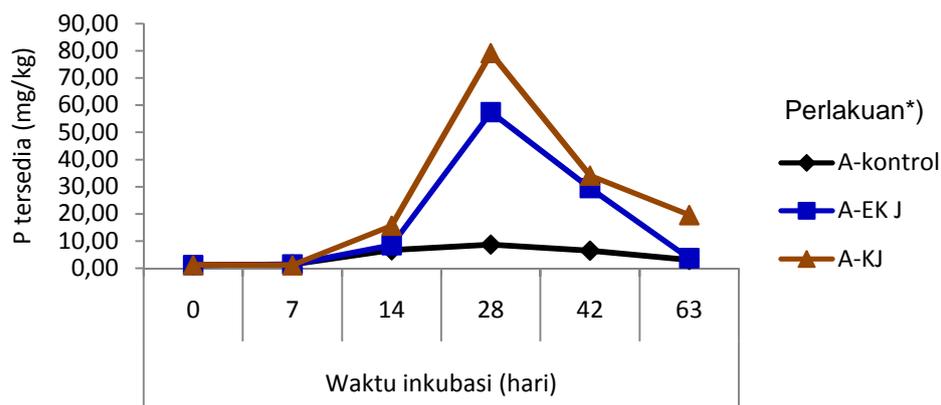
Bila dibandingkan dengan kontrol, pada hari ke 28, perlakuan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah secara berurutan meningkatkan 1999,11%, 2513,65% dan 2681,83% kandungan P tersedia tanah. Perlakuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, masing-masing meningkatkan P tersedia sebesar 409,84%, 1111,10% % dan 1738,01%, dibandingkan dengan kontrol pada hari ke 42. Secara umum, aplikasi kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah lebih tinggi dan lebih cepat meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol dibandingkan aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah.



Gambar 9. Pengaruh aplikasi ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah terhadap P tersedia Ultisol, selama inkubasi 63 hari  
\*) lihat Tabel 4

Pengaruh ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman jagung pada Alfisol (Gambar 10), menunjukkan peningkatan P tersedia maksimal pada hari ke 28 inkubasi, masing-masing 57,42 mg/kg dan 79,07 mg/kg. Pengaruh kompos sisa tanaman jagung terhadap P tersedia lebih baik dibanding ekstraknya.

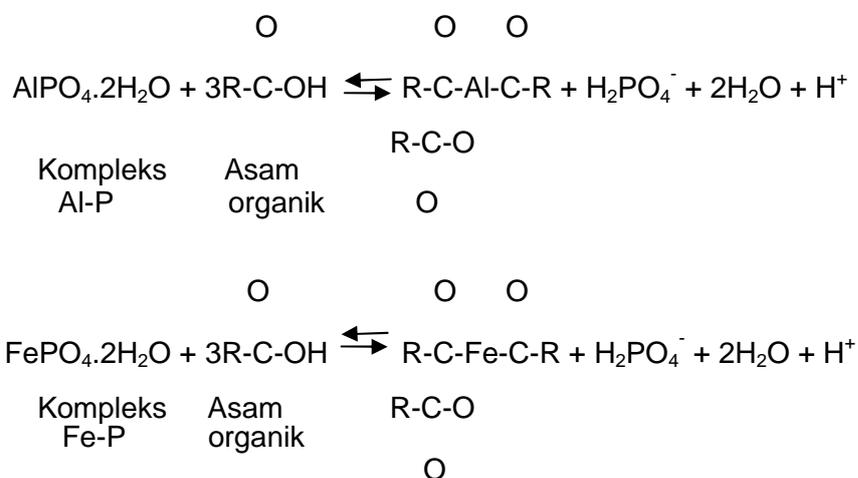
Peningkatan P tersedia (hari ke-28 inkubasi) pada perlakuan kompos sisa tanaman jagung pada Alfisol, mampu meningkatkan P tersedia sebesar 6601,85%, sedangkan perlakuan dengan ekstrak kompos sebesar 4766,10%, bila dibandingkan dengan kontrol.



Gambar 10. Pengaruh aplikasi ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman jagung terhadap P tersedia Alfisol, selama inkubasi 63 hari  
\*) lihat Tabel 4

Wang *et al.* (2008) menyatakan bahwa pemberian asam organik pada Ultisol Yujiang, Provinsi Jiangxi, Cina, dapat meningkatkan P-tersedia dalam tanah. Pengaruh asam organik sederhana seperti asam laktat, asam malat, dan asam asetat yang terdapat dalam ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, diduga tidak sebesar dengan pengaruh asam humat dan fulvat dalam meningkatkan P tersedia baik pada Ultisol maupun Alfisol. Menurut Wang *et al.* (2008), asam organik monovalen seperti laktat dan asam asetat yang lemah, teradsorpsi ke fase padat tanah, sedangkan asam organik divalen seperti malat, teradsorpsi ke tingkat yang lebih besar. Asam humat dan fulvat mempunyai kemampuan tinggi dalam pembentukan khelat dengan beberapa kation, terutama aluminium dan besi, sehingga kemampuan asam humat dan fulvat lebih tinggi terhadap ketersediaan P pada tanah masam.

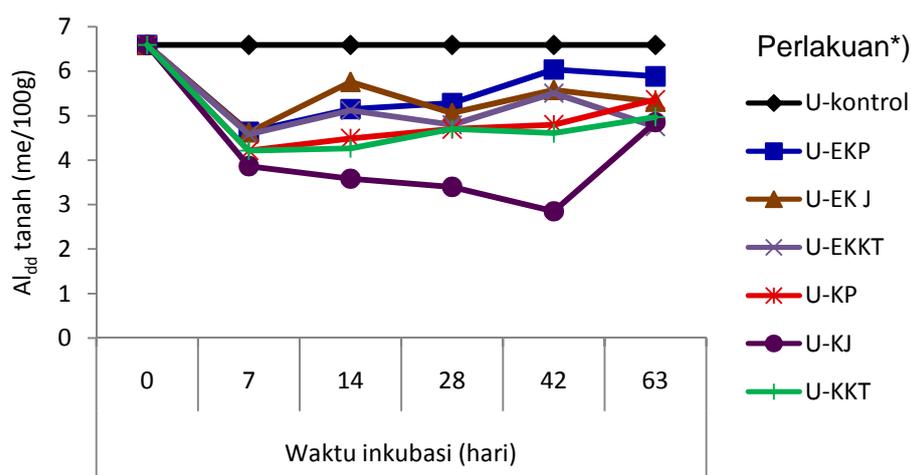
Proses pelepasan P dan khelasi asam organik, digambarkan secara sederhana seperti reaksi di bawah ini:



Menurut Kononova dan Nesmeyanova (2002), asam organik tidak selalu meningkatkan ketersediaan P. Selama proses dekomposisi, bahan organik menstimulasi ketersediaan P dengan melepaskan CO<sub>2</sub> dalam bentuk H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> atau asam organik yang dilepas ke dalam larutan tanah yang mengakibatkan pelarutan mineral yang mengandung P.

Peningkatan P tersedia tanah Ultisol akibat aplikasi ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah juga terkait dengan perubahan kandungan Al<sub>dd</sub> selama inkubasi (Gambar 11). Pada perlakuan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, pola perubahan kandungan Al<sub>dd</sub> tanah yang cenderung menurun sampai dengan hari ke 42, dan kemudian meningkat pada hari ke 63, seiring dengan pola peningkatan kandungan P tersedia tanah (Gambar 9 dan Gambar 11). Pada perlakuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, pola perubahan kandungan Al<sub>dd</sub> tanah tetap menurun sampai akhir inkubasi pada hari ke 63 (Gambar 11). Persentase penurunan Al<sub>dd</sub> tanah Ultisol selama inkubasi 63 hari, menunjukkan bahwa pada inkubasi hari ke 7 sampai hari ke 42, persentase

penurunan  $Al_{dd}$  dari aplikasi kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah jauh lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi ekstrak komposnya. Pada hari ke 42, perlakuan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, secara berurutan menurunkan 37,32%, 131,33% dan 43,06% kandungan  $Al_{dd}$  tanah. Pada waktu yang sama (hari ke 42), perlakuan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah, secara berurutan hanya menurunkan 9,16%, 18,15% dan 19,74% kandungan  $Al_{dd}$  tanah (Gambar 11 dan Lampiran 3). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan P tersedia tanah akibat terjadinya penurunan  $Al_{dd}$  tanah sebagai akibat penambahan bahan organik.



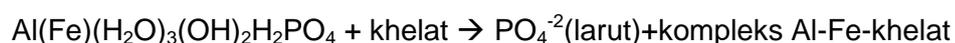
Gambar 11. Pengaruh ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap perubahan  $Al_{dd}$  tanah Ultisol, selama inkubasi 63 hari

\*) lihat Tabel 4

Menurunnya  $Al_{dd}$  tersebut terjadi karena penghelatan Al oleh asam organik. Menurut Dye (1995), pembentukan kompleks anion organik dengan Al dan Fe, paling efektif di bawah pH 5,5. Pengkelatan  $Al^{3+}$  oleh anion dari asam organik menyebabkan pelepasan P anorganik yang terikat oleh kation Al (Wang *et al.*, 2008). Kation  $Al^{3+}$  dalam tanah dapat mempertukarkan atau mengganti basa-basa tersebut karena muatan atau valensinya lebih tinggi, sehingga lebih kuat

(Cerdan *et al.*, 2007). Reaksi pertukaran ini akan berlanjut dengan reaksi pembentukan senyawa kompleks, dan apabila kation-kation tersebut digunakan oleh asam-asam organik (humat dan fulvat) untuk mengikat  $\text{Al}^{3+}$ , maka disebut khelat. Pengkhelatan logam terjadi karena gugus fungsional dari asam humat dan fulvat mengalami deprotonasi yang dapat menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul, sehingga meningkatkan jumlah muatan negatif, yang menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid asam humat bermuatan negatif menjadi lebih terbuka (Alimin *et al.*, 2005).

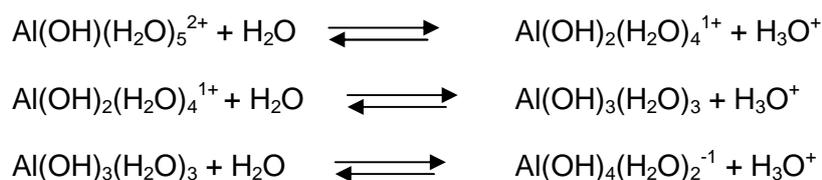
Proses pembentukan kompleks dengan kation-kation penjerap P dalam tanah dapat menurunkan jerapan P dengan mekanisme sebagai berikut:



Terjadinya pengkhelatan Al pada tanah masam bisa diharapkan akan mengurangi kelarutan atau aktifitas Al yang meracuni tanaman dan mengurangi fiksasi unsur P yang sangat dibutuhkan tanaman (Jones *et al.*, 2001). Lebih rendahnya penurunan kandungan  $\text{Al}_{\text{dd}}$  pada perlakuan ekstrak dibandingkan dengan perlakuan kompos, terkait dengan lebih rendahnya kemampuan ekstrak kompos dibandingkan dengan kompos, dalam meningkatkan ketersediaan P tanah (Gambar 11).

Menurut Tan dan Keltjens (1995),  $\text{Al}_{\text{dd}}$  merupakan bentuk Al yang sangat penting karena dapat menyangga Al labil. Penurunan  $\text{Al}_{\text{dd}}$  pada tanah masam, akan menurunkan kemampuan tanah untuk mensuplai (menyangga) Al larut dalam tanah. Lindsay (1979), bahwa reaksi hidrolisis Al pada tanah masam yang dapat menyangga kemasaman tanah adalah sebagai berikut:





Asam organik, dapat menurunkan keracunan Al dalam tanah. Asam organik hasil dekomposisi bahan organik bervariasi dari asam alifatik sederhana hingga asam aromatik dan heterosiklik. Asam organik yang paling efektif menurunkan keracunan Al adalah asam organik yang mengandung dua pasang OH/COOH yang digandeng pada dua karbon yang berdampingan (sitrat dan tartarat), atau gugus COOH yang dihubungkan secara langsung (oksalat). Asam organik yang mengandung sepasang OH/COOH yang terikat pada rantai dua karbon yang berdampingan atau dua gugus COOH yang terikat pada karbon pusat (malonat), memiliki kemampuan yang sedang, dan asam organik yang tidak memiliki konfigurasi struktur tertentu adalah yang paling lemah dalam mengatasi keracunan Al (Hue *et al.*, 1986).

Wawan (2002) menyatakan bahwa penurunan  $\text{Al}_{\text{dd}}$  oleh pengaruh asam asetat, asam oksalat, asam sitrat, dan asam humat pada Ultisol, ternyata hanya asam humat yang efektif menurunkan  $\text{Al}_{\text{dd}}$ . Hal ini sejalan dengan Winarso *et al.* (2009), bahwa senyawa humik dapat menurunkan  $\text{Al}_{\text{dd}}$  tanah. Penurunan  $\text{Al}_{\text{dd}}$  ini disebabkan Al mengendap menjadi  $\text{Al(OH)}_3$  dan terkhelat oleh gugus-gugus fungsional (COOH dan OH) yang terkandung dalam senyawa humik (humat dan fulvat). Menurut Heim *et al.* (2003); Kubicki dan Trout (2003), senyawa humat dan fulvat mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur Fe, Al, dan Ca, sehingga akan mengikat unsur-unsur tersebut dari senyawa fosfat masing-masing dan menjadikan unsur fosfat terlepas dalam larutan tanah.

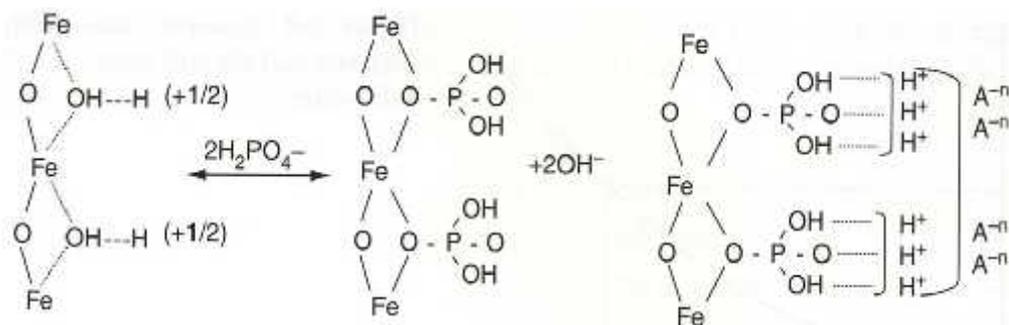
Menurut Heim *et al.* (2003); Kubicki dan Trout (2003), pengkhelatan Al oleh gugus COOH dan OH terjadi karena sekitar 85% sampai 90% muatan

negatif dari senyawa organik berasal dari disosiasi gugus fungsional karboksilat (-COOH) dan hidroksida (-OH). Secara sederhana pengkhelatan Al oleh asam organik, seperti reaksi berikut:

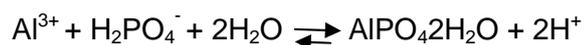


Penurunan konsentrasi  $\text{Al}_{\text{td}}$  pada tanah masam oleh asam-asam organik, mempengaruhi konsentrasi P-larut (tersedia). Terjadinya peningkatan P-larut ini disebabkan oleh beberapa mekanisme, di antaranya: (1) Pembentukan kompleks organik Al, sehingga P-terlarut meningkat; (2) Reaksi pertukaran ligan pada tapak yang sama dengan P; dan (3) Perubahan permukaan penjerap yang menyebabkan munculnya muatan negatif yang diikuti oleh peningkatan gaya tolak elektrostatis ion-ion fosfat (Gerke, 1992). Menurut Wang *et al.* (2008), khelasi  $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  oleh anion organik menyebabkan pelepasan P-anorganik yang terikat oleh kation, dan anion organik yang bersaing dengan P yang terjerap pada permukaan partikel tanah, merangsang terjadinya pelepasan anion fosfat.

Perubahan ketersediaan P tanah Ultisol, juga berhubungan dengan perubahan kompleks jerapan P pada tanah (Al-P dan Fe-P). Pada Ultisol Sulawesi Selatan, penurunan ketersediaan P tanah setelah hari ke 42 (hal ini terlihat pada hasil pengamatan fraksionasi P) (Tabel 6 dan Tabel 7), disebabkan P tersedia dalam tanah relatif lebih cepat menjadi tidak tersedia, akibat segera terikat oleh kation tanah (terutama Al dan Fe, yang kemudian mengalami (pengendapan), atau terfiksasi pada permukaan koloid tanah (liat dan oksida Al atau Fe) atau lewat pertukaran anion (terutama dengan  $\text{OH}^-$ ), yang secara sederhana proses tersebut digambarkan seperti persamaan reaksi berikut ini:



Selain itu, pH tanah di bawah 5,6, menyebabkan kelarutan Fe dan Al meningkat, sehingga memfiksasi dan mengendapkan (presipitasi) P larutan membentuk Al-P dan Fe-P (koloid), yang kemudian mengalami kristalisasi. Dalam proses kristalisasi ini, proses Fe-P lebih cepat dibanding Al-P. Hal ini disebabkan, proses kecepatan pengendapan Al-P dan Fe-P dipengaruhi oleh nilai Ksp (*Konstanta Solubility Product*) masing-masing. Semakin kecil nilai Ksp, semakin mudah untuk mengendap (nilai Ksp Fe-P ( $\text{FePO}_4$ ) =  $1,33 \cdot 10^{-22}$  dan Al-P ( $\text{AlPO}_4$ ) =  $9,8 \cdot 10^{-21}$ ), sehingga  $\text{FePO}_4$  lebih cepat mengendap daripada  $\text{AlPO}_4$ . Selain itu, Singh and Amberger (1998) menyatakan bahwa tingkat kelarutan P secara langsung berkorelasi dengan penurunan pH tanah.



Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada Ultisol, P yang terikat pada Fe (Fe-P) lebih banyak dibanding Al-P (Tabel 6, dan 7). Menurut Wang *et al.* (2008), mobilisasi fosfat oleh asam organik, tergantung dari jenis tanah dan dikendalikan oleh status P di dalam tanah tersebut.

Tabel 6 menunjukkan bahwa pada Ultisol, apabila dibandingkan dengan kontrol (U-kontrol), pemberian ekstrak kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung dan sisa tanaman kacang tanah, menyebabkan penurunan kompleks Al-P

sejak inkubasi hari ke-7, masing-masing sebesar 25,39%, 27,00%, dan 27,89%. Penurunan kompleks Al-P terbesar terjadi pada hari ke-28 inkubasi dengan perlakuan ekstrak kompos. Pada hari ke-28 inkubasi, ekstrak kompos sisa tanaman padi mampu menurunkan kompleks Al-P sebesar 68,67%, ekstrak kompos sisa tanaman jagung 48,13%, dan ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah 82,47%. Penurunan kompleks A-P ini cenderung terus terjadi sampai akhir masa inkubasi (hari ke-63). Pengaruh ekstrak kompos terhadap penurunan kompleks Al-P pada Ultisol, cenderung lebih baik dibandingkan aplikasi dalam bentuk kompos. Pada hari ke-28 inkubasi, kompos sisa tanaman padi mampu menurunkan kompleks Al-P sebesar 56,55%, kompos sisa tanaman jagung 14,87%, dan kompos sisa tanaman kacang tanah 25,95%.

Tabel 6. Pengaruh inkubasi ekstrak kompos dan kompos terhadap perubahan Al-P pada Ultisol dan Alfisol

No	Perlakuan )	Al-P (mg/kg), selama inkubasi (hari)				
		7	14	28	42	63
1	U-kontrol	5,53 f	5,53 c	5,53 e	5,53 b	5,53 d
2	U-EKP	4,13 b	2,88 a	1,73 ab	4,28 ab	2,86 a
3	U-EK J	4,04 a	2,93 a	2,87 c	4,81 ab	3,89 b
4	U-EKKT	3,99 a	2,58 a	0,97 a	3,26 a	3,90 b
5	U-KP	5,18 a	4,72 b	2,40 e	6,07 b	4,84 c
6	U-KJ	6,75 b	4,25 b	4,71 d	6,63 c	7,65 e
7	U-KKT	6,93 d	5,03 b	4,10 d	5,86 b	5,00 c
8	A-kontrol	25,94 e	25,94 f	25,94 h	17,32 e	25,94 h
9	A-EKJ	15,99 c	17,69 d	14,12 f	15,89 d	13,28 f
10	A-KJ	28,75 f	23,93 e	22,25 g	23,90 f	20,81 g

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang dikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 4

Ekstrak kompos baik dari kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, maupun sisa tanaman kacang tanah, ternyata pengaruhnya lebih cepat dan lebih baik terhadap penurunan kandungan Al-P dalam Ultisol, kemungkinan karena

asam organik yang ada di dalam ekstrak kompos tersebut secara langsung bereaksi dengan Al-P yang ada di dalam tanah.

Pengaruh ekstrak kompos sisa tanaman jagung terhadap penurunan kompleks Al-P pada Alfisol, lebih baik dari pada aplikasi komposnya. Penurunan kompleks Al-P sangat nyata sejak hari pertama inkubasi sampai akhir masa inkubasi (63 hari), dengan aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman jagung. Pengaruh kompos sisa tanaman jagung terhadap penurunan kompleks Al-P tidak sebaik dengan aplikasi komposnya (Tabel 6).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pengkkelatan dari  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  oleh anion organik menyebabkan pelepasan P anorganik yang terikat oleh kation, dan anion organik yang bersaing dengan adsorpsi P pada permukaan partikel tanah lebih merangsang desorpsi dari adsorpsi anion fosfat (Wang *et al.*, 2008). Dalam hal ini, asam humat dan fulvat merupakan senyawa utama yang bertanggung jawab pada pengkkelatan logam dalam tanah. He *et al* (2006) menyatakan bahwa asam fulvat merupakan agen yang digunakan untuk mengkkelat  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$ , serta efektif di dalam melarutkan  $AlPO_4$ . Namun substansi humat tanah kemungkinan mengandung bahan organik-logam ( $Al^{3+}/Fe^{3+}$ ) kompleks fosfat, yang berperan dalam melarutkan P melalui pertukaran ligan, terutama dengan kompleks logam atau khelasi asam-asam organik.

Menurut Kubicki dan Trout (2003), kekuatan ikatan dalam khelat antara ion logam dengan gugus fungsional asam organik kuat dan stabil. Reaksi pengkkelatan logam  $Al^{3+}$ , dilakukan oleh gugus-gugus fungsional dalam asam-asam organik, seperti: gugus karboksilat dan fenolat, atau karboksilat dan karboksilat. Asam-asam organik seperti humat dan fulvat, mempunyai luas permukaan yang tinggi dan kaya akan gugus-gugus fungsional. Senyawa humat

umumnya dicirikan oleh kadar gugus karboksil berkisar 1,5-2,7 me/g tanah, sedang asam fulvat berkisar 7,9-9,1 me/g tanah, lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa humat.

P yang terikat pada Fe (Fe-P) pada Ultisol jauh lebih banyak dibandingkan dengan P yang terikat pada Al (Al-P) (Tabel 6 dan Tabel 7). Penurunan kompleks Fe-P pada Ultisol dengan aplikasi ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, dan sisa tanaman kacang tanah, maksimal terjadi pada hari ke-28 inkubasi. Aplikasi ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap penurunan kompleks Fe-P pada hari ke-28 inkubasi, masing-masing sebesar 34,81%, 35,50%, 39,61%. Sementara aplikasi kompos sisa tanaman padi, jagung, dan kacang tanah pada hari ke-28 inkubasi, mampu menurunkan kompleks Fe-P masing-masing sebesar 33,84%, 34,36%, dan 34,15% (Tabel 7). Penurunan kompleks Fe-P yang cukup besar pada hari ke 28 inkubasi, diduga berpengaruh positif terhadap peningkatan ketersediaan P tanah Ultisol pada waktu yang sama. Hal ini berarti bahwa pada hari ke 28 inkubasi, terjadi pelepasan P dari kompleks Fe-P dan Al-P yang cukup besar, sehingga P tersedia tanah menjadi meningkat.

Berdasarkan perhitungan persentase penurunan kompleks Al-P dan Fe-P, maka jumlah P yang larut dari Al-P lebih banyak dari Fe-P. Hal ini disebabkan  $K_{sp}$  Al-P ( $AlPO_4$ :  $9,8 \cdot 10^{-21}$ ) lebih besar dari pada  $K_{sp}$  Fe-P ( $FePO_4$ :  $1,3 \cdot 10^{-22}$ ), yang berarti semakin besar nilai  $K_{sp}$ , semakin besar tingkat kelarutan.

Tabel 7. Pengaruh inkubasi ekstrak kompos dan kompos terhadap perubahan Fe-P pada Ultisol dan Alfisol

No	Perlakuan *)	Fe-P(mg/kg), selama inkubasi (hari)									
		7		14		28		42		63	
1.	U-kontrol	130,29	b	130,39	cd	130,39	c	130,39	f	130,39	b
2.	U-EKP	83,14	a	125,36	de	85,00	a	84,87	a	152,15	cd
3.	U-EK J	141,05	b	145,26	de	84,11	a	91,31	b	161,82	d
4.	U-EKKT	145,61	b	116,05	abcd	78,74	a	89,07	a	156,17	cd
5.	U-KP	139,37	b	147,90	de	86,26	a	105,76	d	157,38	cd
6.	U-KJ	128,62	b	104,26	abc	85,59	a	105,01	cd	140,48	bc
7.	U-KKT	168,08	c	79,80	a	85,86	a	118,52	e	178,47	e
8.	A-kontrol	98,59	a	98,59	ab	98,59	b	98,95	c	98,59	a
9.	A-EKJ	79,97	a	142,51	cde	95,61	b	105,43	cd	186,69	e
10.	A-KJ	143,77	b	167,31	e	98,06	b	103,85	cd	153,01	cd

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 4

Kemampuan ekstrak kompos dalam menurunkan kompleks Fe-P pada Ultisol cenderung mempunyai pengaruh yang sama dengan aplikasi dalam bentuk kompos. Penurunan kompleks Fe-P masih terjadi sampai hari ke 42 inkubasi, tetapi pada akhir masa inkubasi (hari ke 63), kompleks Fe-P cenderung meningkat kembali (Tabel 7).

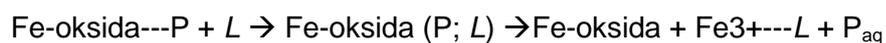
Penurunan kompleks Fe-P yang berarti peningkatan jumlah P yang terlepas dari kompleks Fe-P, diduga berhubungan erat dengan kandungan senyawa organik terutama asam humat dan fulvat yang ada di dalam ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah. Menurut Alimin *et al.* (2005), asam humat dan fulvat merupakan asam organik yang paling kuat dalam membebaskan orthofosfat dari Al dan Fe. Stabilitas reaksi kimia antara humus dengan logam bervalensi tiga ( $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$ ) dalam membentuk kompleks paling kuat. Pengaruh pengkhelatan terhadap mobilitas logam disebabkan oleh adanya perubahan kelakuan ion. Setelah terjadi pengkhelatan, kation akan dikelilingi oleh ligan-ligan pengkhelat dan kation tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk anion, sehingga anion tersebut akan ditolak oleh koloid bermuatan negatif (Alimin *et al.*, 2005). Menurut Cerdan *et al.* (2007) dan Wang *et al.* (2008), pengkhelatan dari  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  oleh anion organik menyebabkan pelepasan P anorganik yang terikat oleh kation, dan anion organik yang bersaing dengan adsorpsi P pada permukaan partikel tanah lebih merangsang desorpsi dari adsorpsi anion fosfat.

Pertukaran ligan adalah proses dimana pertukaran ligan organik untuk anorganik P di tapak permukaan mineral, sehingga melepaskan P ke dalam larutan tanah (Johnson and Loeppert, 2006), antara lain:



Di mana:  $L$  = Agen organik Fe-kompleks (ligan), dan  $\text{P}_{\text{aq}}$  = Fosfat anorganik

Dalam proses peningkatan pelarutan ligan, ligan organik teradsorpsi pada permukaan tapak struktural-Fe, sehingga pembubaran lambat dari permukaan Fe-oksida dan pelepasan P terserap ke larutan tanah (Johnson and Loeppert, 2006):



Kedua mekanisme tersebut di atas, mencakup pembentukan permukaan Fe-kompleks ligan. Efektivitas relatif spesifik asam organik dalam melepaskan P oleh salah satu mekanisme yang berhubungan dengan stabilitas struktural dari permukaan tapak Fe-oksida dan kestabilan permukaan Fe<sup>3+</sup>-ligan dan kompleks Fe<sup>3+</sup>-ligan terlarut.

Hu *et al.* (2005) menyatakan, bahwa pada tanah masam yang didominasi Fe, pemberian asam organik setelah diinkubasi selama 14 hari memiliki P tersedia yang jauh lebih besar dibanding yang baru diinkubasi 1 hari. Besarnya peningkatan tersebut berkisar 0,74-3,2 kali lebih besar dari sebelumnya. P tersedia meningkat seiring dengan waktu inkubasi asam organik pada tanah tersebut. Namun lebih jauh dijelaskan bahwa transformasi bentuk P merupakan proses yang kompleks, tergantung pada sifat tanah dan jenis ligan organik yang ditambahkan. Selanjutnya dijelaskan, bahwa beberapa jenis asam fenolik lebih efektif daripada asam sitrat dalam meningkatkan ketersediaan P, setelah diinkubasi selama 14 hari. Jumlah gugus hidroksil fenolik memegang peran kunci dalam mengendalikan proses mobilisasi P pada tanah berkapur (kalkareus), tetapi pada tanah masam jumlah gugus karboksil di ligan, lebih penting dibandingkan dengan gugus hidroksil dalam memobilisasi P.

Dinamika Al-P dan Fe-P selama inkubasi ini, memberikan pengaruh yang berkaitan dengan peningkatan ketersediaan P yang cukup besar pada hari ke 28 inkubasi. Peningkatan P tersedia diduga berhubungan dengan transformasi dari

Al-P ke Fe-P yang lebih mudah larut. Menurut (Wang *et al.*, 2008), asam organik memperkuat kemasaman tanah. Dalam kondisi asam, Al-P dan Fe-P cenderung stabil, sedangkan Ca-P tidak. Oleh karena itu, Ca-P adalah fraksi utama dari P yang terkena induksi asam organik pemasaman tanah. Beberapa peneliti percaya bahwa asam organik bisa mempercepat pelepasan P melalui pengendapan  $\text{Ca}^{2+}$ . P tersedia pada Ultisol tidak bisa eksis untuk waktu yang lama karena mudah berubah menjadi Al-P dan seiring berjalannya waktu menjadi Fe-P. Anion organik dengan massa molekul rendah dapat berkoordinasi dengan Fe atau Al larut membuat beberapa kompleks yang lebih stabil dari Fe atau Al fosfat, yang mencegah pembentukan fosfat Fe atau Al.

Reaksi pelepasan P dan pembubaran kompleks Al-P/Fe-P, dapat dijelaskan dari mekanisme pelepasan P dari kompleks Al-P/Fe-P oleh mikroba menurut Bashan *et al.* (2013) sebagai berikut:



Dimana, m adalah koefisien stokiometri dalam pembentukan kompleks, dan n adalah indeks yang sama dengan nilai absolut dari perubahan kompleks anion ( $\text{X}^{n-}$ ). Reaksi pembubaran kompleks Al-P/Fe-P tersebut di atas, berhubungan dengan adanya asam-asam organik yang dikeluarkan oleh mikroba, dan juga ditentukan oleh pH medium (Bashan *et al.*, 2013).

Selain itu, Wang *et al.* (2008) juga menyatakan bahwa penambahan asam organik (asam sitrat > asam tartarak > asam oksalat), dapat memobilisasi P-tidak larut (P-occluded, Al-P, Fe-P, dan Ca-P). Mekanisme mobilisasi ini melalui penurunan pH, namun diingatkan bahwa mekanisme ini bisa menjadi masalah pada pertumbuhan tanaman, karena pengaruh meracuni logam-logam (khususnya Al yang juga termobilisir).

Anion-anion organik tersebut mampu berkompetisi dengan gugus fosfat untuk berikatan dengan tapak-tapak ikatan dalam tanah sehingga P tetap bebas atau tersedia (Ryan *et al.*, 2001). Selain itu, anion-anion organik tersebut membentuk kompleks lebih kuat dengan  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  dibandingkan dengan fosfat itu sendiri. Pertukaran ligan dapat juga terjadi dengan P yang diikat oleh Fe dan Al oksihidroksida, diganti dengan anion-anion organik.

Berdasarkan kecepatan waktu capaian maksimum peningkatan P tersedia tanah dan penurunan  $Al_{dd}$ , perlakuan kompos sisa tanaman kacang tanah, merupakan perlakuan terbaik yang selanjutnya dapat diaplikasikan ke tanah Ultisol di lapangan.

### 5.2.2. Kesimpulan

- 1) Aplikasi ekstrak asam organik dari kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, dan sisa tanaman kacang tanah sebesar 20 t/ha, berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan P tersedia pada Ultisol dari Moncongloe, Sulawesi Selatan. Peningkatan P tersedia seiring dengan lamanya inkubasi. Peningkatan sangat nyata terjadi pada hari ke-28 inkubasi dengan perlakuan kompos sisa tanaman padi 1999,11%, kompos sisa tanaman jagung 2513,65%, dan kompos sisa tanaman kacang tanah 2681,83%, bila dibandingkan dengan kontrol.
- 2) Kompos sisa tanaman kacang tanah merupakan perlakuan yang terbaik dalam meningkatkan P tersedia pada tanah Ultisol Moncongloe Sulawesi Selatan.

### **5.3. Pengaruh Kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap P tersedia, Serapan P, Pertumbuhan dan hasil Tanaman Jagung Pada Ultisol**

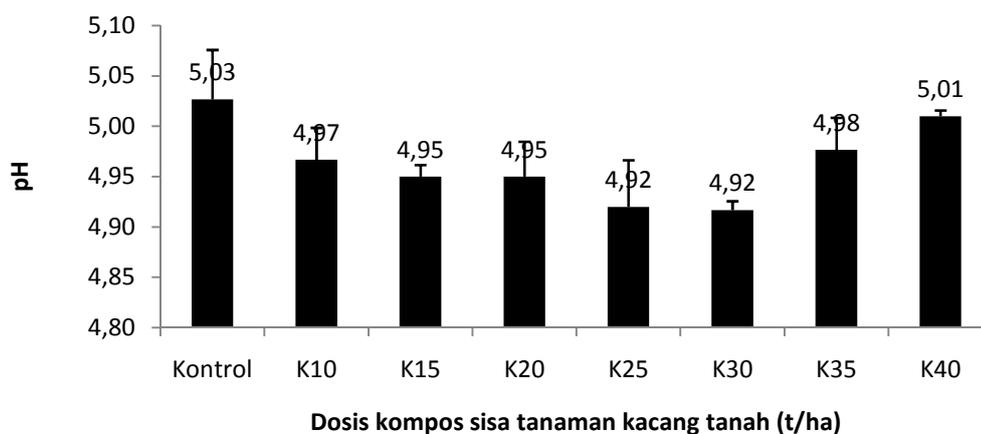
Pemilihan kompos sisa tanaman kacang tanah sebagai perlakuan pada tahap ini disebabkan kompos sisa tanaman kacang tanah mempunyai pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan P tersedia pada tanah Ultisol (hasil penelitian Tahap II, sub bab 5.2.). selain itu, kompos sisa tanaman kacang tanah mengandung asam laktat, malat, asetat, dan asam fulvat yang lebih tinggi dibanding kompos sisa tanaman padi dan jagung (Gambar 6 dan Gambar 7). Faktor lain yang menjadi pertimbangan adalah kompos kacang tanah memiliki rasio C/N (7,22) dan C/P (34,88) yang cukup rendah, dengan kadar P-total 0,41% (Tabel 1), sehingga memenuhi kriteria kompos yang berkualitas untuk dijadikan bahan pembenah tanah.

#### **5.3.1. Kemasaman dan P tersedia tanah saat panen**

Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan pH tanah setelah dilakukan penanaman jagung pada Ultisol (Gambar 12), meskipun ada kecenderungan pH (H<sub>2</sub>O) tanah menurun dengan penambahan kompos sisa tanaman kacang tanah, setelah panen. Hasil penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya bahwa pemberian ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung dan sisa tanaman kacang tanah cenderung menurunkan pH tanah setelah diinkubasi 63 hari.

Kecenderungan penurunan pH tanah ini, kemungkinan karena kandungan asam-asam organik serta senyawa humat dan fulvat yang ada di dalam kompos sisa tanaman kacang tanah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, bahwa kandungan asam-asam organik dan senyawa fulvat pada kompos sisa tanaman kacang tanah cukup tinggi (Tabel 1, sub bab 4.1.4.). Minardi *et al.* (2007) menyatakan bahwa asam-asam organik akan menurunkan pH tanah. Banach-

Szott dan Debska (2008) menyatakan bahwa kemasaman total senyawa humat dalam tanah disebabkan oleh adanya proton yang terdisosiasi atau ion-ion  $H^+$  pada gugus karboksil aromatik, alifatik, dan gugus  $-OH$  fenolat. Kemasaman total dan kandungan gugus karboksilat senyawa humat lebih rendah dibandingkan asam fulvat. Asam fulvat memiliki kandungan gugus karboksil 2-3 kali lebih tinggi dibanding asam humat.



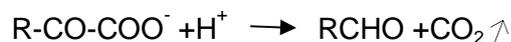
Gambar 12. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap perubahan pH Ultisol pada akhir percobaan (saat panen)  
\*) lihat Tabel 5

Penurunan pH tanah karena pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah adalah sebagai akibat proses dekomposisi yang melepaskan ion  $H^+$  dari gugus karboksil, digambarkan dengan persamaan reaksi sederhana sebagai berikut:

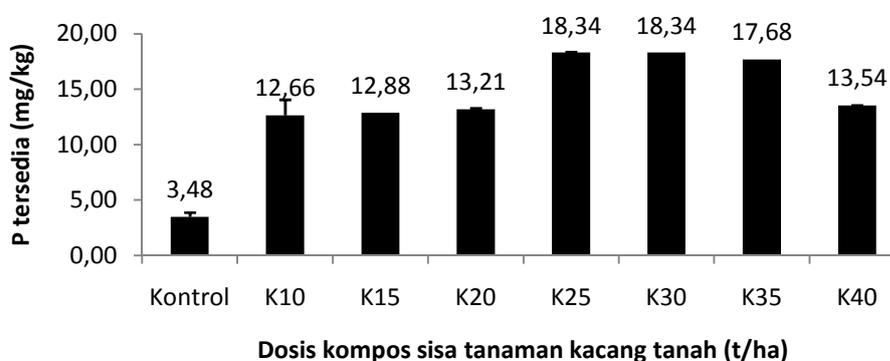


Penurunan pH tanah ini selain disebabkan oleh senyawa-senyawa organik yang ada di dalam kompos, juga diduga terkait dengan kemungkinan adanya pelepasan senyawa organik oleh akar tanaman jagung atau oleh aktifitas akar yang melepaskan ion  $H^+$  sebagai  $HCO_3^-$ . Menurut Dinkelaker *et al.* (1989), pelepasan asam organik oleh akar tanaman mengakibatkan pengasaman tanah

di rhizosfer. Pengasaman ini disebabkan oleh dekarboksilasi anion asam organik yang mengkonsumsi proton dan melepaskan CO<sub>2</sub>.



Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh sangat nyata terhadap P tersedia tanah Ultisol. Pemberian kompos 25 t/ha (K25) dan 30 t/ha (K30), memberikan P tersedia tanah yang terbaik dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan pemberian kompos 35 t/ha (K35).

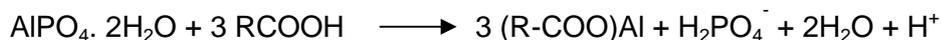


Gambar 13. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap P tanah tersedia saat panen  
\*) lihat Tabel 5

P tersedia tanah meningkat seiring dengan penambahan dosis kompos sisa tanaman kacang tanah sampai pada dosis 25 t/ha. Hal ini disebabkan kompos sisa tanaman kacang tanah mengandung senyawa humat dan fulvat, bahkan senyawa fulvat lebih tinggi daripada senyawa humat (Gambar 7, sub bab 5.1.1.). Menurut Minardi *et al.* (2007), kemampuan senyawa fulvat dalam melepaskan P terjerap lebih besar bila dibanding senyawa humat. Hal ini disebabkan, mobilitas asam fulvat lebih tinggi daripada asam humat, karena berat molekul asam fulvat lebih rendah dibanding asam humat (Stevenson, 1982). Selain itu, asam fulvat mempunyai kemasaman total yang tinggi antara 10-12 me/g, sekitar dua kali lipat dibandingkan asam humat (5-6 me/g)

(Schnitzer, 1997). Kemasaman total yang lebih tinggi pada asam fulvat, kemungkinan karena kadar karboksilnya yang lebih tinggi. Sifat-sifat tersebut menyebabkan kemampuan membentuk kompleks dengan kation-kation dan mineral-mineral yang berperilaku sebagai kation dalam tanah menjadi sangat besar.

Peningkatan P tersedia dalam tanah oleh aktifitas asam-asam organik (senyawa humat dan fulvat, serta asam-asam organik hasil dekomposisi) terhadap reduksi Al dan Fe aktif, terjadi karena hasil pertukaran ligan dari oksida besi dan Al dengan asam-asam organik. Ikatan kompleks yang terjadi antara asam humat dengan Fe dan Al merupakanantisipasi terhadap ikatan yang terjadi antara P dengan Al dan Fe, sehingga P dapat terserap secara maksimal oleh tanaman (Davis *et al.*, 2001). Secara umum dapat ditunjukkan seperti persamaan reaksi di bawah ini (Kubicki dan Trout, (2003):

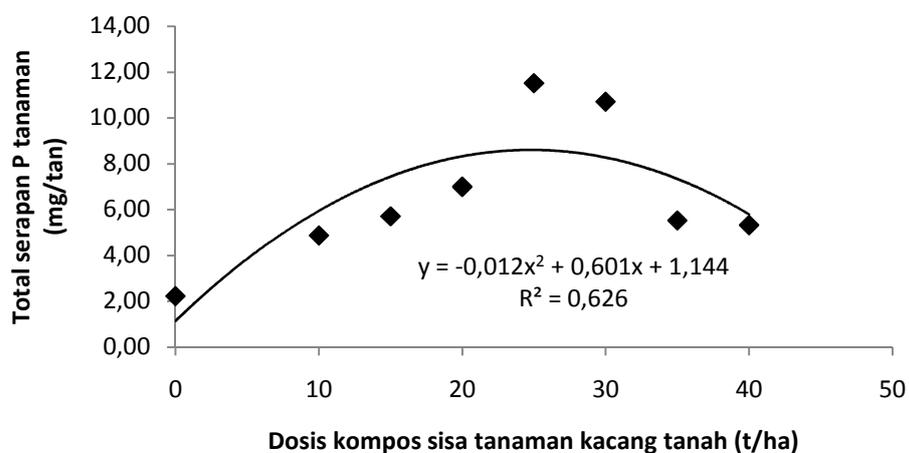


Perlakuan kompos sisa tanaman kacang tanah memberikan P tersedia yang cukup baik pada Ultisol, sehingga serapan P oleh tanaman menjadi lebih baik, yang akhirnya mempengaruhi hasil tanaman jagung. Peningkatan dosis kompos sisa tanaman kacang tanah yang digunakan akan meningkatkan jumlah senyawa humat dan fulvat yang disumbangkan ke dalam tanah, sehingga akan meningkatkan KTK tanah. Herviyanti *et al.* (2007) menyatakan bahwa peningkatan takaran asam humat dari tanah gambut dan kompos sisa tanaman padi meningkatkan KTK tanah. Semakin besar takaran asam humat maka sumbangan gugus fungsional dari karboksil (-COOH) dan fenolat (-OH) merupakan sumber muatan negatif semakin besar. Menurut Peiris *et al.* (2011), gugus-gugus fungsional yang mengandung oksigen (OH, OCH<sub>3</sub>, COOH, C-O-C, dan C=O), menyebabkan asam-asam humik memiliki muatan negatif yang besar,

sehingga kemampuan menyerap dan mempertukarkan kation (KTK) juga semakin besar. Dengan meningkatnya muatan negatif maka KTK tanah menjadi meningkat, sehingga ketersediaan hara semakin baik.

### 5.3.2. Pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap serapan P oleh tanaman jagung

Seperti pada pembahasan sebelumnya (sub bab 5.2), bahwa kompos sisa tanaman kacang tanah mampu meningkatkan P tersedia tanah Ultisol yang lebih baik dibanding perlakuan lainnya. Pada percobaan yang lebih lanjut, pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah, mempengaruhi P tersedia tanah dan serapan P tanaman (Gambar 14). Serapan P tanaman jagung merupakan hasil perkalian antara kadar P dengan bobot kering total tanaman. Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh sangat nyata terhadap total serapan P tanaman jagung yang ditanam pada Ultisol Sulawesi Selatan (Gambar 14). Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) memberikan serapan P tanaman yang terbaik dibanding perlakuan lainnya. Hubungan antara dosis kompos kacang tanah dengan total serapan P tanaman jagung disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap total serapan P tanaman jagung varietas Gumarang pada saat panen (90 HST)

Menurut Haynes dan Mokolobate (2001); Cavigelli dan Thien (2003), bahwa penambahan bahan organik (kompos) akan meningkatkan ketersediaan P tanah, serapan P oleh tanaman, dan menurunkan adsorpsi P. Namun dijelaskan lebih lanjut, bahwa penambahan bahan organik tidak selalu meningkatkan ketersediaan P dan serapan P dalam jaringan tanaman. Hal ini disebabkan adanya kompetisi dengan mikroba dan proses pengikatan oleh tanah. Pengaruh dosis kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap total serapan P tanaman jagung mempunyai hubungan yang kuadratik dengan persamaan regresi,  $Y = -0,012x^2 + 0,601x + 1,144$  (Y: Total serapan P tanaman, x: Dosis kompos sisa tanaman kacang tanah), dengan  $R^2 = 0,626$ .

Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 10 t/ha (K10), peningkatan total serapan P tanaman mencapai 150,45%, dosis kompos 20 t/ha (K20) mampu meningkatkan total serapan P tanaman hingga 228,32%, dan peningkatan serapan P tanaman tertinggi dicapai dengan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebanyak 25 t/ha (K25) sebesar 482,62%, bila dibandingkan kontrol (K0). Peningkatan serapan P ini, diduga berhubungan dengan kandungan asam-asam organik yang terdapat di dalam kompos kacang tanah. Seperti pada pembahasan sebelumnya (Sub bab 5.1.1.), bahwa kompos sisa tanaman kacang tanah yang digunakan mengandung asam-asam organik seperti asam laktat, asam malat dan asam asetat yang lebih tinggi dari kompos lain, begitu pula kandungan asam humat dan fulvatnya, sehingga akan mempengaruhi ketersediaan dan serapan P tanaman jagung.

Analisis DMRT (0,05) pada Tabel 8 menunjukkan bahwa aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) memberikan serapan P yang tertinggi baik pada tajuk maupun biji per tanaman jagung yang dipanen saat 90 HST. Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 30 t/ha

menyebabkan serapan P tanaman menjadi menurun. Hal ini disebabkan kompos yang diberikan ke dalam tanah mengalami imobilisasi, sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman (Frossard *et al.*, 1995; Grierson *et al.*, 2004). Selain itu, Winarso *et al* (2009) menyatakan bahwa penambahan senyawa humik pada Ultisol sampai 3000 ppm, justru akan menurunkan P larut di dalam tanah.

Tabel 8. Hubungan antara dosis kompos sisa tanaman kacang tanah dengan P tanah tersedia dan serapan P tanaman jagung varietas Gumarang

Perla- kuan	P tersedia (mg/kg)	Serapan P (mg/tan)				Total serapan P (mg/tan)	Peningkatan total serapan P (%)
		tajuk		Biji			
Kontrol	3,46 a	1,44 a	0,78 a	2,22 a	0,00		
K10	12,66 b	2,44 b	3,12 b	5,56 b	150,45		
K15	12,88 b	2,44 b	3,19 b	5,63 b	154,66		
K20	13,21 b	3,77 d	3,46 b	7,23 d	228,32		
K25	18,34 c	7,25 f	5,64 c	12,89 f	482,62		
K30	18,34 c	6,08 e	5,39 c	11,47 e	419,94		
K35	17,68 c	3,22 c	3,41 b	6,63 c	200,12		
K40	13,54 b	2,71 b	3,25 b	5,96 b	169,04		

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 5

Apabila dibandingkan dengan kontrol, terjadi peningkatan serapan P tajuk tanaman yang nyata dengan aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah seiring dengan peningkatan dosis kompos sampai 25 t/ha (K25) (Tabel 8). Pada pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 10 t/ha (K10), terjadi peningkatan serapan P tajuk tanaman jagung sebesar 71,27%, dosis kompos 20 t/ha (K20) peningkatan serapan P tajuk tanaman sebesar 164,56%, dan peningkatan serapan P tajuk tanaman tertinggi tercapai dengan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) sebesar 405,86%.

Sama halnya dengan serapan P pada tajuk tanaman jagung, aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah juga meningkatkan serapan P pada biji jagung per tongkol. Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha

(K25) sampai 30 t/ha (K30), memberikan serapan P pada biji jagung per tongkol yang lebih baik, dibanding perlakuan lainnya (Tabel 8,) dan hasil uji DMRT (0,05) menunjukkan, serapan P tertinggi biji per tongkol diperoleh dengan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah 25 t/ha (K25).

Bila disimak lebih jauh, pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 10 t/ha (K10) mampu meningkatkan serapan P dalam biji jagung per tongkol sebesar 297,63%, sedang peningkatan dosis sampai 15 t/ha (K15) serapan P dalam biji jagung per tongkol mencapai 308,67%. Demikian pula, apabila dosis kompos sisa tanaman kacang tanah ditingkatkan menjadi 20 t/ha, serapan P dalam biji jagung per tongkol sebesar 344,77%, dan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) mampu meningkatkan serapan P dalam biji jagung per tongkol sebesar 622,41%. Hasil yang diperoleh pada perlakuan ini lebih tinggi dari nilai serapan P biji yang diperoleh apabila dosis kompos sisa tanaman kacang tanah ditingkatkan menjadi 30 t/ha (K30), yaitu 591,20% (Tabel 8), dan apabila dosis kompos sisa tanaman kacang tanah ditingkatkan ke dosis yang lebih tinggi, ternyata serapan P dalam biji jagung per tongkol cenderung semakin menurun, di mana dengan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 35 t/ha (K35), serapan P biji jagung per tongkol menurun menjadi 337,67%, dan dosis kompos 40 t/ha (K40) serapan P biji 315,21%.

Secara umum, pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap total serapan P pada tanaman jagung, maksimal terjadi pada dosis 25 t/ha dengan persentase peningkatan serapan P sebesar 482,62% bila dibandingkan kontrol.

Hubungan antara P yang tersedia dan P yang diserap tanaman dapat diketahui melalui perhitungan recovery P. Menurut Reddy *et al.* (2004);

Dobermann dan Fairhurst (2010), recovery adalah jumlah hara yang diambil oleh satu jenis tanaman, dibagi dengan jumlah hara yang tersedia. Dengan demikian, recovery P adalah jumlah P yang diserap tanaman dibagi dengan jumlah P yang tersedia.

Tabel 9. Perhitungan recovery P oleh tanaman jagung varietas Gumarang pada Ultisol

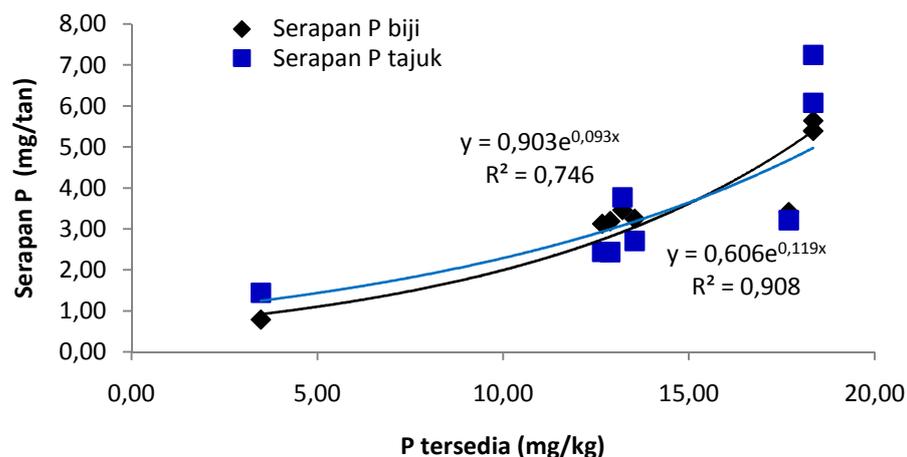
Perlakuan*)	P dari Kompos (mg/kg)	P tersedia tanah (mg/kg)	P diserap tanaman (mg)	P tersedia total (mg/kg)	P recovery (%)
Kontrol	0,00	3,48	2,22	5,70	-
K10	20,50	12,66	5,56	38,72	14,36
K15	30,75	12,88	5,63	49,26	11,43
K20	41,00	13,21	7,23	61,44	11,77
K25	51,25	18,34	12,89	82,48	15,63
K30	61,50	18,34	11,47	91,31	12,56
K35	71,75	17,68	6,63	96,06	6,90
K40	82,00	13,54	5,96	101,50	5,87

\*) lihat Tabel 5

Berdasarkan perhitungan recovery P pada Tabel 9, diketahui bahwa penambahan kompos sisa tanaman kacang tanah mempengaruhi status P dalam tanah. Setelah tanaman jagung varietas Gumarang dipanen, total P tersedia (P tersedia dalam tanah + P yang diserap tanaman) pada perlakuan penambahan kompos sisa tanaman kacang tanah, melebihi jumlah P tersedia pada awal percobaan. Hal ini menunjukkan peran kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap peningkatan P tersedia pada tanah Ultisol Menurut Minardi *et al.* (2007), tanaman jagung menyerap fosfat yang lebih banyak dari dalam tanah, sehingga kekurangan P menjadi kendala yang menghambat pertumbuhan dan produksi jagung. Selain itu, hampir 88% P dari kebutuhan P tanaman jagung, dipergunakan untuk pertumbuhannya. Penanaman tanaman jagung tanpa disertai dengan pemberian kompos, menyebabkan terjadinya pengurasan P tersedia di dalam tanah. Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar

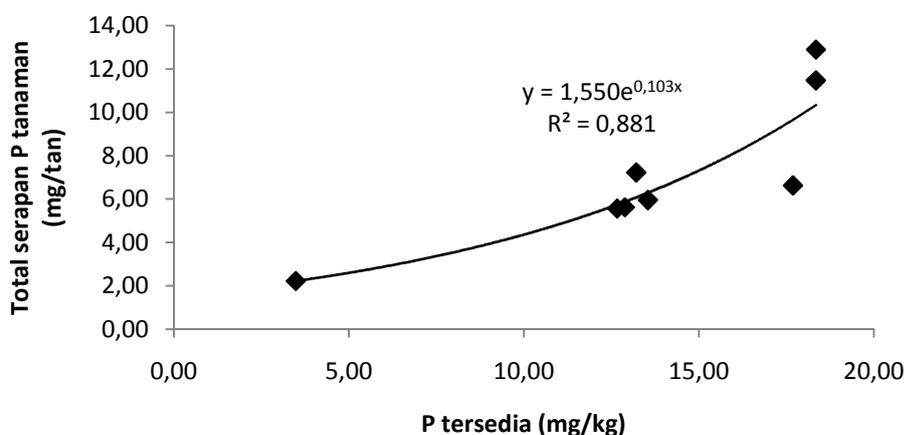
25 t/ha, mampu merecovery P di dalam tanah sebesar 15,63%. Namun peningkatan dosis kompos sisa tanaman kacang tanah di atas 25 t/ha, menyebabkan P tersedia di dalam tanah malah menurun (tidak diserap tanaman), diduga karena imobilisasi oleh mikroba dan terikat oleh partikel tanah menjadi tidak tersedia, karena terfiksasi kembali oleh Al dan Fe (Minardi *et al*, 2007).

Hubungan antara P tanah tersedia dengan serapan P tanaman jagung (Gambar 15), menunjukkan bahwa pada serapan P tajuk tanaman terjadi hubungan eksponensial dengan persamaan regresi  $Y = 0,903e^{0,093x}$ , di mana Y= serapan P tajuk tanaman jagung, dan x= P tanah tersedia, dengan nilai  $R^2 = 0,746$ , yang berarti 74,6 % serapan P tajuk tanaman jagung varietas Gumarang dipengaruhi oleh P tersedia dalam tanah Ultisol, dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Begitupula pada serapan P pada biji per tongkol tanaman jagung, dengan persamaan regresi  $Y = 0,606e^{0,119x}$ , di mana Y= serapan P biji per tongkol dan x= P tanah tersedia, dengan nilai  $R^2 = 0,908$ , yang berarti bahwa 90,8 % serapan P biji per tongkol, dipengaruhi oleh P tersedia tanah. Hubungan regresi ini menunjukkan adanya korelasi positif yang menggambarkan bahwa serapan P biji per tongkol akan meningkat seiring dengan peningkatan ketersediaan P di dalam tanah.



Gambar 15. Hubungan antara P tersedia dalam tanah dan serapan P tajuk tanaman dan serapan P biji per tongkol jagung varietas Gumarang

Meningkatnya P tanah tersedia akan berpengaruh terhadap P tersedia untuk tanaman, dan secara langsung akan berdampak pada meningkatnya serapan P tanaman jagung (Gambar 16). Hubungan antara P tanah tersedia dengan total serapan P tanaman jagung varietas Gumarang yang ditanam pada tanah Ultisol Moncongloe, Sulawesi Selatan menunjukkan hubungan yang eksponensial dengan persamaan regresi  $Y = 1,555e^{0,105x}$  (Y: Total serapan P tanaman jagung dan x: P tersedia), dengan  $R^2 = 0,881$  yang berarti 88,1% serapan P tanaman jagung dipengaruhi oleh P tersedia di dalam tanah, sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.



Gambar 16. Hubungan antara P tersedia dalam tanah dan total serapan P pada tanaman jagung varietas Gumarang

Peningkatan P tersedia, diikuti oleh peningkatan serapan P tanaman (Gambar 16). Telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah, menyebabkan penurunan  $Al_{dd}$  pada Ultisol (sub bab 5.2), akibat adanya asam-asam organik, terutama asam humat dan fulvat, yang menyebabkan aktifitas Al atau Fe menurun, sehingga P yang terjerap menjadi tersedia. Minardi *et al.* (2007), Winarso *et al.* (2009), dan Wahyudi *et al.* (2010) menyatakan bahwa senyawa humat dan fulvat, mampu mengikat logam berat seperti Fe dan Al (membentuk senyawa khelat) kemudian mengendapkannya sehingga mengurangi keracunan tanah. Hal ini disebabkan, senyawa humat mengikat Al dan Fe sebagai senyawa kompleks yang sulit larut dalam air (*insoluble*), sehingga tidak dapat terhidrolisis. Ikatan kompleks yang terjadi antara senyawa humat dengan Fe dan Al merupakanantisipasi terhadap ikatan yang terjadi antara unsur P (fosfor) dengan Al dan Fe, sehingga unsur P dapat terserap secara maksimal oleh tanaman.

Pengaruh senyawa humat terhadap ketersediaan fosfat dan serapan fosfat pada tanaman, dijelaskan oleh Zalba dan Peinemann (2002) bahwa senyawa humat dan fulvat dari bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah, mampu memperbaiki ketersediaan fosfat dengan menurunkan jerapan fosfat. Senyawa humat dan fulvat tersebut mempunyai pengaruh baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan, senyawa humat dan fulvat mampu mengubah permeabilitas membran sel tanaman dan mendorong penyerapan ion-ion fosfat, baik secara aktif maupun pasif ke dalam akar, dan pada waktu yang bersamaan fosfat tersebut menjadi terserap pada permukaan sel.

P yang diserap tanaman, digunakan terutama untuk mengisi sel, mengingat unsur P berperan dalam penyusunan makromolekul sel maupun unit-unit

penyusunnya, seperti asam nukleat, asam amino, protein, enzim, dan ATP. Peningkatan P tersedia di dalam tanah ini, diduga bukan hanya dipengaruhi oleh pemberian kompos kacang tanah yang banyak mengandung asam fulvat, tetapi juga dipengaruhi oleh asam-asam organik hasil eksudasi akar tanaman. Oburger *et al.* (2009) menyatakan bahwa akar tanaman melepaskan asam-asam organik ke rhizosfer yang bermanfaat bagi tanaman untuk detoksifikasi logam dan peningkatan ketersediaan unsur hara. Beberapa asam organik hasil eksudasi akar, seperti asam sitrat, malat dan oksalat, memiliki pengaruh yang besar terhadap penyerapan P di daerah rhizosfer. Menurut Watanabe *et al.* (2006), bahwa asam-asam organik membantu akar tanaman dalam mendetoksifikasi Al pada spesies tanaman yang non-akumulator, sehingga membantu penyerapan P yang lebih baik.

### **5.3.3. Pengaruh aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung**

Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter agronomi untuk menilai kondisi perharaan suatu tanaman. Hasil percobaan lapang menunjukkan bahwa pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung. Hasil pengamatan pada Tabel 10 menunjukkan pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh terhadap tinggi tanaman jagung, bila dibandingkan dengan kontrol. Tinggi tanaman jagung yang ditanam pada Ultisol tertinggi diperoleh dengan aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25).

Pengaruh nyata pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap tinggi tanaman jagung, disebabkan kompos sisa tanaman kacang tanah banyak mengandung asam-asam organik sederhana (asam laktat, malat dan asetat), serta asam humat dan fulvat (Sub bab 5.1.1.). Respon tanaman yang nyata

terhadap pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah pada tinggi tanaman jagung, menekankan pada peran asam-asam organik yang dikandungnya (utamanya senyawa humat dan fulvat) dalam pemanjangan sel. Ciri demikian dimiliki oleh hormon auksin. Oleh karena itu, aktivitas senyawa humat dalam jaringan tanaman mirip dengan hormon tersebut (Trevisan *et al.*, 2010). Selain itu, pengaruh senyawa humat terhadap pertumbuhan tanaman secara tidak langsung melalui perbaikan sifat-sifat tanah seperti agregasi, aerasi, permeabilitas, dan kapasitas memegang air, meningkatkan masukan (*uptake*) nutrient melalui konversi hara menjadi bentuk tersedia (Verlinden *et al.*, 2009). Pengaruh senyawa humat terhadap masukan hara (terutama P) ke dalam tanaman seperti telah dijelaskan sebelumnya, adalah melalui ikatan antara gugus-gugus fungsional pada asam organik dengan kation-kation logam, sehingga P menjadi tersedia bagi tanaman (Kubicki dan Trout, (2003).

Asam humat dan fulvat meningkatkan permeabilitas membran sel tanaman, memperbaiki pertumbuhan tanaman secara langsung dengan mempercepat proses respirasi, dengan meningkatkan permeabilitas sel, atau melalui kegiatan hormon pertumbuhan, dan mempercepat pertumbuhan akar atau tunas muda (Canellas *et al.*, 2002; Sharif *et al.*, 2002; Eyheraguibel 2004; Syarief *et al.*, 2008; Verlinden *et al.*, 2009), sehingga tanaman lebih cepat tumbuh serta menambah hasil dan kualitas tanaman.

Tabel 10. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap tinggi tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan

No	Perlakuan *)	Tinggi Tanaman (cm)											
		3 minggu		4 minggu		5 minggu		7 minggu		8 minggu		9 minggu	
1	Kontrol	27,00	a	38,50	a	47,00	a	104,17	a	118,67	a	141,33	a
2	K10	28,67	a	64,50	cd	79,33	bc	137,50	bc	158,33	b	165,33	bcd
3	K15	28,83	a	70,67	d	87,33	c	147,67	c	158,33	b	169,67	cd
4	K20	27,42	a	54,33	bc	70,00	abc	129,67	ab	141,67	ab	168,67	cd
5	K25	28,58	a	58,50	bcd	74,33	bc	140,33	c	160,17	b	173,67	d
6	K30	28,75	a	57,00	bcd	72,00	bc	134,67	ab	149,17	b	161,67	bcd
7	K35	29,50	a	54,67	bc	62,33	ab	110,33	ab	138,00	ab	154,00	abc
8	K40	27,50	a	45,07	ab	61,00	ac	107,67	ab	135,75	ab	150,50	ab

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 5

Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah pada Ultisol, berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk dan bobot kering akar tanaman jagung varietas Gumarang yang dipanen pada umur 90 HST. Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah 25 t/ha (K25), memperlihatkan bobot kering tajuk tanaman dan bobot kering akar yang tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Tabel 11).

Tabel 11. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap bobot kering tajuk tanaman dan bobot kering akar tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan

No	Perlakuan *)	Bobot kering tajuk (g)	Bobot kering akar (g)
1	Kontrol	25,41 a	7,20 a
2	K10	30,50 b	12,64 b
3	K15	35,00 c	19,90 d
4	K20	39,05 d	13,20 b
5	K25	46,23 e	14,00 c
6	K30	36,47 cd	12,35 b
7	K35	39,24 d	11,60 ab
8	K40	28,70 b	11,50 ab

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)  
\*) lihat Tabel 5

Senyawa humat dan fulvat bermanfaat untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman, melalui:

1. Peningkatan energi sel tanaman dan sebagai hasilnya adalah intensifikasi proses pertukaran ion. Sehingga mempercepat pertumbuhan sistem akar dan membuat akar lebih panjang (Canellas *et al.*, 2002; Sharif *et al.*, 2002; Eyheraguibel 2004).
2. Peningkatan penetrasibilitas (kemampuan penyerapan) membran sel tanaman. Memudahkan nutrisi untuk terserap (Verlinden *et al.*, 2009) ke dalam sel serta mempercepat proses pernapasan (respirasi) tanaman.

3. Pembentukan sistem akar (Canellas *et al.*, 2002) yang kuat dan panjang memberikan efek yang baik tanaman. Daya serap dan jelajah akar semakin maksimal untuk mencari unsur hara dan nutrisi dalam tanah. Kemampuan sel tanaman dalam menyerap nutrisi semakin baik (Verlinden *et al.*, 2009), sebagai akibat dari kapasitas tukar kation (KTK) asam humat sangat tinggi (perlu diketahui bahwa penyerapan nutrisi oleh tanaman melalui mekanisme pertukaran ion).

Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap parameter hasil menunjukkan bahwa aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh nyata terhadap panjang tongkol, diameter tongkol, dan berpengaruh sangat nyata terhadap bobot kering tongkol, dan bobot biji per tongkol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian kompos 25 t/ha (K25), memberikan hasil yang terbaik dibanding perlakuan lainnya (Tabel 12).

Tabel 12. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap hasil tanaman jagung varietas Gumarang pada tanah Ultisol Sulawesi Selatan

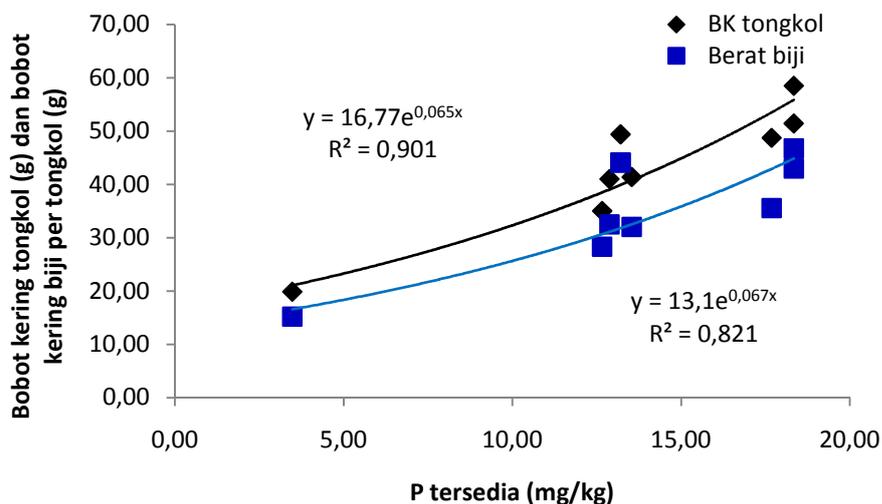
No	Perlakuan *)	Panjang tongkol (cm)	Diameter tongkol (cm)	Bobot kering tongkol (g)	Bobot biji per tongkol (g)
1	Kontrol	6,20 a	3,57 a	16,85 a	11,92 a
2	K10	8,80 b	3,83 ab	42,60 b	32,04 b
3	K15	9,13 cd	4,07 bc	45,53 bc	38,87 c
4	K20	10,20 c	4,23 bc	49,40 bcd	46,28 d
5	K25	12,00 d	4,30 c	63,65 e	51,33 e
6	K30	12,00 d	4,00 bc	55,19 d	47,47 de
7	K35	10,15 cd	4,03 bc	53,47 cd	43,90 d
8	K40	8,90 b	4,33 c	46,40 bc	38,52 c

Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 5

Hasil analisis regresi (Gambar 17) menunjukkan bahwa terjadi hubungan antara P-tersedia tanah dengan bobot kering tongkol dengan persamaan regresi eksponensial,  $Y = 16,77e^{0,065x}$  (Y= bobot kering tongkol, dan x= P-tersedia tanah).

Nilai  $R^2 = 0,901$ . Begitu pula antara P-tersedia tanah dan bobot biji per tongkol, diperoleh persamaan  $Y = 13,1e^{0,067x}$ , dengan nilai  $R^2 = 0,821$  ( $Y$ = bobot biji per tongkol, dan  $x$ = P-tersedia tanah).



Gambar 17. Hubungan antara P tersedia tanah dan bobot kering tongkol (g) dan bobot biji jagung per tongkol (g)

Menurut Trevisan *et al.* (2010), pengaruh langsung asam-asam organik dari kompos terhadap produksi tanaman adalah melalui keterlibatan dalam berbagai proses metabolisme antara lain respirasi, sintesis protein, aktivitas enzim, dan fotosintesis. Di dalam jaringan tanaman, diketahui pula bahwa senyawa humat dan fulvat mengatur absorpsi sejumlah ion termasuk hara. Nitrat dan fosfat merupakan salah satu hara yang meningkat serapannya oleh senyawa tersebut (Nardi *et al.*, 2002).

Menanggapi defisiensi P, Bais *et al.* (2006) dan Chen *et al.* (2008) menyatakan bahwa, tanaman memiliki kemampuan untuk mengembangkan berbagai strategi adaptif untuk meningkatkan akuisisi P dari tanah. Strategi ini meliputi eksudasi dari anion asam organik molekul rendah-berat, yang dapat memobilisasi P anorganik. Anion asam organik ini dapat memobilisasi P anorganik melalui proses berikut: (a) Pertukaran ligan langsung, dimana anion

asam organik langsung mengganti fosfat pada permukaan pertukaran ligan dan (b) membentuk kompleks dengan Fe, Al, atau Ca, memblokir situs penyerapan P pada partikel tanah, dan kemudian melepaskan P dari Fe – P, Al - P, dan Ca – P. Di antara asam organik yang diekskresikan oleh akar tanaman, asam sitrat sering terdeteksi pada jumlah yang relatif tinggi dalam rhizosfer dan umumnya lebih efektif daripada asam organik lainnya dalam memobilisasi P anorganik (Kpombekou dan Tabatabai, 2003; Johnson dan Loeppert, 2006).

#### **5.3.4. Kesimpulan**

- 1) Kompos sisa tanaman kacang tanah mempunyai kemampuan untuk memperbaiki ketersediaan P di dalam tanah dan meningkatkan serapan P pada tanaman jagung yang ditanam pada Ultisol Sulawesi Selatan.
- 2) Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha memberikan hasil yang terbaik terhadap P tersedia, serapan P, pertumbuhan dan hasil tanaman jagung varietas Gumarang pada Ultisol Sulawesi Selatan, dengan peningkatan serapan P tanaman sebesar 416,98%, bila dibandingkan kontrol.

#### 5.4. Pembahasan Umum

Sebagian kawasan di Sulawesi Selatan mengalami musim basah yang berlangsung cukup lama, sehingga proses pencucian hara semakin intensif terjadi. Pemiskinan hara dalam kompleks tanah mengakibatkan tanah bereaksi masam dan sebagian hara berada dalam bentuk kurang tersedia, utamanya P, seperti pada Ultisol Moncongloe, Kabupaten Maros Sulawesi Selatan. Adanya kandungan P-total yang tinggi pada tanah ini (348,50 mg/kg), tidak menjamin ketersediaan P bagi tanaman. Hal ini disebabkan P tersedia sangat rendah (1,18 mg/kg) (Tabel 3). Masalah utama yang dihadapi lainnya yaitu proses mineralisasi bahan organik berjalan dengan cepat dan kandungan bahan organik di dalam tanah sangat rendah yang mengakibatkan tanah menjadi tidak optimal dalam menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman.

Menurut Saavedra and Delgado (2005), Fosfor (P) merupakan makronutrien penting bagi pertumbuhan tanaman, tetapi ketersediaannya umumnya rendah di dalam ekosistem, khususnya di tanah tropis. Hal ini disebabkan, kelarutan P yang rendah dan tingginya penyerapan oleh partikel aktif permukaan. Pada tanah masam, P Anorganik hadir sebagai besi (Fe-P) atau aluminium (Al-P) fosfat (Richardson *et al.*, 2009). Asam organik molekul rendah-berat, dianggap efektif dalam pelepasan fosfor anorganik (P), tetapi efektivitasnya untuk memobilisasi P organik tidak banyak dipahami (Wei *et al.*, 2010).

Arahan pertanian saat ini telah dikembangkan pada aplikasi bahan organik dan bahan pembenah tanah, utamanya sisa tanaman dan kompos. Dewasa ini, salah satu yang menjadi perhatian ialah kandungan asam-asam organik yang ada di dalam sisa tanaman dan kompos, baik asam organik yang bermolekul rendah maupun asam organik yang bermolekul tinggi.

Asam organik molekul rendah-berat telah diketahui memegang peran penting dalam banyak proses di dalam tanah. Asam organik melakukan banyak fungsi di dalam tanah, di antaranya membantu penataan liat dan pembenahan tanah, pelapukan mineral, memegang dan mentransfer unsur mikro dari tanah ke tanaman, detoksifikasi logam Al dan Fe, meningkatkan daya pegang air, termasuk akuisisi nutrisi akar, meningkatkan persentase laju perkecambahan biji, kemotaksis mikroba, dan merangsang perkembangan populasi mikroflora dalam tanah (Jones, *et al.*, 2003; Chen dan Aviad, 2004; Eyheraguibel, *et al.*, 2008).

Pengaruh asam organik dari sisa tanaman dan kompos terhadap peningkatan ketersediaan P pada Ultisol Sulawesi Selatan, telah dilakukan dengan serangkaian tahap percobaan. Analisis karakteristik asam-asam organik yang terdapat di dalam sisa tanaman segar maupun yang sudah dikomposkan menunjukkan, bahwa setiap jenis bahan organik memiliki karakteristik yang berbeda yang ditunjukkan oleh perbedaan kandungan jenis dan konsentrasi asam organiknya. Bahan organik yang diekstrak dari sisa tanaman dalam bentuk segar, didominasi oleh asam organik molekul sederhana yaitu asam sitrat, sedangkan ekstrak kompos memiliki kandungan asam organik yang lebih banyak baik jumlah maupun jenisnya, di antaranya mengandung asam organik bermolekul rendah seperti: asam asetat, asam laktat dan asam malat, serta asam organik yang bermolekul tinggi, yaitu asam humat dan asam fulvat. Asam humat dan fulvat adalah senyawa organik yang mendominasi ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah.

Kemampuan asam-asam organik yang diekstrak dari sisa tanaman segar maupun yang sudah dikomposkan dalam melarutkan P, diuji dengan menggunakan BFA menunjukkan, bahwa ekstrak sisa tanaman yang didominasi asam organik sederhana (asam sitrat), cenderung lebih baik dalam melarutkan P

dari BFA pada 1 sampai 3 hari inkubasi. Hal ini disebabkan, asam sitrat merupakan asam trivalen yang memiliki 3 gugus karboksil sehingga efektif dalam melarutkan P dibanding asam organik sederhana lainnya, seperti: asam tartarat, salisilat, oksalat, dan asam asetat (Johnson dan Loeppert, 2006). Menurut Wang *et al.* (2008), asam sitrat dapat memobilisasi P-tidak larut (P-occluded, Al-P, Fe-P, dan Ca-P) melalui mekanisme penurunan pH, sehingga kelarutan P menjadi meningkat. Johnson dan Loeppert (2006) menyatakan bahwa asam sitrat dapat membentuk kompleks dengan logam  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$ , sehingga P menjadi terlepas dan menjadi lebih mobil.

Penelitian yang dilakukan oleh Wei *et al.* (2010), yang menguji peran dari tiga asam organik (asam maleat, oksalat, dan sitrat) dalam memobilisasi P organik dalam tanah-tanah hutan di Australia, diperoleh hasil bahwa asam sitrat secara nyata meningkatkan kelarutan P organik sebesar 34,7 % dibandingkan dengan air, sedangkan asam maleat dan asam oksalat perbedaannya dalam memobilisasi P organik tidak nyata dibanding dengan air. Menurut Haynes *et al.* (2000) dan Hocking (2001), asam sitrat adalah khelator yang efektif terutama untuk ion-ion logam trivalen seperti  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$ . Namun karena sifat asam sitrat dan asam organik sederhana lainnya yang mudah terdegradasi dalam jam atau hari, menyebabkan kemampuannya dalam melarutkan P semakin turun seiring dengan masa inkubasi. Kemampuan asam sitrat dalam melarutkan P pada awal inkubasi, juga dijelaskan oleh Gerke (1992), bahwa apabila ion sitrat berada dalam bentuk bebas di dalam larutan tanah, maka akan mengalami biodegradasi secara cepat, tetapi bila terjadi ikatan karboksilat oleh permukaan OH-logam melalui pertukaran ligan, maka bisa melindungi atau mencegah biodegradasi asam sitrat tersebut. Asam sitrat yang teradsorpsi, dapat memobilisasi Fe dan Al sebagai kompleks organik.

Hal yang berbeda terjadi pada ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah. Meskipun terjadi penurunan P larut dari BFA setelah 3 hari inkubasi, namun P larut dari BFA cenderung meningkat kembali pada 28 hari setelah inkubasi. Hal ini diduga karena pengaruh asam humat dan fulvat pada ekstrak kompos tersebut. Ekstrak kompos sisa tanaman padi dan jagung memiliki kandungan asam humat yang lebih baik dari ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah, tetapi ekstrak kompos sisa tanaman kacang tanah memiliki kandungan asam fulvat yang lebih tinggi dari ekstrak kompos sisa tanaman padi dan jagung. Pada ekstrak kompos sisa tanaman jagung, kandungan asam humat dan fulvat cukup tinggi dan seimbang, sehingga kemampuan melarutkan P dari BFA juga lebih baik. Menurut Schnitzer (1997), asam humat dan fulvat mempunyai kemampuan dalam melepaskan P-terjerap. Stevenson (1982) menyatakan, bahwa mobilitas asam humat lebih rendah daripada asam fulvat, sehingga kemampuan asam fulvat dalam membentuk kompleks (khelet) dengan kation-kation logam (misalnya Ca dari BFA) lebih besar dari pada asam humat. Ini pula yang menjadi alasan, mengapa ekstrak kompos kacang tanah cenderung lebih baik dalam melarutkan P dari BFA.

Menurut Franchini *et al.* (2003) dan Moraes *et al.* (2007), kemampuan setiap asam organik dalam melepaskan P berbeda, tergantung pada konsentrasi asam organik, jumlah gugus karboksilat, dan kapasitas sorpsi tanah. Ekstrak tanaman yang mengandung asam malat, asam laktat, dan asam sitrat yang tinggi akan mempengaruhi ketersediaan hara tanah. Namun dijelaskan lebih lanjut bahwa senyawa-senyawa organik tersebut dapat saja meningkatkan atau menurunkan ketersediaan hara, tergantung pada karakteristik masing-masing senyawa organik dan interaksinya. Johnson dan Loeppert (2006) menyatakan, bahwa efektivitas ligan organik untuk pelepasan P pada tanah masam yang

berpH 4,0, di antaranya asam sitrat (19%) dari total awal adsorpsi P, selanjutnya malat (14%), tartarat (5%), oksalat = malonat = suksinat (0,3 – 1,2%).

Menurut Tan (1987), asam humat dan fulvat lebih berperan penting daripada asam organik yang belum terhumifikasi. Kapasitas humat dalam mengikat ion logam setara dengan jumlah ion  $H^+$  yang dipindahkan dan berhubungan dengan besarnya valensi dari ion logamnya sendiri (Stevenson dan Flitch, 1997).

Kemampuan asam-asam organik dari kompos dalam meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol dilakukan dengan percobaan inkubasi selama 63 hari menunjukkan, bahwa aplikasi ekstrak asam organik dari kompos maupun aplikasi kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, dan sisa tanaman kacang tanah secara langsung ke dalam tanah, menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan P tersedia pada Ultisol. Namun, aplikasi kompos secara langsung ke dalam tanah lebih baik dari pada dalam bentuk ekstrak asam organik terhadap peningkatan ketersediaan P pada Ultisol.

Adanya senyawa humat dan fulvat yang terdapat di dalam kompos, memberikan pengaruh yang positif terhadap ketersediaan P pada Ultisol. Hal ini disebabkan senyawa humat dan fulvat, dengan gugus-gugus karboksilnya mampu mengikat kation-kation (logam), sehingga akan menyebabkan fraksi-fraksi logam berat mengalami pengkhelatan, yang menyebabkan kelarutan logam akan menurun, sehingga ketersediaan P akan meningkat. Menurut Violente *et al.* (2005), bahwa pengikatan logam ataupun ion yang ada di larutan (tanah) oleh permukaan mineral dipengaruhi oleh keberadaan senyawa humat yang ada di larutan (tanah). Keberadaan senyawa humat dapat meningkatkan jerapan ion-ion logam, karena permukaan mineral telah diselimuti oleh senyawa humat (membentuk kompleks). Tan (1982) menyatakan bahwa senyawa humat dan

fulvat mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur Fe dan Al, sehingga akan mengikat unsur-unsur tersebut dari senyawa fosfat dan menjadikan unsur fosfat terlepas dalam larutan (tanah). Menurut Winarso *et al.* (2009), bahwa penurunan konsentrasi  $Al_{dd}$  tanah Ultisol oleh senyawa humik, mempengaruhi konsentrasi P larut tanah. Gerke (1992) menyatakan bahwa, mekanisme peningkatan P larut di dalam tanah masam oleh senyawa humat dapat dijelaskan melalui: (a) pembentukan kompleks organik Al, sehingga P menjadi larut; (b) Reaksi pertukaran ligan pada tapak yang sama dengan P; dan (c) Munculnya muatan negatif akibat perubahan permukaan penjerap, yang diikuti gaya tolak elektrostatik ion-ion fosfat.

Proses pengkhelatan oleh asam-asam organik dari kompos yang diberikan ke dalam tanah, akan menyebabkan terjadinya reaksi pertukaran ligan antara anion-anion organik yang berupa asam-asam organik seperti senyawa humat dan fulvat terhadap  $-OH$  bebas. Adanya anion-anion organik dari senyawa organik di dalam tanah, menurut Ryan *et al.* (2001), adalah bahwa anion-anion organik tersebut mampu mengkompetisi gugus fosfat untuk berikatan dengan tapak-tapak ikatan dalam tanah sehingga P tetap bebas atau tersedia. Selain itu, anion-anion organik tersebut membentuk kompleks lebih kuat dengan  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  dibandingkan dengan fosfat itu sendiri. Pertukaran ligan dapat juga terjadi dengan P yang diikat oleh Fe dan Al oksihidroksida, diganti dengan anion-anion organik.

Reaksi-reaksi yang berhubungan dengan ligan organik (termasuk ligan pembubaran, pertukaran ligan, khelasi dan kompleks kation terikat P), cenderung lebih penting dalam mekanisme pelepasan P organik oleh anion organik (Wei *et al.*, 2010). Reaksi P organik dengan ion logam sering dipengaruhi oleh adanya ligan lain (anion organik), yang dapat bersaing untuk situs yang sama dari reaksi (Celi dan Barberis, 2005). Kemampuan anion asam organik untuk memobilisasi P

adalah terkait dengan jumlah dan susunan karboksil dan gugus hidroksilnya (Richardson *et al.*, 2009).

Menurut Zalba dan Peinemann (2002), senyawa humat dan fulvat dari bahan organik yang ditambahkan pada tanah, mampu memperbaiki ketersediaan fosfat dengan menurunkan jerapan fosfat. Weil dan Magdoff (2004) menambahkan, bahwa aktifitas asam-asam organik (senyawa humat dan fulvat, serta asam-asam organik hasil dekomposisi lainnya) terhadap penurunan aktifitas Al dan Fe, disebabkan oleh hasil pertukaran ligan dari oksida Al dengan asam-asam organik membentuk ikatan organo-logam, sehingga terjadi pelepasan P terikat menjadi P tersedia.

Hasil percobaan terbatas di lapangan menunjukkan bahwa pemberian kompos kacang tanah, berpengaruh nyata terhadap P tersedia Ultisol. Terjadi peningkatan secara nyata P tersedia tanah dengan pemberian kompos yang semakin banyak sampai dengan 25 t/ha (K25), setelah itu P tersedia semakin menurun meskipun dosis kompos ditingkatkan sampai 40 t/ha. Adanya P tersedia yang meningkat seiring dengan penambahan dosis kompos sisa tanaman kacang tanah yang digunakan, disebabkan kompos sisa tanaman kacang tanah mengandung senyawa fulvat yang lebih tinggi daripada senyawa humat. Asam fulvat membantu melarutkan mineral yang ada di dalam tanah sehingga membantu pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Menurut Davis *et al.* (2001), peningkatan P tersedia dalam tanah oleh aktifitas asam-asam organik (senyawa humat dan fulvat, serta asam-asam organik hasil dekomposisi) terhadap reduksi Al dan Fe aktif, terjadi karena hasil pertukaran ligan dari oksida besi dan Al dengan asam-asam organik. Ikatan kompleks yang terjadi antara senyawa humat dan fulvat dengan Fe dan Al merupakan antisipasi terhadap ikatan yang terjadi antara unsur P (fosfor) dengan Al dan Fe, sehingga unsur P dapat terserap

secara maksimal oleh tanaman. Menurut Barosso dan Nahas (2007) bahwa ketersediaan P di dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman di pengaruhi oleh: (1) Kuantitas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  dalam larutan tanah; (2) Tingkat kelarutan Al dan Fe pada tanah masam; (3) Jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik; dan (4) aktifitas mikroorganisme di dalam tanah.

Adanya P tersedia yang lebih baik, juga berpengaruh terhadap serapan P dan pertumbuhan serta hasil tanaman jagung hibrida varietas Gumarang yang ditanam pada tanah Ultisol. Hasil percobaan menunjukkan bahwa aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah berpengaruh nyata terhadap parameter pertumbuhan maupun hasil tanaman jagung varietas Gumarang yang ditanam pada Ultisol Moncongloe Sulawesi Selatan, di antaranya: tinggi tanaman, panjang tongkol, diameter tongkol, bobot kering tongkol, dan bobot biji per tongkol.

Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) merupakan dosis yang optimal yang memberikan serapan P dan hasil yang terbaik pada tanaman jagung varietas Gumarang. Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha, mampu meningkatkan serapan P tanaman sebesar 416,98% bila dibandingkan dengan kontrol.

Dengan peningkatan dosis kompos sisa tanaman kacang tanah yang digunakan, akan meningkatkan jumlah senyawa humat dan fulvat yang disumbangkan ke dalam tanah. Menurut Syarief *et al.* (2008), semakin besar takaran senyawa humat dan humat, maka sumbangan gugus fungsional dari karboksil (-COOH) dan fenolat (-OH) semakin besar, yang merupakan sumber muatan negatif, sehingga muatan negatif semakin meningkat, yang menyebabkan KTK tanah juga menjadi meningkat, sehingga ketersediaan hara juga semakin baik. Verlinden *et al.* (2009) menyatakan bahwa senyawa humat

mampu meningkatkan masukan (*uptake*) nutrient melalui konversi hara menjadi bentuk tersedia.

Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah ke dalam tanah Ultisol, meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung varietas Gumarang, akibat dari meningkatnya nilai serapan. Peningkatan nilai serapan ini, mungkin juga disebabkan oleh meningkatnya aktifitas mikrobia di daerah rhizosfer, yang menghasilkan metabolit-metabolit dan berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, seperti zat pengatur tumbuh (auxin) (Trevisan *et al.*, 2010) dan enzim fosfatase yang berperan dalam ekstraksi P (Verlinden *et al.*, 2009).

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

- 1) Karakteristik asam organik dari setiap ekstrak sisa tanaman dan kompos berbeda baik dalam jumlah maupun jenisnya. Ekstrak dari sisa tanaman didominasi oleh asam organik molekul rendah yaitu asam sitrat (pada ekstrak sisa tanaman padi dan sisa tanaman jagung), asam sitrat dan asam laktat (pada ekstrak sisa tanaman kacang tanah). Ekstrak kompos, mengandung asam organik yang lebih banyak jumlah dan jenisnya, di antaranya asam laktat, asam malat, asam asetat (asam organik bermolekul rendah), dan senyawa humat dan fulvat (asam organik bermolekul tinggi. Kemampuan ekstrak asam organik dari kompos lebih baik daripada ekstrak sisa tanaman dalam melepaskan P larut dari BFA.
- 2) Aplikasi ekstrak asam organik dari kompos dan kompos, mempunyai kemampuan yang berbeda di dalam meningkatkan P tersedia pada Ultisol Moncongloe Sulawesi Selatan. Aplikasi kompos sisa tanaman kacang tanah mampu meningkatkan P tanah tersedia yang lebih baik dibandingkan dengan kompos sisa tanaman padi dan jagung (terjadi peningkatan P tersedia tanah pada hari ke-28 inkubasi sebesar 2681,83% bila dibandingkan dengan kontrol)
- 3) Kompos sisa tanaman kacang tanah mempunyai kemampuan dalam meningkatkan serapan P tanaman jagung yang ditanam pada Ultisol Sulawesi Selatan. Pemberian kompos sisa tanaman kacang tanah sebesar 25 t/ha (K25) meningkatkan serapan P tanaman jagung sebesar 416,98, % bila dibandingkan kontrol.

## 6.2. Saran

Setiap bahan organik mempunyai potensi yang berbeda sebagai bahan pembenah tanah. Dalam meningkatkan produktifitas tanah masam seperti Ultisol terutama dalam peningkatan P tersedia, maka pemilihan bahan organik dengan kandungan asam organik yang tinggi perlu dipertimbangkan. Kompos kacang tanah merupakan pilihan solusi bahan pembenah tanah yang tepat untuk perbaikan produktifitas Ultisol khususnya Moncongloe Sulawesi Selatan. Namun, dosis optimal penggunaan kompos sisa tanaman kacang tanah pada Ultisol Moncongloe masih mencapai 25 t/ha. Dosis kompos tersebut, sebenarnya merupakan dosis kompos yang cukup besar untuk diterapkan pada lahan pertanian, selain memperhatikan ketersediaan bahan baku untuk kompos. Mengingat tanah-tanah masam seperti Ultisol Moncongloe Sulawesi Selatan merupakan tanah dengan kadar bahan organik yang sangat rendah, tetapi cukup potensial untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian, maka pemberian bahan organik atau kompos perlu dilakukan secara terus menerus pada setiap pertanaman yang dilakukan. Perlu dikaji lebih jauh tentang dosis kompos sisa tanaman kacang tanah yang optimal, yang bisa diterapkan oleh petani.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aida, S. N., D. Widiarto, dan R. Sutanto. 2004. Pengaruh Pemberian Asam-Asam Organik Terhadap Kelarutan Fe (Besi) di Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Agrosains* 17 (1): 99-109.
- Alimin, N., S.J. Santoso, dan S. Noegrohati. 2005. Fraksinasi Asam Humat dan Pengaruhnya pada Kelarutan Ion Logam Seng (II) dan Kadmium (II). *Jurnal Ilmu Dasar* 6 (1): 1-6.
- Anda, M., J. Shamsuddin, C.I. Fauziah, and S.R. Syed Omar. 2008. Mineralogy and Factors Controlling Change Development of Three Oxisols Developed from Different Prent Materials. *Geoderma* 143:153-167.
- Bais, H.P., T.L. Weir, L. G. Perry, S. Gilroy, and J. M. Vivanco. 2006. The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other Organisms. *Annual Review in Plant Biology* 57: 233–266.
- Balai Penelitian Tanah. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Lembaga Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen pertanian, Jakarta.
- Banach-Szott, M. and B. Debska. 2008. Content of Phenolic Compounds In Fulvic and Humic Acid Fractions of Forest Soils. *Polish Journal of Environmental Studies* 17 (4): 463-472.
- Barroso, C. B. and E. Nahas. 2007. Solubilization of Hardly Soluble Iron and Aluminium Phosphates by the Fungus *Aspergillus niger* in the Soil. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. 193-198.
- Bashan, Y., A. A. Kamnev, and L. E. de-Bashan. 2013. Tricalcium Phosphate is Inappropriate as a Universal Selection Factor for Isolating and Testing Phosphate-Solubilizing Bacteria that Enhance Plant Growth: a Proposal for an Alternative Procedure. *Biology and Fertility of Soils*. 49:465–479.
- Bates, T. R. and J.P. Lynch. 2001. Root Hairs Confer a Competitive Advantage Under Low Phosphorus Availability. *Plant and Soil*. 263: 243-250.
- Bayer, C., L. P. Martin-Neto, J. Melniczuk, C. N. Pilon, and L. Sangoi. 2001. Change in Soil Organic Matter Fractions Under Subtropical No-Till Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal*. 65:1473-1478.
- Bernal, M. P., J.A. Alburquerque and R. Moral. 2009. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment. A review. *Bioresource Technology*. 100: 5444–5453.
- Canellas, L., F. Olivares, A. Olofrovha-Facanha, and A. Facanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H<sup>+</sup> ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiology* 130: 1951–1957.
- Cassiolato, M.E., M. Miyazawa, A.R. Meda, and M.A. Pavan, 2002, A Laboratory Method to Estimate the Efficiency of Plant Extract to Neutralize Soil Acidity, *Brazilian Archives of Biology and Technology* 45 (2): 183-187.
- Cavigelli, M. A. and S. J. Thien. 2003. Phosphorus Bioavailability Following Incorporation of Green Manure Crops. *Soil Science Society of America Journal* 67: 1186-1194.

- Celi, L., and E. Barberis. 2005. Abiotic Stabilization of Organic Phosphorus. In: Turner, B.L., E. Frossard, and D. S. Baldwin (eds) *Organic Phosphorus in the Environment*. CABI, Oxfordshire, pp 119–126.
- Cerdan, M., S. Alcaniz, M. Juarez, J.D. Jorda, and D. Bermudez. 2007. Kinetic Behavior of Fe(o,o-EDDHA)-Humic Substance Mixtures in Several Soil Components and in Calcareous Soils. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 55:9159-9169.
- Chen, C.R., L. M. Condron, and Z. H. Xu. 2008. Impacts of Grassland Afforestation with Coniferous Trees on Soil Phosphorus Dynamics and Associated Microbial Processes: a review. *Forest Ecology and Management* 255: 396–409.
- Chen, Y., M. D. Nobili, and T. Aviad. 2004. Stimulatory Effects of Humic Substances on Plant Growth. *In*: Magdoff, F. and R. R. Weil. (ed.) *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Florida (USA): CRC Press.
- Dahlan dan Darmansyah. 2011. Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah Sebagai Pupuk Organik pada Kacang Tanah Utilization of Peanut Shell as Organic Fertilizer On Peanut Crop. *Jurnal Agrisistem* 7(2): 69-78.
- Dakora, F. D., and D.A. Phillips. 2002. Root Exudates as Mediators of Mineral Acquisition in Low-Nutrient Environments. *Plant and Soil* 245: 35–47.
- Davis, G., E.A. Ghabbour, and Steelink. 2001. Humic acids: Marvelous Product of Soil Chemistry. *Journal Chemical Education* 78: 1609-1614.
- De Farias, E.S.T., J.S. Pinto, M.A.G. da Silva, A.S. Muniz, M.E. Marcetti, A. Nola, and N. Pelisson. 2011. Aluminum Toxicity in Corn Plants Cultivated With Low and High Ionic Strength Nutrient Solutions. *Journal of Plant Nutrition* 34:465–475.
- Dinkelaker, B., V. Romheld, and H. Marschner. 1989. Citric Acid Excretion and Precipitation of Calcium Citrate in the Rhizosphere Of White Lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Cell Environment* 12: 285–292.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2010. Rice nutrient disorders and nutrient management. International Rice Research Institute (IRRI). Los Banos. 192p.
- Dye, C. 1995. Effect of Citrate and Tartrate on Phosphate Adsorption by Amorphous Ferric Hydroxide. *Fertilizer Research*. 40: 129-134.
- Essington, M. E. 2004. *Soil and Water Chemistry; An Integrative Approach*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Eyheraguibel, B. 2004. *Caracterisation Des Substances Humiques Biomimetiques – Effets Sur Les v ´ eg ´ Etaux [Characterization Of Humic Substances Derived from Organic Waste Enhancements-Effects on Plants]*. Doctoral Dissertatoin, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France.
- Eyheraguibel, B., J. Silvestre, and P. Morard. 2008. Effect of Humic Substances Derived from Organic Waste Enhancement on the Growth and Mineral Nutrition of Maize. *Bioresource Technology* 99: 4206-4212.
- Fahmi, A. 2011. Dinamika Jerapan Permukaan Kompleks Fe Oksida-Senyawa Humat. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 5 (2):75-82.

- Franchini, J.C., C.B. Hoffmann-Campo, E. Torres, M. Miyazawa, and M.A. Pavan. 2003. Organic Composition of Green Manure During Growth and its Effect on Cation Mobilization in an Acid Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 2045-2058.
- Frankenberger, W. T. and H.M. Abdelmagid. 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soils. *Plant and Soil* 87, 257-271.
- Frossard, E., M. Brossard, M. J. Hedley, and A. Matherell. 1995. Reactions Controlling the Cycling of P in Soils. *In: Phosphorus in the Global Environment*. (Eds) H. Tiessen. Scope Published. John Wiley and Sons Ltd.
- Gerke, J. 1992. Phosphate, Aluminium and Iron in the Soil Solution of Three Different Soils in Relation to Varying Concentrations of Citric Acid. *Pflanzenernähr, Bodenk.* 155: 339.
- Giaveno, C.D. and J.B.M. Filho. 2000. Rapid Screening for Aluminum Tolerance in Maize (*Zea Mays L.*). *Genetics and Molecular Biology* 23: 847–850.
- Grierson, P. F., P. Smithson, G. Nziguheba, S. Radersma, and N. B. Comeford. 2004. Phosphorus Dynamics and Mobilization by Plants. *In: Van Noordwijk, G. Cardisch, and C. K. Ong (Eds.) Below-Ground Interaction in Tropical Agroecosystems. Concepts and Models with Multiple Plant Component*. CABI publishing. p. 127-142.
- Goenaga, R. and J.R. Smith. 2002. Dry Matter Production and Leaf Elemental Concentration of Common Bean Grown on an Acid Ultisol. *Journal of Plant Nutrition* 25 (1): 103-112.
- Goenaga, R. 2011. Dry Matter Production and Leaf Elemental Concentrations of Rambutan Grown on an Acid Ultisol. *Journal Of Plant Nutrition*. 34:753–761.
- Hairiah, K. 2000. Changes of Decomposition rate of Different Litter Quality Under Different Soil Biological Condition. *Workshop Proceeding: Pengelolaan Keanekaragaman Hayati Dalam Rangka Mewujudkan Sistem Pertanian Berkelanjutan dan kemanfaatan Lingkungan*. UNILA/Puslitbangtan, Bogor, 19-20 Agustus 1999.
- Handayanto, E. 1994. Nitrogen Mineralization from Legume Tree Pruning of Different Quality. PhD Thesis. Univ. Of London. Pp 177.
- Hayes, J.E., A.E. Richardson, and R.J. Simpson. 2000. Components of Organic Phosphorus in Soil Extracts that are Hydrolysed by Phytase and Acid Phosphatase. *Biology and Fertility of Soils* 32: 279–286.
- Haynes, R. J. and M. S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al Toxicity and P Deficiency in Acid Soil by Additions of Organic Residues; A Critical Review of the Phenomenon and the Mechanisms Involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59: 47-63.
- He, Z., T. Ohno, B. J. Cade-Menun, M. S. Erich and C. W. Honeycutt. 2006. Spectral and Chemical Characterization of Phosphates Associated with Humic Substances. *Soil Science Society of America Journal*. 70:1741–1751.

- Heim, A., I. Burnner, E. Frossard, and J. Luster. 2003. Aluminium Effects on *Picea abies* at Low Solution Concentrations. *Soil Science Society of America Journal* 67:895-898.
- Herviyanti, H., G. Gusnidar dan R. Alfina. 2007. Efek Sisa Asam Humat Dari Kompos Alang-Alang dan Pengelolaan Air dalam Mengurangi Kelarutan Besi (Fe) pada Tanah Sawah Bukaak Baru. *Jurnal Solum* 6 (2).
- Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of Soil Inorganic P in the Rhizosphere as Affected by Root-induced Chemical Changes: A review. *Plant and Soil* 237:173–195.
- Hiradate, S., T. Yonezawa, and H. Takesako. 2007. Fine Fractionation and Purification of the Fulvic Acid Fraction Using Adsorption and Precipitation Procedures. *Soil Science. and Plant Nutrition* 53: 413–419.
- Hocking, P. J. 2001. Organics Acids Exuded from Roots in Phosphorus Uptake and Aluminium Tolerance of Plant in Acid Soils. *Advances in Agronomy*. 74: 63-97.
- Hoekenga, O., L. G. Maron, M. A. Pineros, G. M. Cancado, J. Shaff, Y. Kobayashi, P. R. Ryan, B. Dong, E. Delhaize, T. Sasaki, H. Matsumoto, H. Koyama, and L. V. Kochian. 2006. AtAlmt1 (at1g08430) Which Encodes a Malate Transporter, is Identified as One of Several Genes Critical for Aluminum Tolerance in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy Science* 103: 9738–9743.
- Hu, H., L. Xueyuan, and H. Jzheng. 2002. Effect of Organic Acids on Desorption of Phosphate from the Surface of Aluminium Hydroxide and Completes. *World Congress Soil Science, 17<sup>th</sup>. Thailand*. Pp. 170.
- Hu, H., C. Tang, and Z. Rengel. 2005. Role of Phenolics and Organic in Phosphorus Mobilization in Calcareous and Acidic Soil. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1427-1439.
- Hue, N.V., G.R. Craddock, and F. Adams. 1986. Effect of Organic Acids on Aluminium Toxicity in Subsoils. *Soil Science Society of America Journal* 50:28-34.
- Jackson, M. G. 2007. The Treathment of Straw. *Animal Fees Science Technology* 2:105-130.
- Johnson, S.E., and R. H. Loeppert. 2006. Role of organic Acids in Phosphate Mobilization from Iron Oxide. *Soil Science Society of America Journal* 70:222–234.
- Johnson, J. M. F., N. W. Barbour, and S. L. Weyers. 2007. Chemical Composition of Crop Biomass Impacts its Decomposition. *Soil Science Society of America Journal* 71:155-162.
- Jones, D. L., P. G. Dennis, A. G. Owen, and P. A. W. Van Hees. 2003. Organic Acid Behavior in Soils – Misconceptions and Knowledge Gaps. *Plant and Soil* 248: 31–41.
- Jones. D. L., T. Eldhuset, H. A. de Wit, and B. Swensen. 2001. Aluminium Effects On Organic Acid Mineralization in a Norway Spruce Forest Soil. *Soil biology and Biochemistry* 33 (9): 1259–1267.

- Keer, T. J., R. D. Keer, and R. Benner. 1983. Isolation of a Bacterium Capable of Degrading Peanut Hull Lignin. *Applied and Environmental Microbiology* 46(5): 1201-1206.
- Kononova, S. V. and M. A. Nesmeyanova. 2002. Phosphonates and Their Degradation by Microorganism. *Biochemistry* 67(2): 184-195.
- Kpombekou-A, K., M. A. Tabatabai. 2003. Effect of Low-Molecular Weight Organic Acids on Phosphorus Release and Phytoavailability of Phosphorus in Phosphate Rocks Added to Soils. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 100:275–284.
- Kubicki, J. D. and C. C. Trout. 2003. *Molecular Modelling of Fulvic and Humic Acids: Charging Effects and Interactions with Al<sup>3+</sup>, Benzene, and Pyridine*. CRC Press LLC.
- Kwong, K. F. N. K and P. M. Huang. 1979. Surface Activity of Aluminium Hydroxydae Precipitated in the Presence of Lows Molecular Weight Organic Acids. *Soil Science Society of America Journal* 43: 1107-1113.
- Le Van, H. and T. Masuda. 2004. Physiological and Biochemical Studies on Aluminium Toleran Pineapple. *Australian Journal of Soil Research* 42: 699-707.
- Li, X., M. Tani, D. Aiuchi, M. Koike, and K. Kuramochi. 2009. Chemical Characteristics of Humic and Fulvic Acids in Cattle Manure Practically Processed and Applied in a Field. *Jpn. Journal Soil Science Plant Nutrition* 80: 335–346.
- Lindsay, W. I. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. A Wiley interscience Publication. Toronto.
- MacCarthy, P. 2001. The Principles of Humic Substances. *Soil Science*. 166: 738–751.
- Meda, A. R., M. E. Cassiolato, M. A. Pavan, and M. Miyazawa. 2001. Alleviating Soil Acidity Through Plant Organic Compounds. *Brazilian Archives Of Biology and Technology* 44 (2): 185–189.
- Mike, L.. 2002. *Green Chemistry, an Introductory Text*. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Mikuta, C., G. Neumann, and F. Lang. 2006. Phosphate Desorption from Geothite in the Presence of Galacturonate, Polygalacturonate, and Maize Mucigel (*Zea mays* L.). *Soil Science Society of America Journal* 70:1731-1740.
- Minardi, S., E. Handayanto, Syekhfani, dan Suntoro. 2007. Penggunaan Macam Bahan Organik dengan kandungan Total Asam Humat dan Fulvat Berbeda dan Pupuk P Terhadap Ketersediaan dan Serapan P pada tanaman jagung. *Agrivita* 29 (2): 131-142.
- Miranda, L. N., J. C. C. de Miranda, T. A. Rein, and A. C. Gomes. 2005. Lime Under No Tillage and Conventional Planting Systems for Soybean and Corn in Red Latosol (Oxisol). *Pesquisa Agropecu ´aria Brasileira* 40: 563–572.
- Moraes, M.F., H. Cantarella, J. A. Quaggio, and A. R. Coscione. 2007. Mobilidade de Ions em Solo Acido Com Aplicaço de Calcrio, Acido

- Orgânico e Material Vegetal em Superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 31: 673-684.
- Mulyani, A., Hikmatullah, dan H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan Potensi Tanah Masam Lahan Kering di Indonesia. *dalam* Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal: 1-32.
- Nardi, S, D. Pizzeghello, A. Muscolo, and A. Vianello. 2002. Physiological Effects of Humic Substances on Higher Plant. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1527-1536.
- Navackova, K. 2011. Stability of Complexes of Humic Acids. A Thesis. Faculty of Chemistry. Brno University of Technology. Brno.
- Ness, R. L. L. And P. L. G. Vlek. 2000. Mecanism of Calcium and Phosphate Release from Hydroxy-Apatite by Mycorrhiza Hyphae. *Soil Science Society of America Journal* 64: 949-955.
- Nyamai, D.O. 1992. Investigations on decomposition of foliage of woody species using a perfusion method. *Plant and Soil* 139, 239-245.
- Oburger, E., D. L. Jones, and W. W. Wenzel. 2011. Phosphorus Saturation and pH Differentially Regulate the Efficiency of Organic Acid Anion-Mediated P Solubilization Mechanisms in Soil. *Plant and Soil* 341: 363–382.
- Ono, K., S. Hiradate, S. Morita, K. Ohse, and K. Hirai. 2011. Humification Processes of Needle Litters on Forest Floors in Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Plantations in Japan. *Plant Soil*. 338:171–181f
- Osono, T., H. Takeda, J. Asuma. 2008. Carbon Isotope Dynamics During Leaf Litter Decomposition with Reference to Lignin Fraction. *Ecological Research* 23:51–55.
- Palomo, L., N. Claassen, and D.L. Jones. 2006. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. *Soil Biology and Biochemistry* 38:683–692.
- Pavinato, P. S., A. Merlin, and C. A. Rosolem, 2008, Compostos Orgânicos De Extratos De Plantas E Seus Efeitos Na Disponibilidade De Fósforo No Solo, *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43 (10).
- Peiris, R. H., H. Budman, C. Moresoli and R. L. Legge. 2011. Identification of Humic Acid-Like And Fulvic Acid-Like Natural Organic Matter In River Water Using Fluorescence Spectroscopy. *Water Science and Technology*. 63: 2428-2433.
- Peniwiatri, L., D. Shidiq, dan A. Syukur. 2001. Peranan Asam-Asam Organik Berbagai Molekul Rendah Terhadap Ketersediaan Fosfat Andisol. *Jurnal Ilmu Tanah dan Air*. UPN "Veteran" Yogyakarta. 2 (1): 15-21.
- Pierzynski, G. M. 2000. Method of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residual, and Water. *Southern Cooperative Series Bulletin*. North Carolina State University. 396: 50-59.
- Pietraszewska, T. 2001. Effect of Aluminium on Plant Growth and Metabolism *Acta Biochim Polonica* 48 (3): 673-686.

- Pintro, J. C., and G. J. Taylor. 2004. Effect of Aluminium Toxicity on Wheat Plants Cultivated Under Conditions of Varying Ionic Strength. *Journal of Plant Nutrition* 27 (5): 907-919.
- Plaza, C., N. Senesi, A. Polo, and G. Brunetti. 2005. Acid-Base Properties of Humic and Fulvic Acids Formed During Composting. *Environmental Science Technology* 39: 7141-7146.
- Pordesimo, L.O., B. R. Hames, S. Sokhansanj, and W. C. Edens. 2005. Variation in Corn Stover Composition and Energy Content with Crop Maturity. *Biomass and Bioenergy* 28: 366-374.
- Puslitbangtanak. 2000. Atlas Sumber Daya Tanah Eksplorasi Indonesia. Skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Reddy, S.S, B. Shivaraj, and V. C. Reddy. 2004. Nutrient Uptake and Agronomic Efficiency of Groundnut as Influenced by Different Organic Manures. *Karnataka Journal Agriculture Science*. 17(4):670-675.
- Richardson A.E., P. J. Hocking, R. J. Simpson, and T.S. George. 2009. Plant Mechanisms To Optimize Access to Soil Phosphorus. *Crop and Pasture Science* 60:124-143.
- Richardson, A. 2001. Prospect for Using Soil Microorganisms to Improve the Acquisition of Phosphorous by Plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28:897-906.
- Ruskandi dan O. Setiawan. 2003. Kadar hara Makro berbagai jenis limbah tanaman Sela pada Pola Tanaman Kelapa. *Prosiding Temu Teknis Fungsional Non Peneliti*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pp.111-115.
- Ryan, P. R., E. Delhaize, and D. L. Jones. 2001. Function and Mechanism of Organic Anion Exudation from Plant Roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 527-560.
- Saavedra C, and A. Delgado. 2005. Phosphorus Fractions and Release Patterns in Typical Mediterranean Soils. *Soil Science Society of America Journal* 69:607-615.
- Schnitzer, M. 1997. Peningkatan Bahan Humat oleh Koloid Mineral Tanah. Dalam: *Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik dan Mikrobia*. (Eds. Huang, P. M. and M. Schnitzer) (Transl. Didiék Hajar Goenadi). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. P: 333-376.
- Schnitzer, M. 2001. The in Situ Analysis of Organic Matter in Soils. *Canadian Journal of Soil Science* 81: 249-254.
- Setiawan, B. 2007. Pengaruh Asam Humus terhadap Interaksi Radionuklida\_Bentonit: Pengaruh pH Larutan Pelindi. *Jurnal Pengelolaan Limbah*. 10: 21-27.
- Setiawati, T. C. dan E. Handayanto. 2010. Tracing Phosphorus Availability a Typic Kandiodox Treated with Phosphate-Solubilising Bacteria. *Proceeding World Soil Science Congress, Brisbane*.
- Setiawati, T. C., E. Handayanto, Syekhfani, and M. L. Rayes. 2009. Availability and Uptake of Phosphorus from Phosphate-Solubilising Bacteria Activity in

- Soybean and Corn Biomass Using Radioisotope Tracer Technique. *Agrivita* 31 (1): 95-104.
- Shamshuddin, J. and M. Anda. 2008. Charge Properties of Soil in Malaysia Dominated by kaolinite, Gibbsite, Goethite and Hematite. *Geological Society of Malaysia Bulletin*. 54:27-31.
- Sharif, M., R. Khattak, and M. Sarir. 2002. Effect of Different Levels of Lignitic Coal Derived Humic Acid on Growth of Maize Plants. *Communications In Soil Science and Plant Analysis* 33: 3567–3580.
- Singh, C. P. and A. Amberger. 1998. Organic Acids And Phosphorus Solubilization In Straw Composted With Rock Phosphate. *Bioresources Technology* 63: 13-16.
- Sposito, G., U. Kafkaki, B. Bar-Yosef, and R. Rosenberg. 1988. Phosphorus Adsorption by Kaolinite and Montmorillonite: Organic Anion Competition. *Soil Science Society of America Journal* 52:1585–1589.
- Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soils*. 2<sup>nd</sup> Edition. Oxford university Press. Inc., New York, USA.
- Srivastava, S., M.T. Kausalya, G. Archana, O. P. Rupela, and G. Naresh- Kumar. 2007. Efficacy of Organic Acid Secreting Bacteria in Solubilization of Rock Phosphate in Acidic Alfisols. *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. 117-124.
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Stevenson, F. J. and Fitch. 1997. Kimia Pengkomplekan Ion Logam dengan Organik Larutan Tanah. Dalam *Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik dan Mikrobia*. Eds. Huang, P. M. and M. Schnitzer (transl. Didiek Hadjar Goenadi). Gadjah Mada university Press, Yogyakarta.
- Ström, L., A. G. Owen, D. L. Godbold, and D. L. Jones. 2001 Organic Acid Behaviour in a Calcareous Soil: Sorption Reactions and Biodegradation Rates. *Soil Biology and Biochemistry* 2125–2133.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A. B. Siswanto. 2000. Tanah-Tanah Pertanian di Indonesia. *Sumber daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. hal. 21-66.
- Syarief, M. Gusrizal, dan Asadi. 2008. Karakteristik Asam Fulvat dari Tanah Gambut dan Pengaruhnya pada Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Jagung yang Ditanam pada Tanah Bekas Tambang Emas. *Jurnal Penelitian Universitas Tanjungpura*. 10 (2): 15-30.
- Syehfani. 2010. Hubungan Hara Tanah Air dan Tanaman. *PMN*, Malang. Pp. 204.
- Tan, K. H. 1982. *Principles of Soil Chemistry*. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Tan, K. H. 1987. Degradasi Mineral Tanah oleh Asam Organik. *Dalam Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik*. (eds. Huang, P. M. And Schnitzer, M.) Transl. Didiek Hajar Gunadi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Tan, K. And W. G. Keltjens. 1995. Analysis of Acid Soil Stress in Sorghum Genotypes with Emphasis on Aluminium and Magnesium Interactions. *Plant and Soil*. 171: 147-150.
- Thao, H. T. B., T. George, T. Yamakawa, And L. R. Widowati. 2008. Effects of Soil Aggregate Size on Phosphorus Extractability and Uptake by Rice (*Oryza sativa* L.) and Corn (*Zea mays* L.) in Two Ultisols from the Philippines. *Soil Sci. and Plant Nutrition* 54: 148–158.
- Thonnissen, C., D. J. Midmore, J. K. Ladha, D. C. Oik, and U. Schmidhalter. 2000. Legume Decomposition and Nitrogen Release When Applied as Green Manures to Tropical Vegetable Production Systems. *Agronomy Journal* 92: 253-260.
- Trevisan, S., O. Francioso, S. Quaggiotti, and S. Nardi. 2010. Humic substancesbiological-activity at the plant-soil interface. *Plant Sign Behav.* 5 (6): 635-643.
- Tripping, E. 2004. Cation Binding by Humic Substances. Camrige University Press. Cambridge.
- Van Breemen, N., R. Finlay, U. S. Lundström, A. G. Jongmans, R. Giesler, and P. A. Melkerud. 2000. Mycorrhizal Weathering: A True Case of Mineral Plant Nutrition? *Biogeochemistry*. 49: 53–67.
- Van Hees, P.A.W., D.L. Jones, and D.L. Godbold. 2002. Biodegradation of low Molecular Weight Organic Acids in Coniferous Forest Podzolic Soils. *Soil Biology and Biochemistry* 34:1261–1272.
- Van Hees, P.A.W., S.I. Vinogradoff, A.C. Edwards, D.L. Godbold, and D.L. Jones. 2003. Biodegradation of Low Molecular Weight Organic Acid Adsorption in Forest Soils: Effects on Soil Solution Concentrations and Biodegradation Rates. *Soil Biology and Biochemistry* 35:1015–1026.
- Verlinden, G., B. Pycke, J. Martens, F. Debersaques, K. Verheyen, G. Baert, J. Bries, and G. Haesaert. 2009. Application of Humic Substances Results in Consistent Increases in Crop Yield and Nutrient Uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1407–1426.
- Violente, A. and L. Gianfreda. 2000. Role of Biomolecules in the Formation of Variable Charge Minerals and Organic-Mineral Complexes and Their Reactivity with Plant Nutrients and Organic in Soil. *In*: J. B. Bollag and G. Scotzky. (Eds) *Soil Biochemistry*, Marcell Dekker New York. 10: 207-270.
- Violente, A., M. Ricciardella, M. Pigna, and R. Capasso. 2005. Effect of Organic Ligands on the Adsorption of Trace Elements Onto Metal Oxides and Organo-Mineral Complexes. Pp: 157-182. *In*: P.M. Huang and G. R. Gobran. (Eds.) *Biogeochemistry of Trace Elements in the Rhizosphere*. Elsevier.
- Vitousek, P. M., S. Porder, B. Z. Houlton, and O. A. Chadwick. 2010. Terrestrial Phosphorus Limitation: Mechanisms, Implications, and Nitrogen-Phosphorus Interactions. *Applied Ecology* 20 (1): 5–15.
- Wahyudi, I., E. Handayanto, Syekhfani, dan W. H. Utomo. 2010. Pengaruh Pemberian Kompos Gliricidia dan Tithonia Terhadap Konsentrasi Aluminium pada Ultisol dan Serapan Fosfor oleh Tanaman jagung. *Agrivita* 32 (2): 163-173.

- Wang, Y., Y. He, H. Zhang, and C. Li D. Zhou. 2008. Phosphate Mobilization by Citric, Tartaric, and Oxalic Acids in a Clay Loam Ultisol. *Soil Science Society America Journal* 72:1263-1268.
- Wang, L. And G. H. Nancollas. 2008. Calcium Orthophosphates: Crystallization and Dissolution. *Chemical Reviews*. 108:4628–4669.
- Watanabe, T., M. Osaki, H. Yano, and I M. Rao. 2006. Internal Mechanism of Plant Adaptation to Aluminium Toxicity and Phosphorus Starvation in Three Tropical Forages. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1243-1255.
- Watanabe, A. and H. Takada. 2006. Structural Stability and Natural <sup>13</sup>C Abundance of Humic Acids in Buried Volcanic Ash Soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 52: 145–152.
- Wawan, S. 2002. *Pengelolaan Subsoil Masam untuk Peningkatan Produksi Tanaman Pangan*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wei, L., C. Chen and Z. Xu. 2010. Citric Acid Enhances the Mobilization of Organic Phosphorus in Subtropical and Tropical Forest Soils. *Biol Fertil Soils*. 46:765–769.
- Weil, R. R. And F. Magdoff. 2004. Significance of Soil Organic Matter to Soil Quality and Health. In: F. Magdoff and R. R. Weil (eds). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. p. 1-36.
- Wershaw, R. L 1992. *Membrane-Micelle: Model for Humus in Soils and Sediment and its Relation to Humification*. US Geological Survey, Colorado.
- Winarso, S., D. Sulistyanto, and E. Handayanto. 2011. Effects of Humic Compounds and Phosphate-Olubilizing Bacteria on Phosphorus Availability in an Acid Soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment* 3 (7): 232-240.
- Winarso, S., E. Handayanto, Syekhfani, D. Sulistyanto. 2009. Pengaruh Senyawa Humik Terhadap Aktivitas Aluminium dan Fosfat Typic Plaeudult Kentrong Banteng. *Agrivita* 31 (3): 214-222.
- Xu, D., X. K. Wang, C. I. Chen, X. Zhou, and X. L. Tan. 2006. Influence of Soil Humic and Fulvic Acid on Sorption of Thorium (IV) on MX-80 Bentonite. *Radiochimica Acta* 94 (8): 429-434.
- Zalba, P., and N. Peinemann. 2002. Phosphorous Content in Soil in Relation to Fulvic Acid Carbon Fraction. *Communications in Soil Science. and Plant Analysis* 33: 3737–3744.
- Zavas, T., L. Symeonidis, and S. Karataglis. 1996. Responses to Aluminium Toxicity Effects of Two Population of *Piptatherum miliaceum* (L.) Cosson. *Journal Agronomy and Crop Science* 177: 25-32.

## **LAMPIRAN**

## Lampiran 1. Metode analisis tanah dan bahan organik

### 1. Penetapan pH tanah dan kompos (pH H<sub>2</sub>O dan KCl), dengan metode pH meter

**pH tanah:** Contoh tanah kering udara lolos ayakan 0,5 mm, ditimbang sebanyak 10 g kemudian dimasukkan ke dalam botol plastik. Selanjutnya ditambahkan 5 mL aquadest atau KCl 10 mL (1:1), kemudian dikocok selama 1 jam. Larutan disimpan selama 1 malam. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter (sebelum digunakan, terlebih dahulu pH meter dipanaskan selama 15 menit dan dikalibrasi dengan buffer pH 7).

**pH kompos:** Contoh tanah kering udara lolos ayakan 2 mm, ditimbang sebanyak 10 g dan dimasukkan ke dalam botol plastik. Setelah itu, ditambahkan 25 mL aquadest atau KCl 10 mL (1:2,5), prosedur selanjutnya sama dengan pada penetapan pH tanah di atas.

### 2. Penetapan C-organik dengan metode Walkey and Black

**Penetapan C-organik tanah:** Penetapan C organik tanah dimulai dengan menimbang 0,5 g contoh tanah kering udara yang lolos pada ayakan 0,5 mm, setelah itu dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 500 mL. Selanjutnya ditambahkan 10 mL K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N dan 20 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, kemudian dikocok. Larutan didiamkan selama 30 menit, dan diencerkan dengan aquadest sebanyak 200 mL, serta ditambah 10 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85% dan 30 tetes indikator difenilamin. Terakhir, larutan dititrasi dengan FeSO<sub>4</sub> 1 N sampai warna larutan menjadi hijau terang.

**Penetapan C-organik kompos:** Kompos kering udara yang lolos pada ayakan 2 mm ditimbang sebanyak 0,1 g dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 500 mL. Selanjutnya, prosedurnya sama dengan penetapan C-organik tanah di atas.

### **3. Penetapan P total dengan HCl 25%**

Contoh tanah kering udara yang lolos ayakan 0,5 mm ditimbang sebanyak 2 g dan dimasukkan ke dalam botok kocok, kemudian ditambahkan 10 ml HCl 25%, kemudian dikocok dengan mesin kocok selama 5 jam. Setelah itu, dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dibiarkan semalam atau disentrifus. Ekstrak jernih contoh dipipet 0,5 mL ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 9,5 mL air bebas ion (pengenceran 20x), serta dikocok. Ekstrak contoh encer dan deret standar dipipet masing-masing 2 mL kemudian di masukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 10 ml larutan pereaksi pewarna P dan dikocok. Larutan didiamkan selama 30 menit. Ukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm (BPT, 2005).

### **4. Penetapan P tersedia dengan metode Bray I**

Contoh tanah kering udara yang lolos ayakan 0,5 mm ditimbang sebanyak 2,5 g, selanjutnya ditambahkan pengestrak Bray dan Kurt I sebanyak 25 mL dan kocok selama 5 menit serta disaring. Dua mL ekstrak jernih dipipet ke dalam tabung reaksi. Contoh dan deret standar masing-masing ditambahkan pereaksi pewarna fosfat sebanyak 10 mL, dikocok dan dibiarkan selama 30 menit. Ukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm (BPT, 2005).

### **5. Penetapan Al<sub>dd</sub>**

Contoh tanah kering udara lolos ayakan 0,5 mm ditimbang sebanyak 5 g dan dimasukkan ke dalam botol kocok. Setelah itu, ditambahkan 50 mL 1N KCl dan dikocok selama 30 menit, kemudian disaring. Ekstrak jernih dipipet 10 mL + indikator pp, selanjutnya dititrasi dengan NaOH baku sampai timbul warna merah jambu. Berikutnya ditambahkan HCl 0,07386 N sampai warna merah jambu

hilang. Ditambahkan 10 mL NaF 4% (warna merah akan timbul kembali), dan terakhir dititrasi dengan HCl baku sampai warna merah hilang.

**6. Metode Fraksionasi P (Chang And Jackson, 1957), dimodifikasi oleh G. M. Pierzynski (ed), (2000)**

Tahap awal adalah menyiapkan Standar P yang berisi sama volume ekstrak

**a. Fraksi Al-P**

Tanah (< 2 mm) ditimbang 1 g dan dimasukkan ke dalam tabung sentrifuse 100 mL. Selanjutnya ditambahkan 50 mL NH<sub>4</sub>Cl dan dikocok selama 30 menit kemudian sentrifuse. Larutannya dibuang. Residu + 50 ml NH<sub>4</sub>F 0,5 M (pH 8,2), dikocok selama 1 jam dan disentrifuse 10 menit. Supernatan ditampung dalam labu ukur 100 mL. Volume dicukupkan sampai tanda tera dengan aquadest. Sepuluh mL aliquot dipipet ke dalam labu takar 50 mL, kemudian ditambahkan aquadest 10 mL dan 15 mL H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0,8 M. Konsentrasi P dalam larutan ditentukan dengan menggunakan metode asam askorbat (Murpey and Riley, 1962)

**b. Fraksi Fe-P**

Residu (tanah) dicuci 2 kali dengan NaCl jenuh 50 mL dengan cara disentrifuse. larutannya dibuang. Residu + 50 mL NaOH 0,1 M dikocok selama 2,5 jam dan disentrifuse selama 10 menit. Supernatan ditampung dalam labu ukur 100 mL, kemudian larutannya dideterminasi. Dua mL aliquot dipipet ke dalam labu ukur 50 mL, selanjutnya ditambahkan 20 mL aquadest dan 5 tetes indikator p-nitrofenol, kemudian ditambahkan NaOH 2 M sampai timbul warna kuning (pH=3). Setelah itu, ditambahkan HCl 2 M sampai warna kuning hilang. Konsentrasi P dalam larutan ditentukan dengan menggunakan metode asam askorbat (Murpey and Riley, 1962).

**c. Fraksi Ca-P**

Residu (tanah) dicuci 2 kali dengan NaCl jenuh 50 mL dengan cara disentrifuse. Larutannya dibuang. Residu+ 50 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,25 M, dikocok selama 1 jam. Suspensi disentrifuse selama 10 menit, supernatan ditampung dalam labu ukur 100 mL. Residu (tanah) dibuang. Dipipet 2 mL aliquot ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan 20 mL aquadest serta 5 tetes indikator p-nitrofenol, kemudian ditambahkan NaOH 2 M sampai timbul warna kuning (pH=3). Terakhir, ditambahkan HCl 2 M sampai warna kuning hilang. Konsentrasi P dalam larutan ditentukan dengan menggunakan metode asam askorbat (Murpey and Riley, 1962)

## Lampiran 2. Rekapitulasi data hasil penelitian Tahap I

### 1. Hasil analisis HPLC jenis dan konsentrasi asam-asam organik dari ekstrak sisa tanaman dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah

Sumber	Jenis-jenis asam organik yang terdeteksi						
	As. Sitrat	As. Laktat	As. Malat	As. Asetat	As. Glutarat	Humat	Fulvat
Sisa tanaman padi	26,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sisa tanaman jagung	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Sisa tanaman kacang tanah	26,8	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kompos sisa tanaman padi	0,0	39,3	23,5	18,8	0,0	2181,0	1621,0
Kompos sisa tanaman jagung	0,0	58,2	22,5	18,5	0,0	2278,0	1777,0
Kompos sisa tanaman kacang tanah	0,0	61,9	87,5	23,2	0,0	193,0	2104,0

### 2. Pengaruh ekstrak sisa tanaman dan ekstrak kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap P larut dari BFA selama inkubasi

Perlakuan	P larut tanpa BFA	P larut dari BFA (ppm P), selama inkubasi (hari)					
		1	3	7	14	28	56
Kontrol	0,00	0,00 h	6,22 j	18,44i	6,41h	16,03gh	37,40ef
ETP	21,80	43,59 g	78,53 i	94,57g	102,57f	72,65f	91,88e
ETJ	535,26	596,16 a	590,55 a	551,28a	442,31b	441,24b	415,86b
ETKT	422,76	516,03 b	471,16 c	359,96d	469,02a	495,73a	342,95c
EKP	358,34	397,44 c	376,07 e	339,75d	303,42d	304,49d	346,16c
EKJ	535,22	570,52 a	549,08 b	500,00b	461,71ab	455,13b	496,80a
EKKT	164,75	221,16 e	261,76 f	237,18e	240,39e	175,22e	272,44d
H	0,00	365,39 d	391,03 d	413,47c	375,00c	394,23c	395,83bc
AS	0,00	211,54 e	188,04 g	163,47f	73,72g	26,71g	0,00f
AM	0,00	182,70 f	125,00 h	44,88h	0,00h	0,00h	0,00f
AL	0,00	32,05 g	7,48 i	6,41i	0,00h	0,00h	0,00f

Keterangan: Angka-angka pada satu kolom yang diikuti huruf yang sama, menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji Duncan (DMRT) 5%.

\*) lihat Tabel 2

### Lampiran 3. Rekapitulasi data hasil penelitian Tahap II

#### 1. Pengaruh ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, jagung dan kacang tanah terhadap P-tersedia pada tanah Ultisol dan Alfisol

Perlakuan	Lama inkubasi (hari)					
	0	7	14	28	42	63
U-kontrol	1,18	1,30 d	3,78 f	7,83 d	6,08 i	1,75 def
U-EKP	1,18	1,30 d	5,47 de	6,62 d	6,02 i	1,72 ef
U-EK J	1,18	6,13 a	6,49 cd	7,61 d	14,29 g	1,14 ef
U-EKKT	1,18	3,19 c	4,54 ef	4,63 d	21,69 c	0,57 f
U-KP	1,18	2,75 c	7,13 bc	24,77 c	9,27 h	2,77 bcd
U-KJ	1,18	4,39 b	4,34 ef	30,84 c	18,38 d	4,24 b
U-KKT	1,18	1,35 d	7,22 bc	32,83 c	15,14 f	2,59 cde
A-kontrol	1,18	1,40 d	6,65 cd	8,69 c	6,48 e	3,06 bcd
A-EKJ	1,18	1,39 d	8,43 b	57,42 b	29,46 b	3,69 bc
A-KJ	1,18	1,11 d	15,62 a	79,07 a	34,06 a	19,55 a

Keterangan: Angka-angka pada satu kolom yang diikuti huruf yang sama, menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji Duncan (DMRT) 5%.

\*) lihat Tabel 4

#### 2. Persentase penurunan $Al_{dd}$ pada Ultisol setelah diberikan ekstrak kompos dan kompos sisa tanaman padi, sisa tanaman jagung, dan sisa tanaman kacang tanah, selama inkubasi 63 hari

No.	Perlakuan *)	Penurunan $Al_{dd}$ (%), selama inkubasi (hari)				
		7	14	28	42	63
1.	U-kontrol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.	U-EKP	42,04	28,06	24,71	9,16	11,99
3.	U-EK J	42,60	14,44	30,30	18,15	18,62
4.	U-EKKT	43,99	28,78	37,51	19,74	38,78
5.	U-KP	56,35	46,75	40,22	37,32	22,88
6.	U-KJ	70,57	83,93	94,02	131,33	35,77
7.	U-KKT	56,32	54,51	40,11	43,06	32,57

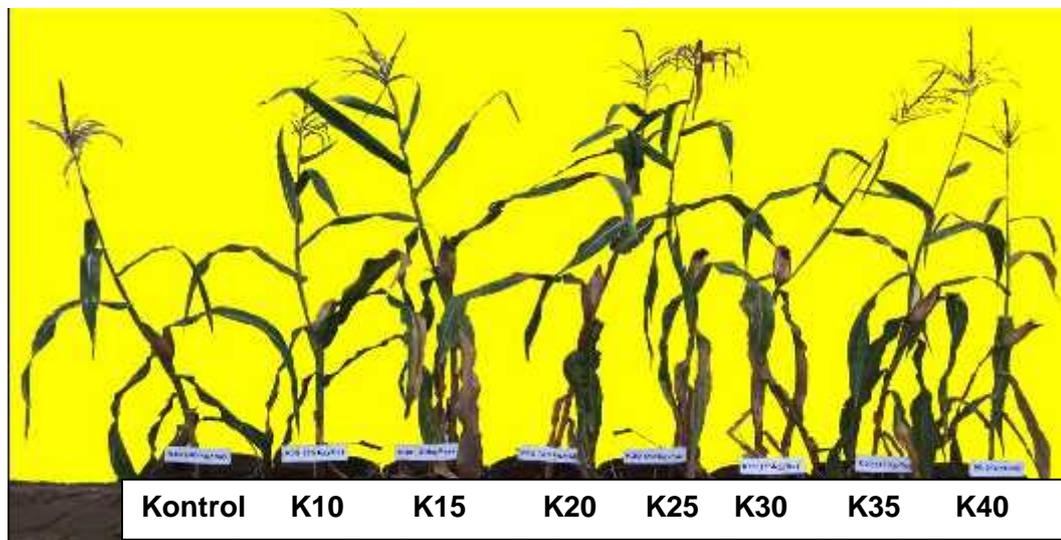
Keterangan: Hasil uji DMRT (95%). Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda, berarti berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95% (0,05)

\*) lihat Tabel 4

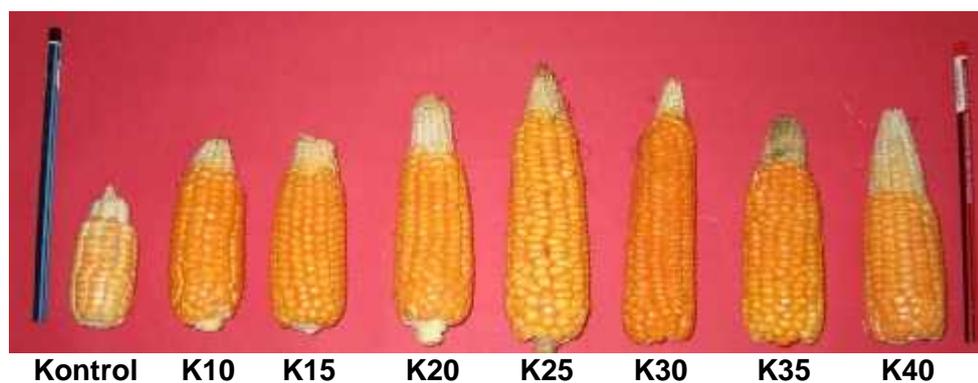
#### Lampiran 4. Deskripsi jagung varietas Gumarang

Tanggal dilepas	: 25 Februari 2000
Asal	: Disusun dari 20 galur SW2
Umur	: 50% keluar rambut $\pm$ 50 hari Masak fisiologis $\pm$ 82 hari
Batang	: Tegap
Warna batang	: Hijau
Tinggi tanaman	: 180 cm (160 – 210 cm)
Daun	: Panjang
Warna daun	: Hijau
Keragaman tanaman	: Agak seragam
Perakaran	: Baik
Kerebahan	: Tahan rebah (0-25%)
Malai	: Semi kompak (50%)
Warna anthera	: Hijau muda (70%)
Warna rambut	: Coklat keunguan (90%)
Tongkol	: Panjang dan silindris
Tinggi letak tongkol	: $\pm$ 88cm (80-100 cm)
Kelobot	: Tertutup baik (75%)
Tipe biji	: Mutiara ( <i>flint</i> )
Warna biji	: Kuning
Baris biji	: Lurus
Jumlah baris/tongkol	: 12-16 baris
Bobot 1000 biji	: $\pm$ 273 gram
Rata-rata hasil	: 5,0 t/ha
Potensi hasil	: 8 t/ha
Ketahanan:	Cukup tahan terhadap penyakit bulai ( <i>Peronosclerospora maydis</i> )
Daerah sebaran	: Dataran rendah sampai 600 m dpl
Sumber:	Balai Penelitian Tanaman Serealia (2007)

### Lampiran 5. Dokumentasi penelitian Tahap III

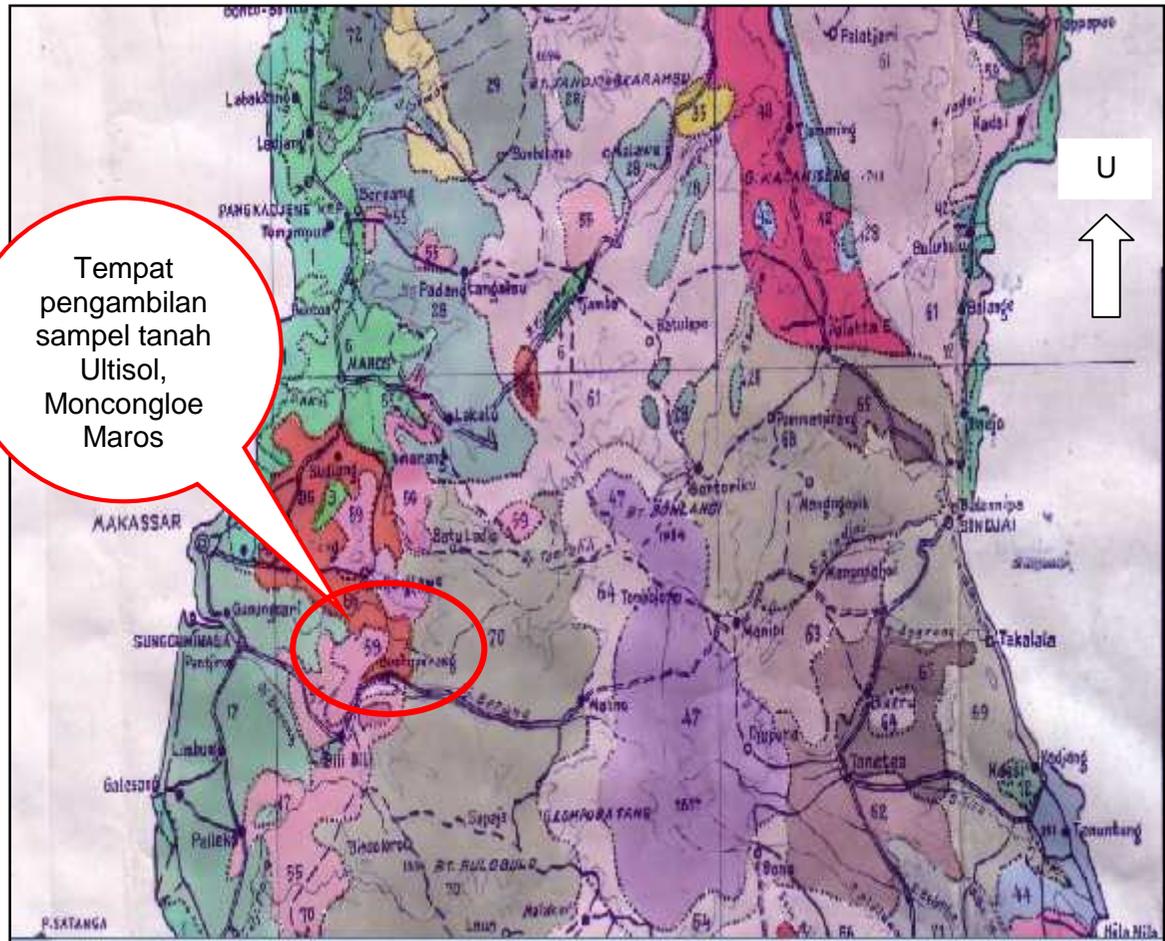


Gambar lampiran 5.1. Tanaman jagung hasil penelitian sesaat sebelum panen (90 HST), penempatan diurut sesuai dengan perlakuan



Gambar Lampiran 5.2. Pengaruh kompos sisa tanaman kacang tanah terhadap hasil jagung varietas Gumarang pada Ultisol Sulawesi Selatan

Lampiran 6. Peta Jenis Tanah Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan

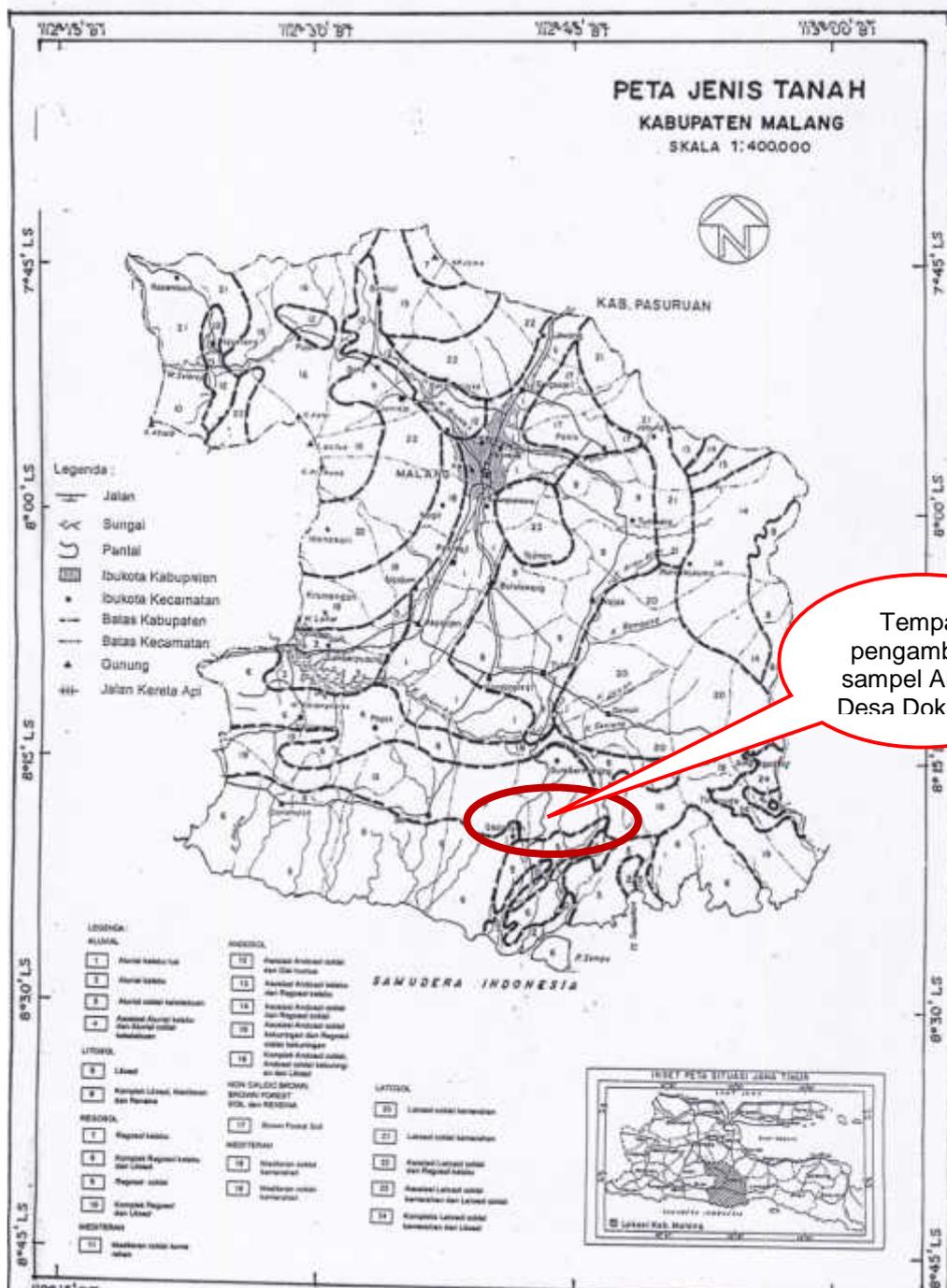


Legenda:

73	Pc.b - H-M Ta	Podsolik Tjoklat	Tufa vulkanik masam	Berbukit sampai bergunung
74	Pc.b - H-M S <sub>1</sub> /S <sub>2</sub> /Y	Podsolik Tjoklat	Kompleks batupasir, berpin dan tufa	Berbukit sampai bergunung
75	Pc.yb - U A.S	Podsolik Tjoklat Kekuningan	Endapan pasir	Berombak
76	Pc.yb - H-M S <sub>1</sub> /S <sub>2</sub>	Podsolik Tjoklat Kekuningan	Serbih dan batupasir	Bergelombang sampai berbukit
77	Pc.yb - H-M Ta	Podsolik Tjoklat Kekuningan	Tufa vulkanik masam	Berbukit sampai bergunung
78	Pc.yb - H-M Pa	Podsolik Tjoklat Kekuningan	Dataran platonik masam	Berbukit sampai bergunung
79	Pc.yb - H-M M.S	Podsolik Tjoklat Kekuningan	Bekas	Berbukit sampai bergunung
80	Pc.yr - U A.E	Podsolik Merah Kekuningan	Endapan pasir	Berombak
81	Pc.yr - R-H R.S	Podsolik Merah Kekuningan	Batupasir	Bergelombang sampai berbukit
82	Pc.yr - H-M M.S	Podsolik Merah Kekuningan	Bekas	Bergelombang sampai berbukit
83	Pc.yr - H-M Ta-I	Podsolik Merah Kekuningan	Tufa vulkanik masam sampai intramedian	Berbukit sampai bergunung
84	Pc.yr - H-M Ra-I	Podsolik Merah Kekuningan	Bekas unitan masam sampai intramedian	Berbukit sampai bergunung
85	Pc.yr - H-M S <sub>1</sub> /S <sub>2</sub>	Podsolik Merah Kekuningan	Batupasir dan serbih	Berbukit sampai bergunung
86	Pc.r - U A/Yt	Podsolik Merah	Endapan pasir berbatu	Berombak
87	Pc.v - H-M S <sub>1</sub> /S <sub>2</sub>	Podsolik Violet	Serbih dan batupasir	Berbukit sampai bergunung
88	Pc.g/y - R Ta,T	Kompleks Podsolik Tjoklat kekuningan dan Redoxol	Batupasir dan tufa	Bergelombang

Sumber: Pusat Penelitian Tanah, Bogor

Lampiran 7. Peta Jenis Tanah Kabupaten Malang



Sumber: Laboratorium GIS Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya

## Lampiran 8. Glosarium

Al <sub>dd</sub>	: Aluminium dapat ditukar, yang dinyatakan dalam me/100g
Alfisol	: Tanah yang mempunyai horizon akumulasi liat pada lapisan bawah (lapisan argilik) dan kejenuhan basa (KB) > 35%
Al-P	: Senyawa kompleks yang terbentuk antara Aluminium dan Fosfat
Asam organik	: Senyawa organik yang mempunyai derajat kemasaman dan berat molekul tertentu, mempunyai gugus fungsional seperti gugus hidroksil, karboksilat, fenolik, misalnya asam sitrat, asam laktat, asam malat, asam asetat (asam organik sederhana), asam humat dan fulvat (asam organik kompleks)
Asam humat	: Asam organik hasil akhir dekomposisi bahan organik, berwarna coklat kehitaman, bersifat koloidal, relatif stabil, dan merupakan senyawa organik dengan berat molekul tinggi (makromolekul) antara 22.000–230.000 (5.000-300.000 dalton) dan bermuatan negatif.
Asam fulvat	: Fraksi humat yang tersisa dan larut dalam asam dan basa, berwarna abu-abu kekuningan, berat molekul rendah (900-5000 dalton) dan bermuatan negatif.
Batuan Fosfat Alam (BFA)	: Pupuk fosfat alam yang berasal dari batuan fosfat (apatit) yang digiling halus, tidak larut atau sedikit larut di dalam air, tetapi larut dalam asam, kelarutannya dapat diuji dalam asam sitrat 2%
Ca-P	: Senyawa kompleks yang terbentuk antara Kalsium dan Fosfat
C/N	: Nisbah karbon organik (%) terhadap N-total (%), yang menggambarkan tingkat kematangan atau kualitas suatu bahan organik/tanah/pupuk.
Ekstrak asam organik	: Larutan yang merupakan hasil dari pencampuran sisa tanaman atau kompos dengan air destilasi pada konsentrasi tertentu
Fe-P	: Senyawa kompleks yang terbentuk antara Besi dan Fosfat
KB	: Kejenuhan basa, yang dinyatakan dalam %
Kompos	: Bahan organik yang sudah terdekomposisi dan berwarna coklat kehitaman
KTK	: Kapasitas tukar kation, yang dinyatakan dalam me/100g
P	: Fosfor

- pH :  $-\log [H^+]$ , yang menggambarkan tingkat kemasaman tanah/pupuk
- P-larut : P yang terlepas dari sumber P (BFA) yang larut di dalam ekstrak asam organik
- P-tersedia : P yang ada dalam larutan tanahbahan organik//pupuk yang tersedia bagi tanaman
- Sisa tanaman padi : Sisa panen dari tanaman padi berupa batang dan daun
- Sisa tanaman jagung : Sisa panen dari tanaman jagung berupa batang dan daun jagung
- Sisa tanaman kacang tanah : Sisa panen tanaman kacang tanah berupa batang dan daun kacang tanah
- Ultisol : Tanah yang memiliki horizon akumulasi liat pada lapisan bawah (lapisan argilik) dan kejenuhan basa (KB) < 35%