



**UPAYA PENINGKATAN KETERSEDIAAN Ca, Mg DAN S
SERTA PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.)
DENGAN APLIKASI KOMPOS PADA TANAH TERDAMPAK
ERUPSI GUNUNG KELUD**

Oleh

MOCHAMMAD RIZQI FIRDAUS



**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2017**



**UPAYA PENINGKATAN KETERSEDIAAN Ca, Mg DAN S SERTA
PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.) DENGAN**

**APLIKASI KOMPOS PADA TANAH TERDAMPAK ERUPSI GUNUNG
KELUD**

Oleh
MOCHAMMAD RIZKI FIRDAUS

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2017



**UPAYA PENINGKATAN KETERSEDIAAN Ca, Mg DAN S SERTA
PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.) DENGAN
APLIKASI KOMPOS PADA TANAH TERDAMPAK ERUPSI GUNUNG
KELUD**

Oleh
MOCHAMMAD RIZQI FIRDAUS
125040201111042

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

SKRIPSI

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

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2017


**LEMBAR PERSETUJUAN**

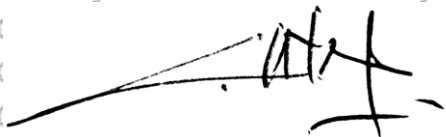
Judul Penelitian : Upaya Peningkatan Ketersediaan Ca, Mg dan S serta
 Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) dengan
 Aplikasi Kompos Pada Tanah Terdampak Erupsi
 Gunung Kelud
 Nama Mahasiswa : Mochammad Rizqi Firdaus
 NIM : 125040201111042
 Jurusan : Manajemen Sumberdaya Lahan
 Program Studi : Agroekoteknologi
 Laboratorium : Kimia Tanah
 Menyetujui :

Pembimbing I

Disetujui,

Pembimbing II

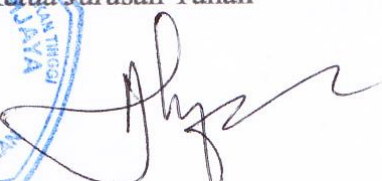

Dr. Ir. Retno Suntari, MS.
 NIP. 19580503 198303 2 002


Novalia Kusumarini, SP, MP.
 NIP. 19891108 201504 2 001

Diketahui,

a.n. Dekan Fakultas Pertanian
 Universitas Brawijaya
 Ketua Jurusan Tanah




Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.
 NIP. 195405011981031006

Tanggal Persetujuan : **17 MAY 2017**



LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU.
NIP. 19580214 198503 1 003

Penguji I

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

Penguji III

Novalia Kusumarini, SP. MP.
NIP. 19891108 201504 2 001

Penguji IV

Istika Nitā, SP. MP.
NIK. 201609 891118 2 001

Tanggal Lulus: **30 MAY 2017**

RINGKASAN

Mochammad Rizqi Firdaus. 125040201111042. **Upaya Peningkatan Ketersediaan Ca, Mg dan S serta Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Dengan Aplikasi Kompos Pada Tanah Terdampak Erupsi Gunung Kelud.** Di bawah bimbingan Retno Suntari dan Novalia Kusumarini.

Erupsi gunung Kelud pada 13 Februari 2014 menimbulkan kerusakan lahan pertanian masyarakat sekitarnya. Material vulkanik gunung Kelud menutupi permukaan lahan pertanian dan merubah karakteristik tanah. Material vulkanik gunung Kelud berstruktur tunggal dan kasar dengan fraksi pasir yang lebih dominan. Unsur hara makro sekunder Ca, Mg dan S mudah tercuci pada tanah berpasir sehingga ketersediaan unsur-unsur tersebut rendah. Aplikasi kompos diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan hara serta pertumbuhan tanaman jagung pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui pengaruh aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos terhadap ketersediaan unsur Ca, Mg dan SO_4^{2-} pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud; (2) mengetahui pengaruh aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos terhadap serapan hara Ca, Mg, S dan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud.

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya pada April hingga Desember 2016. Contoh tanah diambil dari desa Trisulo, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri yang berjarak 8 km dari puncak gunung Kelud. Penelitian ini menggunakan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan terdiri dari A1 (100% urea), A2 (100% kompos kotoran ayam), A3 (100% kompos kotoran sapi), A4 (50% urea + 50% kompos kotoran ayam) dan A5 (50% urea + 50% kompos kotoran sapi). Variabel pengamatan meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, berat kering, Ca-dd, Mg-dd, SO_4^{2-} tanah serta serapan Ca, Mg dan S tanaman jagung. Hasil penelitian diuji dengan ANOVA dan selanjutnya diuji dengan DMRT dan Korelasi.

Hasil penelitian menunjukkan aplikasi kompos tidak meningkatkan ketersediaan Ca dibandingkan aplikasi urea. Aplikasi 100% kompos kotoran ayam ($12,26 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) setara dengan $132,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ secara signifikan meningkatkan ketersediaan Mg dan SO_4^{2-} dengan peningkatan masing-masing 150% dan 884% dibandingkan aplikasi urea pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Aplikasi 100% kompos kotoran ayam ($12,26 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) secara signifikan meningkatkan kadar dan serapan Ca, Mg dan S tanaman jagung dibandingkan aplikasi urea. Kadar Ca, Mg dan S tanaman jagung masing-masing meningkat 29,05%, 153,10% dan 17,20%. Serapan Ca, Mg dan S tanaman jagung masing-masing meningkat 30,34%, 241,66% dan 48,83%. Aplikasi kombinasi 50% urea (144 kg ha^{-1} urea) dan 50% kompos kotoran ayam ($6,13 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) meningkatkan jumlah daun tanaman jagung.



SUMMARY

Mochammad Rizqi Firdaus. 125040201111042. **Increasing Ca, Mg and S availability and Maize (*Zea mays* L.) Growth through Compost Application on a Soil Affected by Mount Kelud Eruption Material.** Supervised by Retno Suntari and Novalia Kusumarini.

Mount Kelud eruption on February 13, 2014 was affected to surrounding agricultural land. Kelud volcanic material covered the surface of agricultural soil and change the soil properties. Kelud volcanic material as a single structure and coarse with dominant sand fraction. That condition cause secondary macronutrients Ca, Mg and S have high leaching potential on sandy soils. Therefore, Ca, Mg and S availability and uptake of maize plants was low. Compost application is expected to increase the growth of maize and improving soil fertility of soil affected by eruption material of Mount Kelud. Purpose of research is (1) applications combination of urea fertilizer and compost increase the availability of Ca, Mg and SO_4^{2-} elements on soil affected by the eruption material of Mount Kelud, (2) applications combination of urea fertilizer and compost increase the uptake of Ca, Mg, S and the growth of maize on soil affected by the eruption material of Mount Kelud.

The research implemented at glasshouse of Agriculture Faculty, University of Brawijaya in April until December 2016. The soil samples were taken from the Trisulo village, Plosoklaten district, Kediri regency that is 8 km from the crater of Mount Kelud. This study using Complete Random Design (RAL) with 5 treatments and 3 replication. The treatment consisted of A1 (100% urea), A2 (100% composted chicken manure), A3 (100% composted cow manure), A4 (50% urea + 50% composted chicken manure) and A5 (50% urea + 50% composted cow manure). Variables of the observation include plant height, number of leaves, dry weight biomass, soil Ca-dd, soil Mg-dd, soil SO_4^{2-} , uptake of Ca, Mg and S Maize. Data research determined by ANOVA test, according to a comparison of mean by DMRT and correlation between variables.

The results showed that application of compost did not increase Ca availability compared to urea application. The application of 100% composted chicken manure (12.26 tons ha^{-1} composted chicken manure) equivalent to 132.5 kg N ha^{-1} significantly increased the availability of Mg and SO_4^{2-} by 150% and 884% respectively compared to urea application on soil affected by eruption material of Mount Kelud. The application of 100% composted chicken manure (12.26 tons ha^{-1} composted chicken manure) significantly increased Ca, Mg and S concentration and uptake of maize compared to urea applications. Maize concretations of Ca, Mg and S increased by 29.05%, 153.10% and 17.20% respectively. Maize uptake of Ca, Mg and S increased by 30.34%, 241.66% and 48.83% respectively. The combined application of 50% urea (144 kg ha^{-1} urea) and 50% composted chicken manure (6.13 tons ha^{-1} composted chicken manure) increased number of leaves of maize.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang diberikan kepada kita, sehingga pada kesempatan yang berbahagia ini penulis mampu menyelesaikan Skripsi dengan judul “Upaya Peningkatan Ketersediaan Ca, Mg dan S serta Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Dengan Aplikasi Kompos Pada Tanah Terdampak Erupsi Gunung Kelud”

Erupsi gunung Kelud pada 13 Februari 2014 menimbulkan kerusakan lahan pertanian masyarakat sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kompos terhadap ketersediaan Ca, Mg, S dan pertumbuhan tanaman jagung yang ditanam pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi tahap sarjana (S1) bagi setiap mahasiswa Jurusan Manajemen Sumberdaya Lahan.

Atas selesainya penyusunan laporan penelitian ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih atas bantuan dan bimbingan dari semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penyusunan laporan penelitian ini, diantaranya kedua orang tua dan keluarga besar atas dukungannya, Dr. Ir. Retno Suntari, MS. dan Novalia Kusumarini SP, MP. selaku dosen pembimbing, Prof. Dr. Ir. Sugeng Priyono, SU. selaku Ketua Majelis Penguji dan Sekretaris Jurusan Tanah, Istika Nita SP, MP. selaku penguji, Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU. selaku Ketua Jurusan Tanah, para Dosen dan Staf Jurusan Tanah serta teman-teman Program Studi Agroekoteknologi dan Minat Manajemen Sumberdaya Lahan.

Malang, Mei 2017

Penulis



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jombang pada tanggal 6 Juli 1994, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari M. Roqib dan Ratna Saidah. Penulis menempuh pendidikan dasar di Madrasah Ibtidaiyah Salafiyah Syaifiyah Nglaban, Kabupaten Jombang pada tahun 2000 sampai dengan 2006, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP A. Wahid Hasyim Tebuireng hingga 2009. Pada tahun 2009 sampai 2012, penulis melanjutkan studi di SMA A. Wahid Hasyim Tebuireng. Pada tahun 2012, penulis diterima sebagai mahasiswa S-1 Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya melalui SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) Jalur Undangan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan yakni Inaugurasi Program Orientasi Studi Terpadu (POSTER/PKKMABA Fakultas Pertanian) pada tahun 2012, IBM-8 (Invitasi Bulutangkis Mahasiswa ke-8) Tingkat Nasional pada tahun 2013 yang diselenggarakan Unit Kegiatan Mahasiswa Bulu Tangkis, Pasca-GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2015 dan GATRAKSI 2016. Penulis melaksanakan Magang Kerja yang merupakan program wajib fakultas di perkebunan kelapa sawit PT. Socfin Indonesia Kebun Aek Ioba (Kabupaten Asahan, Sumatera Utara) pada Juli hingga Oktober 2015.

**DAFTAR ISI**

RINGKASAN.....	i
SUMMARY.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Hipotesis.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Karakteristik Tanah Terdampak Erupsi Gunung Kelud.....	5
2.2. Peran Pupuk Urea bagi Tanaman Jagung.....	6
2.3. Manfaat Kompos Kotoran Ayam dan Sapi.....	7
2.4. Syarat Tumbuh Tanaman Jagung.....	8
2.5. Ketersediaan dan Serapan Ca, Mg dan S.....	9
III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Waktu dan Tempat.....	16
3.2. Alat dan Bahan.....	16
3.3. Metode Penelitian.....	17
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Sifat Kimia Tanah.....	20
4.2. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Serapan Ca, Mg dan S Tanaman Jagung.....	30
4.3. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung.....	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1	Kadar Serapan Hara pada Beberapa Jenis Tanaman Pangan	11
2	Perlakuan Penelitian	17
3	Parameter dan Waktu Pengamatan	19
4	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap pH dan KTK Tanah	20
5	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Ca-dd Tanah	22
6	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Mg-dd Tanah	25
7	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap SO ₄ ²⁻ Tanah	28
8	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Serapan Ca, Mg dan S Tanaman Jagung	30
9	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Tinggi Tanaman Jagung	34



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1	Alur Pikir Penelitian.....	3
2	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Jumlah Daun Tanaman Jagung.....	35
3	Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Berat Basah dan Berat Kering Tanaman Jagung.....	37



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1	Hasil Analisa Dasar Tanah dan Kompos.....	48
2	Kriteria Penilaian Hasil Analisis Tanah.....	49
3	Perhitungan Kebutuhan Pupuk Anorganik.....	50
4	Perhitungan Kebutuhan Kompos Kotoran Ayam.....	53
5	Perhitungan Kebutuhan Kompos Kotoran Sapi.....	54
6	Denah Pengacakan Penelitian.....	55
7	Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Jagung (<i>Zea mays</i>).....	56
8	Deskripsi Jagung Varietas Pioneer 21.....	57
9	Kebutuhan Irigasi.....	58
10	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan terhadap Variabel Pengamatan.....	59
11	Matriks Korelasi Antar Variabel Pengamatan.....	63
12	Dokumentasi Penelitian.....	64



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gunung Kelud Terletak di Provinsi Jawa Timur yang berada di tiga Kabupaten yakni Kabupaten Malang, Kabupaten Kediri dan Kabupaten Blitar. Erupsi gunung Kelud pada 13 Februari 2014 menimbulkan kerusakan lahan pertanian masyarakat sekitar gunung Kelud. Salah satu wilayah terdampak yakni Desa Trisulo yang berjarak 8 km dari puncak gunung Kelud. Desa Trisulo terdampak timbunan abu vulkanik dengan ketebalan 10 hingga 15 cm.

Timbunan material vulkanik gunung Kelud menimbulkan perubahan status kesuburan tanah di bawahnya seperti perubahan sifat kimia dan fisik tanah. Secara fisik, material vulkanik gunung Kelud berstruktur tunggal dan kasar dengan fraksi pasir yang lebih dominan. Permasalahan pada tanah berpasir yakni kadar bahan organik (BO) rendah, miskin hara dan kejenuhan basa rendah. Material pasir yang dominan pada tanah akan membentuk pori makro yang lebih dominan sehingga menurunkan daya jerap air oleh tanah (Achmad dan Hadi, 2015). Selain itu, porositas tanah yang tinggi berpotensi mengalami kehilangan hara yang tinggi melalui penguapan maupun pencucian (Sanchez, 1992).

Secara kimiawi, timbunan abu vulkanik menurunkan pH dan KTK tanah. pH yang masam dapat meningkatkan konsentrasi Al dalam tanah yang cenderung akan meracuni tanaman (Anda, Sukarman dan Suparto, 2016). Tanah berpasir memiliki tingkat kesuburan yang rendah yang ditunjukkan dengan rendahnya kandungan bahan organik dan nitrogen (N) dalam tanah serta pH tanah yang cenderung agak masam hingga masam (Achmad dan Hadi, 2015). Pada $pH < 7$, semua unsur hara makro baik itu N, P, K, Ca, Mg dan S mengalami penurunan ketersediaannya dalam tanah (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Unsur hara makro sekunder Ca, Mg dan S mudah hilang pada tanah berpasir sehingga serapan tanaman terhadap unsur-unsur tersebut rendah. Meskipun kebutuhan tanaman akan Ca, Mg dan S tidak sebanyak N, P dan K, unsur-unsur tersebut dapat membatasi hasil tanaman budidaya (Hanafiah, 2012).

Aplikasi pupuk N dapat meningkatkan hara N dalam tanah. Namun, pemupukan N pada tanah berpasir memiliki nilai efisiensi yang rendah. Kehilangan N pada tanah berpasir sangat tinggi karena N bersifat mudah tercuci



dan menguap pada tanah berpasir dengan porositas yang tinggi. Pemenuhan kebutuhan N tanaman dipenuhi dengan aplikasi urea. Urea mengandung 46% N sehingga lebih ekonomis penggunaannya (Sarief, 1986). Penelitian Rahman *et al.* (2011) menunjukkan bahwa unsur hara N (dalam bentuk NO_3^-) saling berpengaruh dengan unsur hara S (SO_4^{2-}) yang ditunjukkan dengan peningkatan dosis pupuk N dapat meningkatkan serapan S tanaman yang ditanam pada tanah berpasir. Aplikasi bahan organik diharapkan dapat memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah berpasir.

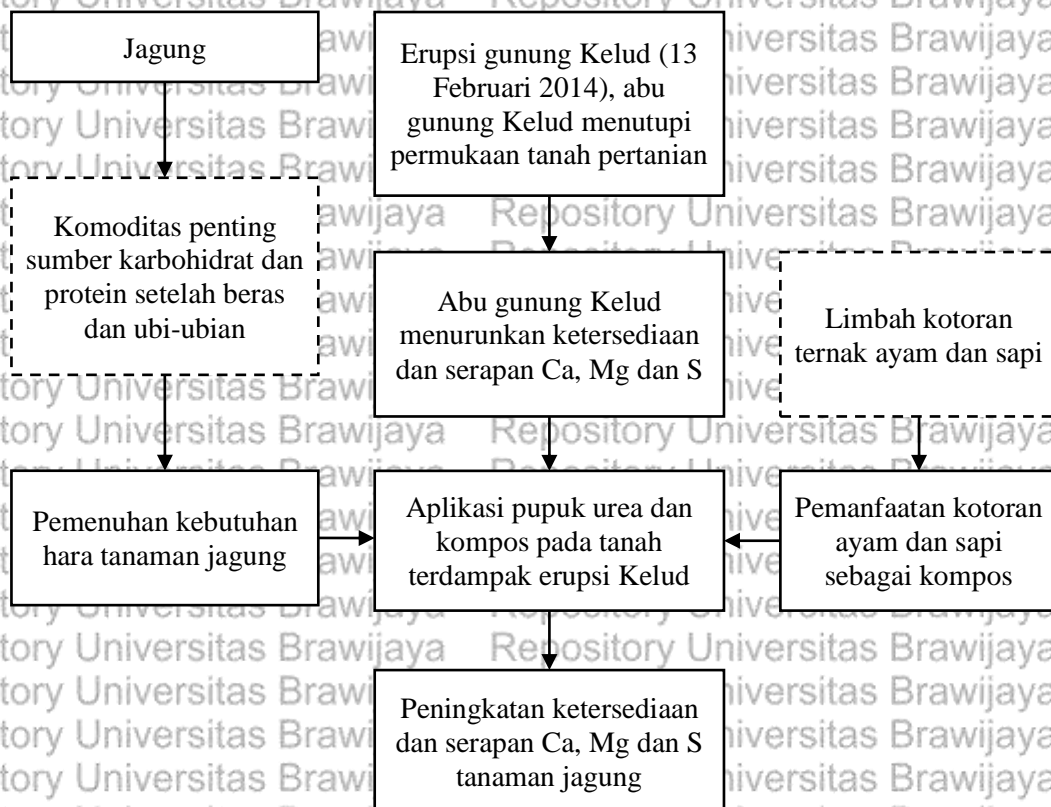
Bahan organik menjadi kunci kualitas tanah yang merupakan faktor yang mempengaruhi kesuburan, kelembaban dan kemampuan tanah menyediakan unsur hara bagi tanaman (Jague *et al.*, 2016). Bahan organik merupakan sumber unsur hara makro dan mikro, sehingga aplikasi bahan organik dapat meningkatkan pertumbuhan, hasil dan efisiensi serapan unsur hara tanaman jagung pada ultisol (Ogbonna, Isirimah dan Princewill, 2012). Bahan organik meningkatkan daya jerap air, kapasitas tukar kation (KTK), aktivitas mikrobiologi dalam tanah serta menurunkan permeabilitas tanah berpasir (Brown dan Cotton, 2011; Hanafiah, 2012). Aplikasi bahan organik sebagai pembenah tanah meningkatkan pH dan KTK tanah sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah dan serapan oleh akar tanaman jagung (Rehman *et al.*, 2016). Bahan organik juga memiliki fungsi sebagai penyangga (*buffer*) tanah (Hanafiah, 2012). Pemanfaatan bahan organik berupa kompos sering dijumpai di masyarakat.

Kompos dibuat dari limbah organik berupa sisa makanan maupun kotoran ternak. Kompos harus memenuhi standar kualitas yang baik dengan parameter pH, KTK dan bahan organik yang terkandung dalam kompos (Wolka dan Melaku, 2015). Kompos kotoran ternak dapat dibuat dari bahan-bahan yang melimpah di sekitar masyarakat seperti limbah kotoran ternak baik itu sapi maupun ayam. Kompos kotoran ayam mengandung 1,7% N, 0,26 % P dan 2,38% K (Ewulo, Ojeniyi dan Akanni, 2008), sedangkan kompos kotoran sapi mengandung 2,0% N, 0,8% P dan 0,8% K (Yong *et al.*, 2011). Meskipun demikian, hasil aplikasi kompos kotoran ternak terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman masih beragam (Ewulo *et al.*, 2008; Farhad *et al.*, 2009; Yong *et al.*, 2011; Uwah, Undie dan John, 2014; Wolka dan Melaku, 2015).



Menurut Warncke, Dahl dan Zandstra (2004), tanaman merupakan indikator terbaik yang ditunjukkan dengan jumlah serapan haranya sebagai dampak pemberian pupuk. Defisiensi unsur hara tertentu ditunjukkan melalui gejala yang tampak pada tanaman. Tanaman jagung digunakan sebagai indikator pengaruh aplikasi kompos pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Tanaman jagung merupakan komoditas penting setelah padi dan ubi-ubian. Selain itu, tanaman jagung juga merupakan tanaman indikator yang menunjukkan pengaruh spesifik unsur hara. Tanaman jagung relatif cepat tumbuh, fase vegetatif dan generatif memiliki perbedaan yang jelas dan tegas, menunjukkan gejala kekurangan, sifat dan perilaku setiap unsur hara tertentu.

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh urea dan kompos terhadap ketersediaan dan serapan unsur hara Ca, Mg, S dan pertumbuhan tanaman jagung yang ditanam pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Alur pikir penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian



1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh aplikasi kompos terhadap ketersediaan Ca, Mg dan S pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud?
- b. Bagaimana pengaruh aplikasi kompos terhadap serapan hara Ca, Mg dan S tanaman jagung serta pertumbuhannya pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- a. Mengetahui pengaruh aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos terhadap ketersediaan unsur Ca, Mg dan SO_4^{2-} pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud,
- b. Mengetahui pengaruh aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos terhadap kadar dan serapan hara Ca, Mg, S dan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini, yaitu:

- a. Aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos meningkatkan ketersediaan Ca, Mg dan SO_4^{2-} pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud,
- b. Aplikasi kombinasi pupuk urea dan kompos meningkatkan kadar dan serapan hara Ca, Mg, S dan pertumbuhan tanaman jagung pada lahan terdampak erupsi gunung Kelud lebih tinggi dibandingkan aplikasi secara tunggal.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi nilai guna kepada masyarakat baik petani maupun pengelola lahan pertanian mengenai aplikasi pupuk urea dan kompos yang dapat meningkatkan ketersediaan, kadar dan serapan Ca, Mg dan S serta pertumbuhan tanaman jagung pada lahan pertanian yang terdampak erupsi gunung Kelud.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Tanah Terdampak Erupsi Gunung Kelud

Timbunan abu vulkanik dapat mengubah karakteristik tanah yang ada di bawahnya baik sifat kimia maupun sifat fisik tanah. Secara kimia, abu vulkanik Gunung Kelud bersifat agak masam dengan pH 6,4, kandungan N dan C-organik sangat rendah, P tinggi, K sedang, Ca tinggi, Mg sedang, S tinggi serta KTK yang sangat rendah (Achmad dan Hadi, 2015). Selain itu, penurunan pH tanah dapat meningkatkan konsentrasi Al dalam tanah yang cenderung akan meracuni tanaman (Anda *et al.*, 2016).

Secara fisik, material vulkanik gunung Kelud berstruktur tunggal dan kasar dengan fraksi pasir yang lebih dominan. Permasalahan pada tanah berpasir yakni kadar bahan organik (BO) rendah, miskin hara dan kejenuhan basa rendah. Material pasir yang dominan pada tanah akan membentuk pori makro yang lebih dominan sehingga menurunkan daya jerap air oleh tanah (Achmad dan Hadi, 2015). Selain itu, porositas tanah yang tinggi berpotensi mengalami kehilangan hara yang tinggi melalui penguapan maupun pencucian. Pencucian Ca, Mg dan S terjadi lebih cepat pada tanah berpasir dibandingkan tanah dengan kandungan liat yang lebih tinggi sehingga potensi defisiensi unsur hara tersebut cukup tinggi (Sanchez, 1992).

Abu vulkanik berpotensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, karena pelapukan material yang terkandung dalam abu vulkan akan menghasilkan hara-hara Ca, Mg, Na, K dan P yang dibutuhkan tanaman. Akan tetapi, proses tersebut membutuhkan waktu yang lama (Achmad dan Hadi, 2015). Oleh karena itu perlu dilakukan pencampuran tutupan abu vulkan dengan lapisan tanah di bawahnya. Tutupan abu vulkanik yang relatif tipis (<20 cm), upaya pencampuran dengan lapisan olah tanah dapat dilaksanakan secara manual. Pada lahan yang tertutup abu vulkanik lebih tebal (>20 cm) dibutuhkan pengelolaan tanah yang lebih berat. Penutupan lahan oleh abu vulkanik dengan ketebalan $>5-10$ cm dapat dilakukan dengan pengolahan tanah dan aplikasi pupuk organik (Rahayu *et al.*, 2014).

Menurut Anda *et al.* (2016) pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mengembalikan agroekosistem yang terkena dampak erupsi gunung berapi yakni pengaplikasian kapur pertanian untuk meningkatkan pH tanah, KTK dan





menurunkan tingkat keracunan Al dalam tanah, penggunaan jenis tanaman toleran terhadap pH yang masam serta pencampuran lapisan timbunan dengan tanah di bawahnya (jika ketebalan timbunan 2-5 cm) untuk memicu pelepasan unsur hara dari abu vulkanik.

2.2. Peran Pupuk Urea bagi Tanaman Jagung

Urea merupakan pupuk anorganik sumber nitrogen yang paling umum digunakan. Urea memiliki kadar N sebesar 46% sehingga lebih ekonomis dalam penggunaannya. Urea memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, berbentuk kristal butiran bulat (Sarief, 1986). Urea sangat mudah larut dalam air, bereaksi cepat dan mudah menguap dalam bentuk ammonia (Brady, 1974).

Unsur nitrogen (N) diserap tanaman dari tanah dalam 2 bentuk yaitu nitrat (NO_3^-) dan ammonium (NH_4^+). Pertumbuhan tanaman akan terhambat jika kekurangan nitrogen karena unsur ini terdapat pada berbagai senyawa tanaman. Menurut Foth (1990) nitrogen berperan merangsang pertumbuhan batang, cabang dan daun. Nitrogen juga berperan penting dalam pembentukan klorofil daun dan membentuk senyawa organik lain. Gejala kekurangan nitrogen pada tanaman jagung diantaranya penurunan vigor, daun berwarna hijau muda hingga menguning dan kering menjalar sepanjang tulang daun dimulai dari ujung daun (Fageria, 2009). Defisiensi nitrogen umumnya lebih mudah diamati pada daun yang lebih tua karena nitrogen bersifat *mobile*. Nitrogen pada jaringan tua diangkut menuju jaringan muda (Foth, 1990).

Nitrogen merupakan unsur hara yang mudah mengalami pencucian. Tanah berpasir seperti pada lahan pertanian yang terdampak erupsi gunung Kelud memiliki porositas yang buruk sehingga berpotensi mengalami pencucian nitrogen yang tinggi. Nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) tereduksi menjadi nitrit (NO_2^-) yang kemudian menjadi Nitrida (N_2) bebas di udara (Fageria, 2009). Untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, pupuk nitrogen diberikan lebih banyak pada fase vegetatif. Aplikasi pupuk N pada tanah berpasir meningkatkan pencucian NO_3^- (Nyamangara *et al.*, 2003).

Peningkatan dosis pupuk N meningkatkan serapan N, K dan Ca pada jagung (Szulc dan Waligóra, 2010). Hasil jagung tertinggi didapatkan dengan



dosis pemupukan N sebesar 150 kg ha⁻¹ namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan dosis pemupukan N sebesar 100 kg ha⁻¹ (Szulc, 2013).

Produksi tongkol jagung optimal pada dosis pemupukan N sebesar 90 kg ha⁻¹ dan produksi biji dalam satu tongkol yang optimal pada dosis pemupukan N sebesar 120 kg ha⁻¹ (Szulc, Sckzypczak dan Waligóra, 2008). Hasil jagung hibrida paling optimal didapatkan dengan pemupukan N sebanyak 156 hingga 159 kg ha⁻¹ (Chen *et al.*, 2015).

2.3. Manfaat Kompos Kotoran Ayam dan Sapi

Limbah kotoran ternak baik yang berasal dari peternakan ayam maupun sapi dapat digunakan sebagai kompos. Kompos harus memenuhi standar kualitas yang baik dengan parameter pH, KTK dan bahan organik yang terkandung dalam kompos (Wolka dan Melaku, 2015). Kompos kotoran ayam mengandung 1,7% N, 0,26 % P dan 2,38% K (Ewulo *et al.*, 2008) sedangkan kompos kotoran sapi mengandung 2,0% N, 0,8% P dan 0,8% K (Yong *et al.*, 2011). Berbeda dengan Farhad *et al.* (2009) yang menunjukkan kotoran ayam memiliki kandungan N, P dan K yang tinggi serta unsur hara esensial lainnya yang dibutuhkan tanaman.

Aplikasi kompos kotoran ternak dapat meningkatkan konsentrasi N, P, K, Ca dan Mg pada daun. Selain itu, aplikasi kompos kotoran ayam juga meningkatkan daya jerap air tanah dan menurunkan berat isi tanah. Aplikasi pupuk kandang ayam 25 ton ha⁻¹ dapat mengoptimalkan serapan nutrisi tanaman dan hasil tanaman tomat (Ewulo *et al.*, 2008). Aplikasi pupuk kandang ayam secara efektif meningkatkan pH, kandungan C-organik dan ketersediaan P dalam tanah (Ojo *et al.*, 2015). Selain itu, aplikasi kompos kotoran sapi dan kotoran ayam menurunkan tingkat serangan penyakit *gray leaf spot* (bercak kelabu) pada tanaman jagung (Lyimo, Pratt dan Mnyuku, 2012).

Aplikasi kombinasi kotoran ayam dan pupuk NPK meningkatkan pertumbuhan dan hasil jagung dibandingkan pemupukan NPK maupun kotoran ayam secara tunggal (Adeniyana dan Ayoola, 2006). Aplikasi kompos dan kotoran ayam meningkatkan kemantapan agregat dan sifat kimia tanah. Selain itu, aplikasi kompos meningkatkan kandungan bahan organik, N, pH, KTK, dan konsentrasi Ca dalam tanah (Forge *et al.*, 2016).



Bahan organik tanah yang hilang dapat dikembalikan dengan menerapkan praktek pengelolaan konservasi seperti tanpa olah tanah, pertanian organik, penggunaan *covercrop*, mulsa, aplikasi pupuk kandang dan kompos (Blum, 2013). Peningkatan kandungan bahan organik tanah dengan aplikasi kotoran ternak secara positif berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimia tanah. Aplikasi kotoran ternak dan pengolahan tanah dalam memberikan hasil yang efektif terhadap peningkatan hasil tanaman jagung serta sifat fisik dan kimia tanah (Qing-feng *et al.*, 2016). Bahan organik merupakan sumber unsur hara makro dan mikro. Aplikasi bahan organik meningkatkan pertumbuhan, hasil dan efisiensi serapan unsur hara tanaman jagung (Ogbonna *et al.*, 2012). Aplikasi bahan organik meningkatkan daya jerap air, kandungan karbon dan N-total pada tanah serta meningkatkan serapan N dan P tanaman. Aplikasi bahan organik meningkatkan bobot biomassa dan hasil panen tanaman jagung hingga 10% (Agegnehu *et al.*, 2016).

Pengaplikasian bahan organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara oleh tanaman (Fageria, 2009). Aplikasi bahan organik dapat meningkatkan hasil tanaman jagung hingga 1,5 kali lipat. Aplikasi bahan organik berupa pupuk kandang dapat meningkatkan hasil panen tanaman jagung 6,6 ton ha⁻¹ hingga 13,3 ton ha⁻¹ dibandingkan tanpa aplikasi pupuk kandang yang berkisar antara 2,6 ton ha⁻¹ hingga 7,6 ton ha⁻¹. Aplikasi pupuk kandang ayam juga meningkatkan serapan N sebesar 2,4 g tanaman⁻¹ jagung dibandingkan serapan N tanaman tanpa aplikasi pupuk kandang sebesar 1,3 g tanaman⁻¹. (Zhihui *et al.*, 2016).

2.4. Syarat Tumbuh Tanaman Jagung

Di Indonesia, jagung (*Zea mays* L.) umumnya ditanam pada daerah dataran rendah, sedang dan tinggi. Tanaman jagung sangat cocok dibudidayakan pada daerah yang sejuk dan dingin berkisar 23-27°C dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi, curah hujan 100-200 mm bulan⁻¹. Jagung baik ditanam pada kondisi tanah dengan pH 5,5-7,0 dengan pengairan dan bahan organik yang cukup (Rukmana, 1997). Menurut Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (2012), tanaman jagung menghendaki tanah yang bersolum dalam, tanah halus



hingga agak halus, drainase agak cepat sampai baik, tingkat kesuburan sedang, kandungan C-organik lebih dari 0,4% dan pH tanah optimal pada 5,8-7,8 (Lampiran 7.).

Pemupukan merupakan cara untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman. Pemupukan jagung seluas 1 ha dengan dosis rekomendasi pemupukan sebanyak 150 kg N, 160 kg P₂O₅, 150 kg K₂O, 40 MgO, 20 kg S, 2,6 kg B menghasilkan 8,5 ton. Pada hasil 4,5 ton ha⁻¹ jagung hibrida diperlukan pemupukan ha⁻¹ sebanyak 80 kg N, 50 kg P₂O₅, 60 kg K₂O, 20 kg MgO, 10 kg S dan 2,6 kg B. Selain itu pada hasil 4,5 ton ha⁻¹, unsur hara yang terserap oleh tanaman sebanyak 115 kg ha⁻¹ N, 20 kg ha⁻¹ P, 75 kg ha⁻¹ K, 4 kg ha⁻¹ Ca, 16 kg ha⁻¹ Mg dan 12 kg ha⁻¹ S (Dierolf, Fairhurst dan Mutert, 2001). Dalam 7 ton ha⁻¹ biomassa jagung (batang dan daun), unsur hara yang terserap oleh tanaman sebanyak 72 kg ha⁻¹ N, 14 kg ha⁻¹ P, 93 kg ha⁻¹ K, 17 kg ha⁻¹ Ca dan 13 kg ha⁻¹ Mg (Sanchez, 1992).

2.5. Ketersediaan dan Serapan Ca, Mg dan S

2.5.1. Kalsium (Ca)

Unsur kalsium diserap dalam bentuk ion Ca²⁺ dan diperlukan oleh tanaman dalam jumlah relatif banyak (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Kalsium adalah kation yang berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Ketika ketersediaan Ca²⁺ rendah, kualitas dan hasil panen tidak optimal dan tergantung pada spesies tanaman serta kondisi lingkungan (Fageria, 2009).

Kalsium merupakan unsur hara makro sekunder. Kalsium adalah sama pentingnya dengan N, P, K dan nutrisi lainnya untuk pertumbuhan tanaman yang sehat. Kalsium merupakan unsur konstituen kalsium pektat, yang ditemukan di lamella tengah dinding sel (Fageria, 2009). Kalsium pada tanaman berperan dalam pembelahan sel, pengaturan permeabilitas sel serta pengaturan tata air sel, perkecambahan biji, perkembangan benang sari dan perkembangan bintil akar tanaman legum. Berbeda dengan unsur hara primer N, P dan K, unsur Ca tidak dapat ditranslokasikan dari jaringan tua ke jaringan muda (*immobile*) (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Kekurangan kalsium dalam tanaman yang paling umum pada tanah masam yakni pencucian Ca²⁺ keluar dari perakaran sehingga tidak tersedia bagi tanaman.



Selain itu, sebagian besar kalsium hilang dari sistem tanah-tanaman oleh erosi tanah dan pengangkutan hasil. Tanah rendah kalsium ditunjukkan dengan nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah dan nilai pencucian yang tinggi. Pada kondisi tersebut, kandungan Al^{3+} menjadi tinggi dan dapat beracun bagi tanaman (Fageria, 2009). Ketersediaan Ca berkaitan dengan kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa-basa (Ca, Mg, K dan Na). KTK dan KB yang rendah menceminkan ketersediaan Ca yang rendah (Hanafiah, 2012).

Kalsium melimpah di tanah dengan pH netral dan basa (Fageria, 2009). Menurut Hanafiah (2012), ketersediaan Ca tinggi pada pH 7,0-8,5. Dalam kondisi masam, ion Ca^{2+} digantikan oleh ion Al^{3+} dan H^+ dari kompleks pertukaran. Kandungan Ca^{2+} tanah tergantung pada bahan induknya, tingkat pelapukan dan aplikasi kalsium melalui pengapuran dan pupuk. Konsentrasi larutan tanah Ca^{2+} ditentukan oleh KTK, sifat ikatan pertukaran, pH, jenis tanah dan tingkat anion dalam larutan. Apabila pH meningkat, adsorpsi Ca dan Mg meningkat, terutama di tanah yang kaya zat besi dan aluminium oksida (Fageria, 2009).

Kalsium berupa kapur ditambahkan ke tanah masam untuk menaikkan pH. Selain untuk menaikkan pH, Pengapuran juga efektif untuk memasok kebutuhan Ca^{2+} tanaman (Barber, 1995). Kandungan kalsium dari tanah masam juga dapat ditingkatkan dengan aplikasi gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Pencampuran gypsum dengan kapur dapat meluluhkan Ca^{2+} dengan ion SO_4^{2-} tanah dan meningkatkan pertumbuhan sistem akar yang lebih optimal. Aplikasi Ca^{2+} dapat dilakukan melalui pengapuran (21-32% Ca), aplikasi gypsum (23% Ca), pupuk yang mengandung kalsium seperti kalsium nitrat (19% Ca), Superfosfat (14 sampai 20% Ca) dan pupuk kandang (0,5-2,3%) (Fageria, 2009).

Defisiensi Ca^{2+} muncul pertama kali di jaringan baru. Jaringan baru perlu Ca^{2+} untuk pembentukan dinding sel (Fageria, 2009). Rosmarkam dan Yuwono (2002) menyebutkan bahwa defisiensi kalsium tampak pada organ muda dan ujung tanaman. Tunas tidak tumbuh sempurna atau bahkan tidak tumbuh sama sekali dan perkembangan daun yang tidak teratur.

Efisiensi penggunaan kalsium bervariasi terhadap spesies tanaman (Tabel 1). Rata-rata sekitar 45% dari kalsium translokasi ke biji pada serealia dan sisanya pada biomassa tanaman (Sanchez, 1992). Pengembalian sisa tanaman ke dalam



tanah dapat mendaur ulang sejumlah besar kalsium untuk musim tanam berikutnya. Ion-ion yang sangat menghambat serapan Ca adalah H^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} dan NH_4^+ (Fageria, 2009; Barber, 1995). Ammonium diserap lebih mudah dibandingkan Ca. Penghambatan pertumbuhan sorgum oleh NH_4^+ berkaitan erat dengan penurunan pH larutan nutrisi karena terjadinya serapan NH_4^+ (Fageria, 2009).

Tabel 1. Kadar Serapan Hara pada Beberapa Jenis Tanaman Pangan (Foth, 1990; Hanafiah, 2012)

Tanaman	Unsur Hara Terserap (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Padi	1,59	0,28	1,26	0,24	0,18	-
Jagung	2,55	0,42	1,66	0,48	0,40	0,26
Kacang Tanah	5,83	0,48	2,75	1,37	0,06	0,66
Kedelai	7,77	0,81	2,85	1,52	0,81	0,45

2.5.2. Magnesium (Mg)

Magnesium (Mg^{2+}) adalah makronutrien penting untuk semua pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Ketersediaan yang cukup dalam tanah sangat penting untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Mg diserap tanaman dalam bentuk ion Mg^{2+} . Mg termasuk unsur *mobile* dan penting dalam penyusunan klorofil. Mg berperan terhadap metabolisme nitrogen. Apabila serapan Mg meningkat, kadar protein dalam tanaman juga akan meningkat. Selain itu, Mg juga berperan dalam mengaktifkan enzim metabolisme karbohidrat dan sebagai katalisator. Fungsi Mg^{2+} pada tanaman banyak dan yang paling penting adalah peran sebagai enzim aktivator dan sebagai komponen molekul klorofil. Magnesium merupakan konstituen mineral dari klorofil tanaman, sehingga secara aktif terlibat dalam fotosintesis (Fageria, 2009). Pengelolaan unsur Mg dan unsur hara lain dalam memenuhi kebutuhan tanaman yang seimbang akan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit (Huber dan Jones, 2013).

Identik dengan Ca, ketersediaan Mg berkaitan dengan kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa. KTK dan kejenuhan basa yang rendah menceminkan ketersediaan Mg yang rendah (Hanafiah, 2012). Ketersediaan dan dinamika Mg^{2+} sama dengan kalsium. Namun, kebutuhan Mg^{2+} untuk pertumbuhan tanaman lebih kecil dibandingkan kalsium. (Fageria, 2009).

Ketersediaan Mg untuk tanaman dipengaruhi beberapa faktor yakni curah hujan, waktu aplikasi pupuk, organisme tanah, iklim lokasi, jenis tanah, ketersediaan unsur hara lain terutama kation-kation serta sistem pertanian yang digunakan seperti pola tanam dan rotasi tanam. Penggunaan bahan organik dan pupuk yang digunakan juga berpengaruh terhadap ketersediaan Mg (Mikkelsen, 2010).

Ketersediaan Mg tinggi pada pH 7,0-8,5 dan rendah pada pH < 7,0 atau > 8,5 (Hanafiah, 2012; Agegnehu *et al.*, 2016).

Mg terkandung dalam dolomit, illit, montmorilonit, klorit dan magnesit (Barber, 1995). Selain itu, bahan organik juga merupakan sumber Mg (Gransee dan Fuhrs, 2013). Sumber utama Mg²⁺ selain dari pengapuran yakni dari pupuk, sisa tanaman, pupuk kandang atau hijau dan pembebasan oleh pelapukan bahan induk. Penurunan konsentrasi Mg dalam tanah dapat melalui penyerapan oleh tanaman dan pencucian. Selain itu, beberapa bagian dari Mg²⁺ juga tetap dalam sistem tanah-tanaman oleh koloid tanah dan mikroorganisme (Fageria, 2009).

Seperti defisiensi kalsium (Ca²⁺), kekurangan magnesium dalam produksi tanaman sering terjadi pada tanah masam yang sangat lapuk. Defisiensi Mg²⁺ dapat juga terjadi pada tanah bertekstur kasar (bepasir) dari daerah lembab dengan kapasitas tukar kation rendah. Gejala kekurangan unsur ini muncul pertama kali pada jaringan tua. Gejala defisiensi Mg²⁺ ditandai dengan klorosis interveinal, daun menjadi rapuh dan tepi daun mengkerut. Kekurangan magnesium umum terjadi di tanah masam yang sangat lapuk dengan kapasitas tukar kation rendah. Magnesium dari sistem tanah-tanaman berkurang akibat pemindahan tanaman, erosi tanah dan pencucian (Fageria, 2009). Defisiensi Mg ditunjukkan adanya klorosis pada tulang daun terutama daun tua, daun menjadi kecil dan rapuh serta tepian daun yang menggulung (Rosmarkam dan Yuwono, 2002; Gransee dan Fuhrs, 2013).

Ketersediaan dan serapan antar kation-kation (K, Ca, Mg dan Na) saling mempengaruhi satu sama lain. Peningkatan konsentrasi Ca dapat meningkatkan serapan Mg dan K pada padi sebesar 66% (Fageria, 2009). Peningkatan dosis pupuk K meningkatkan ketersediaan K dan Mg pada tanah (Seggewiss dan Jungk, 1988). Konsentrasi Mg²⁺ pada larutan tanah lebih tinggi dari K⁺, tetapi tingkat



penyerapan unsur Mg^{2+} lebih rendah dari K^+ dan Ca^{2+} (Barber, 1995; Fageria, 2009).

Kadar Mg 0,5% lebih rendah dibandingkan K dan Ca dalam jaringan tanaman. Serapan Mg akan tinggi jika ketersediaan hara K rendah dan juga sebaliknya (Gransee dan Führs, 2013). Serapan Mg^{2+} serta K^+ secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi Ca^{2+} . Pada konsentrasi Ca terendah 6,23 μM , tingkat serapan K^+ sekitar 6,5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat penyerapan Mg^{2+} . Konsentrasi Ca^{2+} tertinggi 748 μM , tingkat penyerapan K^+ sekitar 11 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat penyerapan Mg^{2+} . Tingkat penyerapan lebih tinggi dari kation monovalen seperti K^+ dan NH_4^+ dibandingkan dengan kation divalen seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} . (Fageria, 2009)

2.5.3. Belerang (S)

Sulfur (S) merupakan unsur penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan tergolong sebagai unsur hara makro (Fageria, 2009). Sulfur (S) merupakan unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman yang terdapat pada asam amino tanaman (Abdallah *et al.*, 2010). S merupakan unsur hara yang paling banyak diserap setelah N, P dan K. Rata-rata serapan S jagung hampir sama dengan jumlah serapan P (Ali *et al.*, 2013). Tanaman menyerap S dalam bentuk SO_4^{2-} dari tanah dan SO_2 dari udara. Di dalam tanah, sebagian sulfur dalam bentuk senyawa organik dan sebagian lainnya dalam bentuk anorganik. Mineral sulfur dalam tanah antara lain Na_2SO_4 , $MgSO_4$, FeS , ZnS dan H_2S (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Masalah pada tanah berpasir adalah ketersediaan S yang rendah sehingga mudah mengalami defisiensi (Sanchez, 1992). Hal ini berkaitan dengan bentuk S dalam tanah sebagai anion SO_4^{2-} (Fageria, 2009). Selain itu, tanah yang tinggi kandungan oksida Fe dan Al serta kandungan bahan organik yang rendah juga dapat menyebabkan defisiensi S pada tanaman. Ketersediaan unsur S meningkat pada $pH > 6,0$ dan menurun pada $pH < 6,0$ (Hanafiah, 2012). Ion sulfat (SO_4^{2-}) memiliki muatan negatif, dapat bergerak dengan mudah dengan air tanah dan mudah tercuci dari tanah berpasir dengan kondisi curah hujan yang tinggi. Kapasitas tanah untuk menyerap SO_4^{2-} tergantung pada sejumlah sifat fisik dan kimia tanah. Faktor yang mempengaruhi adsorpsi SO_4^{2-} termasuk pH, jenis kation,





kehadiran anion lain, Al^{3+} dan Fe^{3+} , kandungan C organik, kandungan liat dan jenis horizon tanah. Jumlah SO_4^{2-} ditahan atau diserap oleh tanah meningkat dengan semakin tingginya kandungan liat (Fageria, 2009).

Sulfur berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti aktivasi enzim, pembentukan klorofil, kematangan biji dan buah, pembentukan nitrogenase, meningkatkan kandungan protein biomassa tanaman, meningkatkan kualitas tanaman sereal, meningkatkan kandungan minyak dari tanaman biji penghasil minyak, meningkatkan toleransi kekeringan pada tanaman, membantu dalam pembentukan glukosida yang memberikan bau khas dan rasa untuk bawang merah dan bawang putih, pembentukan vitamin dan sintesis beberapa hormon dan glutathione, reaksi oksidasi-reduksi dan meningkatkan toleransi terhadap keracunan logam berat pada tanaman (Fageria, 2009). S berperan dalam pembentukan protein (Brady, 1984), polisakarida, vitamin dan hormon (Stevenson dan Cole, 1999).

Faktor yang mempengaruhi defisiensi sulfur menurut Fageria (2009) diantaranya adalah rendahnya kandungan bahan organik tanah, rendahnya tingkat mineralisasi bahan organik karena lingkungan tanah yang tidak menguntungkan, menipisnya cadangan tanah karena budidaya intensif, penggunaan kultivar unggul yang menyerap jumlah yang lebih besar dari S dari tanah, aplikasi pupuk bebas S, penguapan dan pencucian terutama pada tanah berpasir.

Kekurangan sulfur tidak hanya mengurangi hasil panen tetapi juga mengurangi nilai gizi atau kualitas biji-bijian makanan. Kekurangan Sulfur biasanya dikaitkan dengan tanah yang rendah S, yang dihasilkan dari pelapukan ekstrim dan pencucian sulfat. Ion SO_4^{2-} bermuatan negatif dan dapat tercuci dari tanah lapisan atas lapisan ke lapisan yang lebih dalam, khususnya pada tanah berpasir. (Fageria, 2009)

Defisiensi S ditunjukkan dengan pertumbuhan tanaman yang lambat dan penurunan hasil baik secara kuantitas maupun kualitas (Kaya, Küçükyumuk dan Erdal, 2009). Menurut Brady (1984) gejala defisiensi sulfur mirip dengan nitrogen. Namun, gejala defisiensi N muncul pertama kali dalam daun yang lebih tua sedangkan gejala defisiensi sulfur pertama kali muncul di daun muda. Tanaman yang kekurangan sulfur pertumbuhannya terhambat, pucat hijau ke

kuning dan batang memanjang namun tipis dan klorosis antar vena. Menurut Hardjowigeno (2003), kekurangan S pada tanaman ditandai dengan pangkal daun berwarna kuning seperti kekurangan N, kerdil dan pematangan lambat.

Kekurangan Sulfur dapat diatasi dengan mudah dengan aplikasi pupuk kimia yang mengandung S. Penggantian amonium sulfat dan superfosfat tunggal dengan pupuk seperti urea, mono dan diamonium fosfat dan trisuperfosfat yang semuanya rendah sulfur akan menyebabkan defisiensi sulfur (Fageria, 2009). Sumber utama ketersediaan sulfur untuk tanaman selain dari pupuk adalah bahan organik, mineral tanah, air irigasi dan gas sulfur di atmosfer (Jones, 1982).

Mineralisasi S paling optimal terjadi pada tanah dengan pH 5,5–7,5 (Stevenson dan Cole, 1999). Tingkat S penting dalam tanah adalah di kisaran 7 sampai 10 mg kg⁻¹, tergantung pada spesies tanaman dan sistem tanam yang digunakan (Fageria, 2009). Pengapuran meningkatkan konsentrasi SO₄²⁻ dalam larutan tanah. Selain itu, mineralisasi bahan organik juga meningkatkan SO₄²⁻. Pelepasan SO₄²⁻ dari Fe²⁺ dan Al³⁺ meningkat pada pH yang lebih tinggi (Bohn, McNeal dan O'Connor, 1985; Fageria, 2009). Kebutuhan tanaman terhadap S bervariasi sekitar 10-60 kg S ha⁻¹ tergantung pada spesies tanaman, jenis tanah dan praktek pengelolaan tanaman (Fageria, 2009).

Kebutuhan S tanaman harus ditingkatkan dengan adanya peningkatan N (Fageria, 2009). Menurut Stevenson dan Cole (1999), hubungan hara S dengan N yang saling berlawanan. Penambahan N dapat menyebabkan menurunnya kadar S pada tanaman. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan N dan S tidak dapat bersamaan. Penambahan CaCO₃ akan meningkatkan ketersediaan S dalam tanah. Beberapa sumber S yang paling penting adalah gipsium, superfosfat tunggal, amonium sulfat dan kalium sulfat (Stevenson dan Cole, 1999). Banyak dari fraksi S berbentuk organik pada tanah sehingga perlu adanya proses mineralisasi agar tersedia bagi tanaman. Mempertahankan kandungan bahan organik dalam tanah merupakan cara yang efektif dalam mencegah defisiensi S di tanaman lapangan (Fageria, 2009).



III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April hingga Desember 2016. Penelitian dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Pembuatan kompos kotoran ternak dilakukan di UPT Kompos Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Analisis sampel dilakukan di laboratorium Kimia, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang dibutuhkan untuk pembuatan kompos adalah kotak kayu, sekop dan grinder. Alat untuk pengambilan sampel tanah adalah cangkul, sekop dan karung. Alat untuk perawatan dan pengamatan pertumbuhan tanaman adalah gembor, timbangan, penggaris dan meteran. Alat untuk analisis kimia tanah, pupuk dan tanaman menggunakan peralatan laboratorium.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

a. Tanah

Tanah sebagai media tanam. Tanah yang digunakan adalah tanah terdampak erupsi Gunung Kelud yang diambil dari Desa Trisulo, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri pada kedalaman 0-20 cm.

b. Benih tanaman jagung

Benih tanaman jagung (*Zea mays*) digunakan sebagai bahan tanam adalah jagung hibrida varietas Pioneer 21 (Lampiran 8).

c. Kompos kotoran ternak

Bahan pembuatan kompos yaitu kotoran ayam, kotoran sapi, EM4, molase dan air. Kebutuhan kompos dalam penelitian ini yakni 12,26 ton ha⁻¹ kompos kotoran ayam dan 18,73 ton ha⁻¹ kompos kotoran sapi.

d. Pupuk

Sumber pupuk N adalah Urea (46% N) dan ZA (21% N dan 24% S), pupuk P adalah SP36 (36% P₂O₅) dan pupuk K (60% K₂O) adalah KCl. Pupuk

SP36 dan KCl digunakan sebagai pupuk dasar sebelum tanam. Pupuk Urea digunakan sebagai perlakuan pupuk N. Sumber kalsium didapatkan dari pupuk Calcium Super (40% CaCO₃ dan 22% MgO). Kebutuhan pupuk didapatkan dari perhitungan dosis pupuk rekomendasi dan kadar unsur hara masing-masing jenis pupuk (Lampiran 3). Kebutuhan pupuk dalam penelitian ini yakni 288 kg ha⁻¹ urea, 250 kg ha⁻¹ KCl, 444,44 kg ha⁻¹ SP36, 83,3 kg ha⁻¹ ZA, 77,5 kg ha⁻¹ Calcium Super dan 2,6 kg ha⁻¹ H₃BO₃.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian dilakukan dengan 2 percobaan penelitian yakni percobaan dengan tanaman dan percobaan inkubasi (Lampiran 6). Setiap percobaan terdiri dari 5 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan didasarkan pada dosis urea dan kompos dengan dosis aplikasi 50% dan 100% (Tabel 2).

Tabel 2. Perlakuan Penelitian

Perlakuan	Dosis (kg ha ⁻¹)		
	U	A	S
100% U	288	0	0
100% A	0	12262,9	0
100 % S	0	0	18729,9
50% U + 50% A	144	6131,45	0
50% U + 50% S	144	0	9364,95

Keterangan: U: urea; A: kompos kotoran ayam; S: kompos kotoran sapi

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Pembuatan kompos kotoran ayam dan sapi

Pembuatan kompos dimulai dengan persiapan bahan yaitu kotoran ayam dan kotoran sapi yang telah dikering-anginkan, EM-4 dan molase. Kotoran ayam dan kotoran sapi dengan berat masing-masing 50 kg ditambahkan air campuran yang terdiri dari 250 ml EM-4, 250 ml molase dan 2 liter air. Bahan-bahan tersebut diaduk hingga tercampur rata dan dimasukkan ke dalam kotak kayu berukuran 60x50x80 cm. Kotak kayu ditutup dengan terpal lalu dibiarkan selama 3 minggu dan pada tiap minggu dilakukan pengecekan dan pengadukan untuk meningkatkan aerasi oksigen. Proses pengomposan ditandai dengan peningkatan suhu pada 50-70°C. Kompos dianggap telah dapat digunakan apabila suhu

berangsur-angsur menurun dan sama dengan suhu lingkungan. Kompos yang baik memiliki ciri berwarna coklat gelap hingga hitam dengan struktur seperti tanah, suhu kompos kurang lebih sama dengan suhu lingkungan (suhu ruang) dan tidak berbau. (Syekhfani, Saputra dan Kurniawan, 2016)

3.4.2. Pengambilan sampel tanah

Tanah diambil dari Desa Trisulo, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri. Tanah diambil hingga kedalaman 20 cm kemudian diayak menggunakan ayakan 2 mm. Tanah dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam polybag 10 kg untuk pengamatan tanaman jagung untuk mengamati serapan Ca, Mg, S serta polybag 1 kg sebagai inkubasi.

3.4.3. Analisis Dasar

Kompos kotoran ternak yang telah dibuat dan sampel tanah dasar dianalisis di Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya untuk mengetahui kandungan unsur haranya (Lampiran 1).

3.4.4. Pemupukan dan Perlakuan Pupuk

Pemupukan dilakukan dengan dosis pupuk rekomendasi sebagai pupuk dasar. Dosis rekomendasi pemupukan tanaman jagung dalam 1 ha sebanyak 150 kg N, 160 kg P₂O₅, 150 kg K₂O, 20 kg S, 2,6 kg B (Dierolf *et al.*, 2001) dan 31 kg Ca (Sanchez, 1992). Pupuk urea dan kompos diberikan sesuai dengan perlakuan penelitian yakni 50% dan 100% (Lampiran 3, 4 dan 5).

3.4.5. Penanaman

Benih jagung dipilih yang seragam, kemudian direndam selama satu malam. Benih yang digunakan adalah yang tenggelam dalam air. Benih jagung ditanam pada kedalaman 5 cm sebanyak 3 benih setiap polybag. Pada 7 HST dipilih satu tanaman terbaik yang seragam pada setiap polybag.

3.4.6. Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman yang dilakukan yakni penyiraman dan penyiangan. Penyiraman dilakukan dengan air bebas ion sampai jumlah kapasitas lapang yakni 1900 ml setiap 10 kg tanah (Lampiran 9). Penyiangan dilakukan apabila diperlukan.



3.4.7. Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan tanaman dan tanah. Pengamatan tanaman meliputi tinggi tanaman dan jumlah daun yang dilakukan pada 2, 4 dan 8 MST (minggu setelah tanam). Pemanenan tanaman dilakukan pada saat terbentuknya bunga jantan (vegetatif maksimum) pada 10 MST dengan cara memotong pangkal tanaman 1 cm dari permukaan tanah. Pengamatan berat kering dilakukan dengan cara dioven pada suhu 65°C selama 6 x 24 jam kemudian ditimbang. Berat kering tanaman dianalisis untuk mengetahui kadar hara Ca, Mg dan S tanaman. Serapan hara tanaman didapatkan dari perhitungan kadar hara tanaman dikalikan berat kering. Pengamatan hara tanah meliputi Ca-dd, Mg-dd dan SO₄²⁻ dilakukan pada 2, 4 dan 8 MSI (minggu setelah inkubasi) (Tabel 3).

Tabel 3. Parameter dan Waktu Pengamatan

Parameter	Metode	Waktu
Tanah		
Ca-dd	1 M NH ₄ Oac, pH 7, Flamephotometer	2, 4 dan 8 MSI
Mg-dd	1 M NH ₄ Oac, pH 7, Flamephotometer	2, 4 dan 8 MSI
SO ₄ ²⁻	Turbidimetri	2, 4 dan 8 MSI
Tanaman		
Tinggi	Pengukuran	2, 4 dan 8 MST
Jumlah daun	Perhitungan	2, 4 dan 8 MST
Berat kering (BK)	Oven; Perhitungan	Panen
Kadar Ca	Pengabuan Basah, 1 M NH ₄ Oac, pH 7	Panen
Kadar Mg	Pengabuan Basah, 1 M NH ₄ Oac, pH 7	Panen
Kadar SO ₄ ²⁻	Turbidimetri	Panen
Serapan Hara	Perhitungan (berat kering x kadar hara)	Panen

3.4.8. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi SPSS v2.2 dan MS. Excel. *Analysis of Variance* (ANOVA) berdasarkan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Apabila didapatkan hasil yang signifikan maka dilanjutkan dengan uji jarak berganda DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dan korelasi antar variabel pengamatan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Kompos Terhadap Sifat Kimia Tanah

4.1.1. Pengaruh Kompos Terhadap pH dan KTK Tanah

pH dan KTK tanah menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah. Aplikasi kompos secara signifikan meningkatkan pH dan KTK tanah pada 8 MSI. Namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada 2 dan 4 MSI (Lampiran 10). Pada 8 MSI, pH dan KTK tanah tertinggi masing-masing ditunjukkan perlakuan A2 dan A3, sedangkan pH dan KTK tanah terendah pada A1 (Tabel 4).

Tabel 4. Pengaruh Aplikasi Kompos Terhadap pH dan KTK Tanah (Agustin, 2017)

Perlakuan	pH (H ₂ O)			KTK (me 100g ⁻¹)		
	Waktu Pengamatan (MSI)			Waktu Pengamatan (MSI)		
	2	4	8	2	4	8
A1	5,35	5,65	4,57 b	11,06	7,20	9,69 b
A2	5,94	6,21	5,80 a	9,35	7,26	10,73 ab
A3	6,02	6,11	5,75 a	12,16	6,92	11,75 a
A4	5,93	5,90	5,48 a	11,75	6,92	11,39 a
A5	5,82	5,84	5,45 a	10,76	5,53	11,41 a

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada Uji DMRT taraf 5% ($P < 0.05$).
Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%.

Aplikasi kompos dapat meningkatkan pH tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hardjowigeno (2003) bahwa aplikasi bahan organik dapat meningkatkan KTK tanah, meningkatkan pH tanah yang masam (menetralkan Al dengan membentuk kompleks Al-organik) dan meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui khelat unsur hara dengan bahan organik. Penelitian Lyimo *et al.* (2012) menunjukkan bahwa aplikasi kompos kotoran ayam dan kotoran sapi meningkatkan pH dibandingkan aplikasi pupuk anorganik. Forge *et al.* (2016) menunjukkan aplikasi kompos meningkatkan pH tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik. Aplikasi kombinasi urea-biokompos meningkatkan pH tanah dibandingkan tanpa aplikasi biokompos pada bulan ketiga setelah aplikasi (Nurhidayati, Basit dan Sunawan, 2013). Aplikasi kompos meningkatkan kelas kesesuaian lahan untuk tanaman jagung dari S3 menjadi S2 (Lampiran 7).

Pada 8 MSI, pH tanah mengalami penurunan. Aplikasi bahan organik pada tanah memberikan pengaruh yang beragam. Aplikasi bahan organik dapat meningkatkan pH tanah. Di sisi lain, aplikasi bahan organik juga dapat menurunkan pH tanah dengan dihasilkannya gas CO₂ yang bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H₂CO₃). Asam karbonat dapat terurai menghasilkan HCO₃⁻ + H⁺ (Hanafiah, 2012).

Aplikasi bahan organik juga meningkatkan nilai KTK tanah. Bahan organik yang diaplikasikan dapat membentuk humus. Humus memiliki kapasitas tukar kation yang tinggi, bahkan lebih tinggi dari mineral liat (Hardjowigeno, 2003). Agegnehu *et al.* (2015) menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi kompos dan pupuk anorganik meningkatkan KTK tanah dibandingkan tanpa aplikasi kompos. Hal serupa juga didapatkan dalam penelitian Lyimo *et al.* (2012) yang menunjukkan bahwa aplikasi kompos kotoran ayam maupun kotoran sapi secara signifikan meningkatkan KTK tanah sebesar 37-47% dibandingkan pemupukan secara anorganik.

KTK tanah pada 4 MSI mengalami penurunan. Hal ini berkaitan dengan penentuan jumlah kation dengan larutan penyangga NH₄Oac pada pH 7 sedangkan larutan tanah cenderung masam. Selain itu, 70% muatan kation tanah vulkanik cenderung berubah-ubah (Sanchez, 1992). Menurut Hardjowigeno (2003), penentuan KTK tanah yang memiliki pH <7 dengan larutan penyangga NH₄Oac pH 7 menunjukkan nilai KTK tanah yang lebih besar dari nilai KTK tanah yang sebenarnya. Hal tersebut dikarenakan adanya muatan-muatan yang tergantung pada kondisi pH tanah. Tanah dengan pH masam, jerapan kation tanah didominasi oleh H⁺ dan Al³⁺.

4.1.2. Pengaruh Kompos Terhadap Ca-dd Tanah

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi urea dan kompos berpengaruh sangat signifikan terhadap peningkatan Ca-dd dalam tanah terdampak erupsi gunung Kelud pada pengamatan pada 8 MSI. Pada 2 MSI, perlakuan tidak menunjukkan hasil yang signifikan dengan perlakuan lainnya (Lampiran 10). Perlakuan terbaik berbeda pada 4 dan 8 MSI. Pada 4 MSI, aplikasi urea berpengaruh signifikan terhadap peningkatan Ca-dd tanah dibandingkan aplikasi kompos. Pada 8 MSI, aplikasi kombinasi urea dan kompos menunjukkan



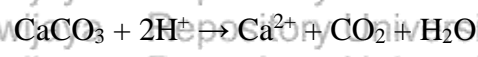
perbedaan signifikan terhadap Ca-dd tanah. Pengaruh aplikasi kompos terhadap Ca-dd tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Ca-dd Tanah

Perlakuan	Ca-dd (ppm)		
	2 MSI	4 MSI*	8 MSI**
A1	433,37 r	752,85 a r	410,48 ab r
A2	455,35 r	604,02 b r	384,07 bc sr
A3	424,53 r	679,76 ab r	350,93 c sr
A4	438,25 r	635,11 b r	434,62 a r
A5	404,00 r	664,09 b r	444,16 a r

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada Uji DMRT taraf *5% (P<0.05) dan **1% (P<0.01). Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%. Kriteria sifat kimia tanah sr: sangat rendah; r: rendah; s: sedang (Balai Penelitian Tanah, 2009).

Berdasarkan waktu pengamatan, rata-rata laju mineralisasi Ca dari seluruh penelitian mengalami peningkatan pada 4 MSI. Mineralisasi Ca meningkat dari 404-438,25 ppm pada 2 MSI menjadi 604,02-752,85 ppm pada 4 MSI. Hal ini berkaitan dengan pemupukan 31 kg Ca ha⁻¹ satu minggu sebelum tanam pada seluruh perlakuan (Lampiran 3) mempengaruhi nilai Ca-dd dalam tanah terutama pada 4 MSI. Barber (1995) menyatakan bahwa aplikasi CaCO₃ meningkatkan Ca-dd tanah. CaCO₃ mengalami reaksi dengan gugus H⁺ dalam tanah dan menghasilkan Ca²⁺, karbon dioksida dan air.



Nilai Ca-dd tertinggi pada 4 MSI ditunjukkan pada perlakuan A1 dengan kriteria rendah. Meskipun demikian, seluruh perlakuan menunjukkan kriteria Ca-dd tanah yang rendah. Aplikasi kompos kotoran sapi meningkatkan ketersediaan Ca tanah. Hasil analisis dasar menunjukkan kadar Ca kompos kotoran sapi sebesar 1,13% sehingga setiap aplikasi 10 ton ha⁻¹ kompos kotoran sapi setara dengan pemupukan Ca sebesar 113 kg ha⁻¹.

Nilai Ca-dd tanah seluruh perlakuan pada 2 MSI menurun dibandingkan hasil analisis dasar tanah (Lampiran 1). Selain itu, laju mineralisasi Ca juga menurun menjadi 350,93-444,16 ppm pada 8 MSI. Rosmarkan dan Yuwono (2002) menyatakan bahwa ketersediaan Ca dalam tanah dapat dimanfaatkan oleh mikroba tanah. Ca-dd dalam tanah juga membentuk ikatan dengan P (Ca-P)



(Fageria, 2009), dijerap oleh mineral liat dan bahan organik (Rosmarkan dan Yuwono, 2002). Mineral liat Al-silikat alofan sering ditemukan pada abu gunung api (Hardjowigeno, 2003). Menurut Khusrizal (2015), aplikasi bahan organik juga membentuk senyawa kompleks khelat yaitu asam-asam organik bermuatan negatif yang dapat menjerap unsur kation. Kation polivalen seperti Ca^{2+} terikat pada kompleks khelat (Hardjowigeno, 2003). Namun, penelitian ini tidak mengamati adanya pengaruh mikroba dan senyawa kompleks tanah terhadap Ca-dd tanah.

Pada 8 MSI, nilai Ca-dd tertinggi ada pada perlakuan A5. Perlakuan A5 tidak berbeda dengan A4 dan A1 dengan kriteria yang sama yakni rendah. Perlakuan A2 dan A3 menurun dari kriteria rendah menjadi sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pemupukan N berupa urea dan kompos kotoran ayam maupun sapi memberikan nilai Ca-dd yang lebih tinggi pada 8 MSI dibandingkan dengan aplikasi 100% N berupa kompos. Dalam penelitian Agegnehu *et al.* (2015), ditunjukkan bahwa aplikasi kombinasi 25 ton ha^{-1} kompos dan pupuk rekomendasi (anorganik) meningkatkan nilai Ca-dd tanah menjadi 162 ppm dibandingkan aplikasi pupuk anorganik secara tunggal sebesar 136 ppm.

Aplikasi kompos meningkatkan nilai Ca-dd dalam tanah dibandingkan pemupukan konvensional dari 0,58 me 100g^{-1} menjadi 0,75 me 100g^{-1} (Palanivell *et al.*, 2013). Kompos dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, N, pH, KTK dan konsentrasi Ca dalam tanah. Penambahan kompos 355 kg ha^{-1} (berat tanpa kadar air) sebagai pembenah tanah meningkatkan nilai Ca-dd dibandingkan aplikasi pupuk anorganik dari 0,04% menjadi 0,16% pada bulan ke-6 (Forge *et al.*, 2016). Aplikasi kompos sebagai pembenah tanah dari limbah kota dapat meningkatkan Ca-dd dalam tanah 1,90 g kg^{-1} hingga 3,69 g kg^{-1} pada tahun kedua setelah aplikasi (Hargreaves *et al.*, 2008).

Dalam penelitian Lyimo *et al.* (2012) ditunjukkan bahwa aplikasi kompos kotoran sapi meningkatkan nilai Ca-dd tanah 40,6% dibandingkan aplikasi pupuk kimia. Selain itu, aplikasi kompos kotoran ayam menunjukkan nilai Ca-dd tanah yang lebih tinggi dibandingkan aplikasi kotoran sapi yakni sebesar 0,64 mg kg^{-1} . Aplikasi kotoran ayam 5 ton ha^{-1} meningkatkan nilai Ca-dd tanah dibandingkan aplikasi NPK 200 kg ha^{-1} dari 70,6 ppm menjadi 102 ppm (Ayeni dan Adetunji, 2010). Aplikasi 60 kg N ha^{-1} berupa kotoran ternak setiap musim tanam berturut-



turut dalam 2 tahun meningkatkan nilai Ca-dd tanah hingga 126 ppm dibandingkan aplikasi 60 kg N ha⁻¹ anorganik dengan nilai Ca-dd 70 ppm (Shisanya *et al.*, 2009). Verde *et al.* (2013) menunjukkan bahwa aplikasi kotoran kambing 10 ton ha⁻¹ meningkatkan nilai Ca-dd dari 6,8 ppm (kontrol) menjadi 14,6 ppm.

Ketersediaan Ca²⁺ juga dipengaruhi oleh pH dan KTK tanah. Hasil menunjukkan aplikasi Aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos meningkatkan pH dan KTK tanah (Agustin, 2017) dibandingkan aplikasi urea pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud (Tabel 4). Ketersediaan Ca menurun pada pH < 7,0 (Hanafiah, 2012). Ca melimpah pada tanah dengan pH netral hingga basa (Fageria, 2009). pH tanah tertinggi pada A2 dan A3 sedangkan Ca-dd tanah tertinggi pada A1. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pH tanah tidak diikuti dengan peningkatan Ca-dd tanah ($r = -0,36$).

Peningkatan KTK tanah juga tidak diikuti oleh peningkatan Ca-dd tanah ($r = -0,12$). KTK tertinggi didapatkan pada A3 sedangkan Ca-dd tertinggi didapatkan pada A1. Berbeda dengan hasil penelitian Agegnehu *et al.* (2016) dan Lyimo *et al.* (2012) yang menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi kompos dan pupuk anorganik meningkatkan KTK dan Ca-dd tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik. Penelitian Agegnehu *et al.* (2015) menunjukkan hal yang sama bahwa aplikasi kombinasi kompos dan pupuk anorganik meningkatkan KTK tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik tetapi tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap Ca-dd tanah. Berbeda dengan Forge *et al.* (2016) yang menunjukkan aplikasi kompos meningkatkan pH tanah dan Ca-dd tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik. Hasil berbeda juga didapatkan dalam penelitian Lyimo *et al.* (2012) bahwa aplikasi kompos kotoran ayam dan kotoran sapi meningkatkan pH dan Ca-dd tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik.

4.1.3. Pengaruh Kompos Terhadap Mg-dd Tanah

Unsur Mg diserap tanaman dalam bentuk Mg²⁺ (Fageria, 2009). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi kompos dan kombinasi urea kompos berpengaruh sangat signifikan terhadap Mg-dd dalam tanah terdampak erupsi gunung Kelud (Lampiran 10). Pada 2 MSI, aplikasi kompos kotoran sapi secara



sangat signifikan meningkatkan nilai Mg-dd tanah. Pada 4 MSI, aplikasi kombinasi urea dan kompos kotoran ayam secara sangat signifikan meningkatkan nilai Mg-dd tanah. Pada 8 MSI, aplikasi kompos kotoran ayam secara sangat signifikan meningkatkan nilai Mg-dd tanah (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Mg-dd Tanah

Perlakuan	Mg-dd (ppm)		
	2 MSI	4 MSI	8 MSI
A1	134,70 c s	128,69 bc s	36,93 b sr
A2	178,62 b s	165,22 ab s	92,31 a r
A3	227,19 a s	94,92 c r	46,21 b sr
A4	156,00 bc s	183,19 a s	42,98 b sr
A5	159,58 bc s	171,16 a s	46,30 b sr

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada Uji DMRT taraf 1% ($P < 0.01$). Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%. Kriteria sifat kimia tanah sr: sangat rendah; r: rendah; s: sedang (Balai Penelitian Tanah, 2009).

Berdasarkan waktu penelitian, seluruh perlakuan menunjukkan rata-rata laju mineralisasi Mg meningkat dari sebelum aplikasi hingga 2 MSI. Akan tetapi, rata-rata laju mineralisasi menurun pada 4 dan 8 MSI. Pada 2 MSI, nilai Mg-dd pada semua perlakuan menunjukkan kriteria sedang. Nilai Mg-dd tertinggi didapatkan pada perlakuan A3 dengan peningkatan 68%. Kandungan Mg dalam kompos meningkatkan nilai Mg-dd tanah yang diaplikasikan kompos. Kompos kotoran sapi dan kotoran ayam masing-masing mengandung 0,41% dan 0,47% Mg (Lampiran 1). Hal tersebut menandakan bahwa dalam setiap aplikasi 10 ton ha^{-1} kompos kotoran ayam dan kotoran sapi setara dengan aplikasi 41-47 kg Mg ha^{-1} . Hargreaves *et al.* (2008) menunjukkan bahwa aplikasi kompos sebagai pembenah tanah dari kotoran ternak meningkatkan konsentrasi Mg-dd dalam tanah 353 ppm hingga 454 ppm. Peningkatan Mg-dd tanah karena aplikasi kompos kotoran ternak dikarenakan kandungan Mg pada kotoran ternak cukup tinggi. Aplikasi kompos meningkatkan nilai Mg-dd tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik dari 37,67 ppm menjadi 149,45 ppm (Palanivelil *et al.*, 2013).

Pada 4 MSI, nilai Mg-dd tertinggi pada perlakuan A4. Agegnehu *et al.* (2015) menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi 25 ton ha^{-1} kompos dan pupuk rekomendasi (anorganik) kacang tanah meningkatkan nilai Mg-dd tanah menjadi

183,47 ppm dibandingkan aplikasi pupuk anorganik secara tunggal sebesar 157,95. Hasil penelitian Agegnehu *et al.* (2016) menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi 25 ton ha⁻¹ kompos dan pupuk rekomendasi tanaman jagung (150 kg N ha⁻¹, 41 kg P ha⁻¹, 120 kg K ha⁻¹ dan 3 kg S ha⁻¹) meningkatkan nilai Mg-dd tanah dibandingkan aplikasi tunggal pupuk rekomendasi dari 71,69 ppm menjadi 109,35 ppm pada masa pembentukan biji jagung.

Aplikasi kombinasi kotoran ayam dan pupuk anorganik meningkatkan konsentrasi Mg-dd menjadi 106,92 ppm dibandingkan aplikasi pupuk anorganik tunggal dengan konsentrasi 24,3 ppm pada tanah Ferralsol (Lehmann *et al.*, 2003).

Aplikasi 60 kg N ha⁻¹ berupa kotoran ternak setiap musim tanam berturut-turut dalam 2 tahun meningkatkan nilai Mg-dd tanah hingga 279,45 ppm dibandingkan aplikasi 60 kg N ha⁻¹ anorganik dan kontrol dengan nilai Mg-dd 145,8 ppm dan 133,65 ppm (Shisanya *et al.*, 2009). Ditambahkan bahwa aplikasi kombinasi 30 kg N ha⁻¹ berupa kotoran ternak dan 30 kg N ha⁻¹ anorganik meningkatkan nilai Mg-dd hingga 267,3 ppm. Aplikasi kombinasi kotoran ayam dan pupuk NPK meningkatkan nilai Mg-dd tanah dibandingkan aplikasi tunggal kotoran ayam atau pupuk NPK (Ayeni dan Adetunji, 2010).

Pada 8 MSI, nilai Mg-dd tertinggi pada perlakuan A2 dengan kriteria rendah. Kriteria nilai Mg-dd perlakuan lainnya tergolong sangat rendah. Aplikasi kompos meningkatkan nilai Mg-dd tanah pada 8 MSI dibandingkan aplikasi urea atau kombinasi urea-kompos. Hal ini berkaitan dengan tekstur tanah yang bertekstur lempung berpasir. Kondisi tanah yang memiliki fraksi pasir lebih dominan dapat menurunkan nilai Mg-dd dalam tanah (Foth, 1990). Penggunaan bahan organik dan pupuk yang digunakan juga berpengaruh terhadap ketersediaan Mg (Mikkelsen, 2010). Aplikasi kotoran ayam yang telah dikomposkan meningkatkan Mg-dd tanah dengan konsentrasi masing-masing 0,04 ppm dan 0,07 ppm dibandingkan pemupukan anorganik dengan konsentrasi Mg-dd 0,02 ppm yang diamati bersamaan dengan waktu panen jagung (Lyimo *et al.*, 2012).

Verde *et al.* (2013) menunjukkan bahwa aplikasi kotoran ternak 10 ton ha⁻¹ meningkatkan nilai Mg-dd dari 61,97 ppm (kontrol) menjadi 74,12 ppm. Aplikasi 10 ton ha⁻¹ lumpur kotoran ternak yang dilakukan tiga kali dalam satu tahun meningkatkan ketersediaan Mg dalam tanah pada 5 tahun berikutnya



(Duffková, Hejman dan Libichová, 2015). Aplikasi 120 m³ ha⁻¹ lumpur kotoran ternak meningkatkan nilai Mg-dd sebesar 53% dibandingkan pemupukan anorganik pada bulan ke-3 setelah aplikasi (Matos-Moreira *et al.*, 2011).

Rata-rata nilai Mg-dd tanah menurun dari sedang pada 2 MSI hingga sangat rendah pada 8 MSI. Hal ini berkaitan dengan perilaku Mg dalam tanah. Menurut Rosmarkam dan Yuwono (2002), Mg terlarut dapat mengalami pengendapan menjadi bentuk yang tidak terlarut, dijerap oleh mineral liat dan diserap oleh mikroba tanah. Kehilangan Mg dari tanah dikarenakan jerapan kation Al³⁺ dan H⁺ lebih kuat dibandingkan kation Mg²⁺. Kation Mg²⁺ yang terlepas dapat mengalami pencucian dari zona perakaran atau berikatan dengan unsur lain menjadi senyawa tidak tersedia (Hardjowigeno, 2003). Selain itu, Mg-dd tanah juga dipengaruhi oleh pH tanah. Nilai Mg-dd tanah menurun pada pH < 7 (Hanafiah, 2012). Aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos meningkatkan pH pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud (Tabel 4). pH tanah menunjukkan korelasi positif terhadap Mg-dd namun tergolong lemah dan tidak signifikan (r = 0,58). Senada dengan hasil penelitian Agegnehu *et al.* (2016) yang menunjukkan peningkatan pH tanah diikuti dengan peningkatan Mg-dd tanah tetapi menunjukkan hubungan yang lemah.

Rata-rata nilai Mg-dd selalu lebih kecil dibandingkan nilai Ca-dd (Barber, 1995). Hasil penelitian menunjukkan Mg-dd tanah pada seluruh pengamatan bernilai lebih kecil dibandingkan Ca-dd tanah. Rasio Ca:Mg dalam tanah optimal pada 6,5:1 (Spectrum-Analytic, 2017). Nilai Ca-dd dan Mg-dd tanah dengan aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos pada 2, 4 dan 8 MSI menunjukkan rasio Ca:Mg yang beragam. Rasio Ca:Mg bernilai 1,1:1 didapatkan pada A3 waktu pengamatan 2 MSI dan rasio 6,8:1 didapatkan pada A1 waktu pengamatan 8 MSI.

4.1.4. Pengaruh Kompos Terhadap SO₄²⁻ Tanah

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi kompos berpengaruh signifikan terhadap nilai SO₄²⁻ tanah pada 2 MSI dan sangat signifikan pada 4 dan 8 MSI (Lampiran 10). Pada 2 MSI, aplikasi kompos kotoran sapi secara signifikan meningkatkan SO₄²⁻ tanah. Pada 4 dan 8 MSI, aplikasi kompos kotoran ayam secara sangat signifikan meningkatkan nilai SO₄²⁻ tanah (Tabel 7).

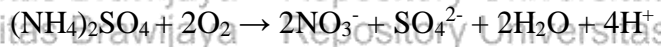


Tabel 7. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap SO₄²⁻ Tanah

Perlakuan	SO ₄ ²⁻ (ppm)		
	2 MSI*	4 MSI**	8 MSI**
A1	9,74 a	37,08 e	2,22 c
A2	8,04 ab	120,92 a	21,80 a
A3	9,77 a	65,66 d	1,12 c
A4	6,40 bc	102,61 b	5,77 b
A5	4,27 c	88,37 c	3,29 c

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada Uji DMRT taraf *5% (P<0.05) dan **1% (P<0.01). Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%.

Rata-rata laju mineralisasi SO₄²⁻ seluruh perlakuan meningkat dari sebelum aplikasi hingga 2 dan 4 MSI. Akan tetapi, rata-rata laju mineralisasi seluruh perlakuan menurun pada 8 MSI. Pada 2 MSI, perlakuan A3 memberikan nilai SO₄²⁻ tertinggi. Nilai SO₄²⁻ perlakuan A2 tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya pada 4 dan 8 MSI. Aplikasi 20 kg S ha⁻¹ sebagai pupuk dasar tanaman jagung mempengaruhi nilai SO₄²⁻ tanah. Namun, unsur S tidak dapat langsung tersedia bagi tanaman. Unsur S dari pupuk tersedia bagi tanaman apabila telah teroksidasi menjadi sulfat (Grant, Mahli dan Karamanos, 2012). Pupuk amonium sulfat yang ditambahkan bereaksi dengan oksigen menghasilkan nitrat, sulfat, air dan hidrogen (Sanchez, 1992). Terbentuknya hidrogen dari aplikasi amonium sulfat dapat menurunkan pH tanah.



Mineralisasi S optimal pada pH 5,5 hingga 7,5 (Stevenson dan Cole, 1999). Ketersediaan S menurun pada pH < 6 (Hanafiah, 2012). Aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos meningkatkan pH tanah dibandingkan aplikasi urea pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. pH tanah berkorelasi positif dengan SO₄²⁻ tanah namun korelasi tidak signifikan (r = 0,45). pH dan SO₄²⁻ tanah tertinggi didapatkan pada waktu pengamatan 4 MST (Tabel 4). Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pH tanah dengan aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos diikuti dengan peningkatan SO₄²⁻ tanah. Menurut hasil penelitian Nurhidayati *et al.* (2013), aplikasi kombinasi urea-biokompos meningkatkan pH dan SO₄²⁻ tanah dibandingkan kontrol pada bulan ketiga setelah aplikasi.



Sumber utama ketersediaan sulfur untuk tanaman selain dari pupuk adalah bahan organik (Jones, 1982). Kompos mengandung SO_4^{2-} hasil mineralisasi dan dekomposisi bahan organik (Rosmarkan dan Yuwono, 2002). Kompos kotoran sapi dan ayam masing-masing mengandung 0,24% dan 0,42% SO_4^{2-} . Aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos meningkatkan SO_4^{2-} dalam tanah. Penelitian Lemanowicz, Siwik-Ziomek dan Koper (2014) menunjukkan bahwa aplikasi 80 ton ha^{-1} kotoran ternak meningkatkan SO_4^{2-} tanah dibandingkan aplikasi 120 kg N ha^{-1} dari 24,86 ppm menjadi 26,31 ppm. Aplikasi kompos kotoran ternak meningkatkan nilai S-total tanah dibandingkan aplikasi pupuk anorganik dari 0,13 mg g^{-1} tanah menjadi 0,14 mg g^{-1} tanah (Heinze, Raupp dan Joergensen, 2010). Kombinasi 180 kg N ha^{-1} dan 2,0-3,5 ton ha^{-1} biokompos juga meningkatkan nilai SO_4^{2-} tanah dibandingkan pemupukan anorganik dari 12,92 ppm menjadi 25,50 ppm. Pengamatan pada bulan ke-3 dan ke-7 sama-sama menunjukkan peningkatan SO_4^{2-} tanah dengan peningkatan dosis N dan kombinasi pupuk N dan biokompos (Nurhidayati *et al.*, 2015).

SO_4^{2-} tanah dapat ditingkatkan dengan aplikasi pupuk N. Aplikasi urea 288 kg ha^{-1} (A1) meningkatkan SO_4^{2-} tanah pada 2 MSI meskipun aplikasi 20 kg S ha^{-1} dilakukan pada seluruh perlakuan. Aplikasi pupuk N yang sangat tinggi meningkatkan konsentrasi S dalam tanah dibandingkan kontrol dari 7,6 ppm menjadi 8,2 ppm (Riedell *et al.*, 2009). Seluruh perlakuan mengalami peningkatan jumlah SO_4^{2-} pada 4 MSI. Grant *et al.* (2012) menunjukkan bahwa SO_4^{2-} ditentukan oleh tingkat mineralisasi bahan organik untuk melepas unsur S dan oksidasi S menjadi SO_4^{2-} yang berasal dari pupuk anorganik. Nilai rata-rata SO_4^{2-} seluruh perlakuan turun kembali pada 8 MSI. Hal ini dikarenakan ion sulfat (SO_4^{2-}) memiliki muatan negatif sehingga dapat bergerak dengan mudah dengan air tanah (Fageria, 2009). Kehilangan S dari tanah dapat terjadi karena penguapan.

SO_4^{2-} tanah dapat menguap menjadi SO_2 , H_2S (Hardjowigeno, 2003) dan CS_2 (Farwell *et al.*, 1979). Penguapan S meningkat dengan kondisi tanah dengan fraksi pasir yang dominan (Hardjowigeno, 2003). Kehilangan air tanah akibat penguapan diikuti oleh penguapan S menjadi H_2S dan CS_2 (Farwell *et al.*, 1979). Berbeda dengan hasil penelitian Hargreaves *et al.* (2008), aplikasi pembenah tanah berupa kompos meningkatkan SO_4^{2-} dalam tanah 73.3 ppm hingga 110 ppm



pada tahun pertama aplikasi. Hasil berbeda juga didapatkan Hall dan Bell (2015) yang menunjukkan bahwa aplikasi kompos 0,26 ppm tanah sebagai pembenah tanah tidak meningkatkan S total dibandingkan aplikasi pupuk kimia pada tanah dataran pasir Australia.

4.2. Pengaruh Kompos Terhadap Serapan Ca, Mg dan S Tanaman Jagung

Hasil analisis ragam menunjukkan aplikasi kompos dan kombinasi urea kompos berpengaruh signifikan terhadap kadar S dan sangat signifikan terhadap kadar Ca dan Mg tanaman jagung yang ditanam pada tanah terdampak letusan gunung Kelud ($P < 0.05$ dan $P < 0.01$) (Lampiran 10). Aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos secara signifikan meningkatkan serapan Ca dan Mg tanaman jagung tetapi tidak signifikan terhadap serapan S tanaman jagung. Pengaruh aplikasi kompos terhadap serapan Ca, Mg dan S dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Kadar dan Serapan Ca, Mg dan S Tanaman Jagung

Perlakuan	Kadar hara (%)		S*	Serapan Hara (g tanaman ⁻¹)		
	Ca**	Mg**		Ca**	Mg**	S
A1	4,24 b	0,72 b	0,19 ab	3,71 c	0,78 b	0,34
A2	5,50 a	1,83 a	0,22 a	4,84 a	2,68 a	0,51
A3	5,24 a	1,80 a	0,24 a	4,32 b	2,33 a	0,52
A4	4,90 ab	1,63 a	0,18 ab	4,41 b	2,09 a	0,41
A5	5,13 a	1,94 a	0,15 b	4,38 b	2,36 a	0,32

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada Uji DMRT taraf *5% ($P < 0.05$) dan *1% ($P < 0.01$). Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%.

Hasil analisis kompos menunjukkan kompos kotoran sapi mengandung 1,13% Ca, 0,41% Mg dan 0,24% SO_4^{2-} . Kotoran ayam mengandung 0,84% Ca, 0,47% Mg dan 0,42% SO_4^{2-} (Lampiran 1). Setiap aplikasi 10 ton ha⁻¹ kompos kotoran sapi dan kotoran ayam setara dengan aplikasi 84 dan 113 kg Ca ha⁻¹, 41 dan 47 kg Mg ha⁻¹ serta 42 dan 47 kg SO_4^{2-} ha⁻¹. Tanaman jagung rata-rata mengandung hara Ca, Mg dan S masing-masing sebesar 0,48%, 0,40% dan 0,26% (Foth, 1990; Hanafiah, 2012). Nilai rata-rata kadar Ca tanaman dalam kriteria sangat tinggi yakni $> 0,90\%$ (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Aplikasi bahan



organik meningkatkan pertumbuhan, hasil dan efisiensi serapan unsur hara tanaman jagung (Ogbonna *et al.*, 2012).

Perlakuan A2, A3 dan A5 meningkatkan kadar Ca tanaman dibandingkan A1 dan tidak berbeda dengan A3. Perlakuan A2 meningkatkan serapan Ca tanaman jagung dibandingkan dengan A1. Kandungan Ca dalam kompos meningkatkan nilai Ca-dd tanah. Kadar Ca tanaman jagung juga meningkat dengan adanya aplikasi kompos. Konsentrasi Ca tanaman jagung meningkat dari 0,16% pada aplikasi NPK 400 kg ha⁻¹ menjadi 0,24% pada aplikasi kombinasi 10 ton ha⁻¹ kotoran ayam dan 200 kg ha⁻¹ NPK (Ayeni dan Adetunji, 2010). Aplikasi kotoran ayam sebesar 25 ton ha⁻¹ meningkatkan kandungan Ca tanaman tomat dari 0,66% pada kontrol menjadi 0,94% (Ewulo *et al.*, 2008).

Kadar Mg tertinggi didapatkan pada A5. Serapan Mg tanaman tertinggi didapatkan pada perlakuan A2 dibandingkan A1. Perlakuan A5 tidak berbeda dengan A2, A3 dan A4. Perlakuan A4 secara signifikan meningkatkan serapan Mg tanaman jagung dibandingkan A1. Kandungan Mg dalam kompos meningkatkan nilai Mg-dd tanah. Serapan Mg tanaman jagung juga meningkat dengan adanya aplikasi kompos. Nilai rata-rata kadar Mg tanaman bernilai sangat tinggi yakni >0,55% (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Aplikasi 2,5 ton ha⁻¹ pupuk kandang secara signifikan meningkatkan serapan Mg tanaman jagung yang ditanam pada Alfisols (Suntoro *et al.*, 2014).

Aplikasi kombinasi 5 ton ha⁻¹ kotoran ayam dan 100 kg ha⁻¹ NPK meningkatkan kadar Mg tanaman jagung 0,17% dibandingkan kontrol sebesar 0,13% dan dengan aplikasi NPK tunggal sebesar 0,15% (Ayeni dan Adetunji, 2010). Ewulo *et al.* (2008) menunjukkan bahwa kandungan Mg tanaman tomat juga meningkat dari 0,14% pada kontrol menjadi 0,36% dengan aplikasi kotoran ayam sebesar 25 ton ha⁻¹. Nilai serapan hara Mg lebih rendah dibandingkan nilai serapan hara Ca. Tingkat penyerapan unsur Mg²⁺ lebih rendah dari Ca²⁺ (Barber, 1995; Fageria, 2009).

Perlakuan A3 memberikan kadar S tertinggi dan tidak berbeda dengan A1, A2 dan A3. Kadar sulfur tanaman jagung sebesar 0,26% (Foth, 1990; Hanafiah, 2012). Menurut Kovar dan Grant (2011), kadar sulfur tanaman jagung tergolong kriteria rendah pada 0,10-0,20% dan sedang pada 0,21-0,50%. Hal tersebut



menunjukkan bahwa aplikasi kompos meningkatkan kadar S tanaman jagung dari kriteria rendah menjadi sedang dibandingkan aplikasi urea.

Perlakuan A2 tidak menunjukkan perbedaan signifikan serapan S tanaman dengan A3 dan A4. Nilai serapan S terendah terdapat pada A1 dan A5. Berbeda dengan hasil penelitian Lemanowicz *et al.* (2014) yang menunjukkan bahwa aplikasi 80 ton ha⁻¹ kotoran ternak meningkatkan kandungan S tanaman gandum dibandingkan 120 kg N ha⁻¹ dari 0,401 g kg⁻¹ menjadi 0,473 g kg⁻¹. Selain itu, aplikasi 2,5 ton ha⁻¹ pupuk kandang sapi meningkatkan serapan S tanaman jagung yang ditanam pada Alfisols (Suntoro *et al.*, 2015). Tanaman tidak hanya menyerap S dari tanah tetapi juga dari udara. Menurut Jones (1982), Sumber utama ketersediaan sulfur untuk tanaman selain dari pupuk adalah bahan organik, mineral tanah, air irigasi dan gas sulfur di atmosfer.

Pemupukan N mempengaruhi serapan S tanaman. Hal tersebut ditunjukkan dalam penelitian Rahman *et al.* (2011) bahwa aplikasi pupuk N sebanyak 340 kg ha⁻¹ meningkatkan serapan S tanaman jagung menjadi 6,39 mg g⁻¹ tanaman dibandingkan kontrol sebesar 4,75 mg g⁻¹ tanaman meskipun tanpa ada pemupukan S. Ditambahkan bahwa pemupukan N juga meningkatkan efisiensi serapan S tanaman jagung. Meskipun dilakukan peningkatan dosis pupuk S, serapan S tetap lebih tinggi apabila dikombinasikan dengan pemupukan N. Pemupukan N memiliki nilai korelatif positif terhadap serapan S (0,57; $P \leq 0,05$).

Aplikasi 120 kg N ha⁻¹ meningkatkan serapan S tanaman gandum dibandingkan kontrol dari 0,301 g kg⁻¹ menjadi 0,401 g kg⁻¹ (Lemanowicz *et al.*, 2014).

Pemupukan N meningkatkan serapan Ca pada jagung (Szulc dan Waligóra, 2010). Pada dosis 0 kg N ha⁻¹, serapan Ca tanaman jagung sebanyak 7,94 mg tanaman⁻¹. Pada dosis 60 kg N ha⁻¹, serapan Ca tanaman jagung sebanyak 9,30 mg tanaman⁻¹ dan tidak berbeda dengan dosis 120 kg N ha⁻¹ dengan serapan Ca sebanyak 9,60 mg tanaman⁻¹. Hussaini *et al.*, (2008) menunjukkan bahwa aplikasi 180 kg N ha⁻¹ meningkatkan serapan Ca tanaman jagung dari 0,15 g.kg⁻¹ pada pemupukan 0 kg N ha⁻¹ menjadi 0,33 g kg⁻¹. Di lain pihak, aplikasi 120 kg N ha⁻¹ berupa urea tidak meningkatkan serapan Ca tanaman jagung hibrida dibandingkan tanpa pemupukan (Szulc dan Bocianowski, 2012).



Pemupukan N juga meningkatkan serapan Mg tanaman. Szulc dan Boćianowski (2012) menunjukkan bahwa aplikasi 120 kg N ha^{-1} berupa urea secara signifikan meningkatkan serapan Mg tanaman jagung hibrida dibandingkan tanpa pemupukan dari $2,81 \text{ mg tanaman}^{-1}$ menjadi $3,53 \text{ mg tanaman}^{-1}$ yang dilakukan pada 2009 hingga 2011. Hasil penelitian Hussaini *et al.* (2008) menunjukkan bahwa aplikasi 120 kg N ha^{-1} meningkatkan serapan Mg tanaman jagung dari $3,13 \text{ kg ha}^{-1}$ (0 kg N ha^{-1}) menjadi $8,65 \text{ kg ha}^{-1}$. Berbeda dengan hasil Penelitian Szulc dan Waligóra (2010) yang menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk N dari 0 hingga 120 kg N ha^{-1} tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan serapan Mg tanaman jagung.

Hasil analisis korelasi menunjukkan pH tanah berkorelasi positif sangat signifikan dengan kadar Ca tanaman ($r = 0,97^{**}$) dan berkorelasi secara signifikan dengan kadar Mg tanaman ($r = 0,93^*$). Serapan hara Ca dan Mg tanaman ditentukan oleh ketersediaan unsur tersebut dalam tanah. Unsur Ca dan Mg masing-masing tersedia bagi tanaman dalam bentuk Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Rosmarkan dan Yuwono, 2002). Ketersediaan kalsium melimpah dalam tanah dengan pH netral dan basa (Fageria, 2009). Ketersediaan Ca dan Mg tinggi pada pH 7,0-8,5 dan rendah pada $\text{pH} < 7,0$ atau $> 8,5$ (Hanafiah, 2012). Konsentrasi larutan tanah Ca^{2+} ditentukan oleh pH tanah, apabila pH meningkat, adsorpsi Ca dan Mg meningkat (Fageria, 2009).

4.3. Pengaruh Kompos Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung

4.3.1. Tinggi Tanaman

Nitrogen menjadi unsur hara penting penunjang pertumbuhan tanaman (Rosmarkan dan Yuwono, 2002). Pelakuan tinggi tanaman dilakukan untuk mengetahui perbandingan tinggi tanaman antar perlakuan sehingga diketahui pengaruh dari aplikasi urea, kompos dan kombinasi urea-kompos terhadap tinggi tanaman jagung yang ditanam pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Hasil analisis ragam pengaruh aplikasi urea dan/atau kompos terhadap tinggi tanaman jagung tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada setiap perlakuan dan waktu pengamatan (Lampiran 10). Meskipun tidak berbeda secara signifikan,



aplikasi kompos menunjukkan hasil rata-rata tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan tanpa aplikasi kompos (Tabel 9).

Tabel 9. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Tinggi Tanaman Jagung

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)		
	2 MST	4 MST	8 MST
A1	9,67	22,17	69,67
A2	11,17	24,17	91,67
A3	11,17	24,33	93,33
A4	11,67	25,5	92,67
A5	11,83	24	85

Keterangan: Perlakuan A1: Urea 100%; A2: Kompos Kotoran Ayam 100%; A3: Kompos Kotoran Sapi 100%; A4: Urea 50% + Kompos Kotoran Ayam 50%; A5: Urea 50% + Kompos Kotoran Sapi 50%.

Aplikasi nitrogen, kompos dan kombinasi nitrogen kompos meningkatkan tinggi tanaman pada seluruh perlakuan. Kebutuhan tanaman terhadap nitrogen dipenuhi dari pupuk urea dan kompos dengan jumlah kebutuhan yang sama (150 kg N ha^{-1}). Oleh karena itu, aplikasi N berupa urea atau kompos tidak menunjukkan perbedaan tinggi tanaman yang signifikan. Penelitian Szulc dan Waligóra (2010) yang menunjukkan bahwa aplikasi 120 kg N ha^{-1} memberikan nilai tinggi tanaman jagung hibrida 202,6 cm dan tidak menunjukkan perbedaan signifikan terhadap aplikasi 60 kg N ha^{-1} dengan tinggi tanaman 201,2 cm. Di lain pihak, Onasanya *et al.*, (2009) menunjukkan bahwa aplikasi 120 kg N ha^{-1} secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman jagung dari $167,06 \text{ cm}$ (0 kg N ha^{-1}) hingga $192,50 \text{ cm}$. Hal yang berbeda juga ditunjukkan dalam penelitian Ayeni dan Adetunji (2010) bahwa aplikasi kombinasi 5 ton ha^{-1} kotoran ayam dan 100 kg ha^{-1} NPK 20:10:10 secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman jagung dibandingkan aplikasi 100 kg ha^{-1} NPK dari $175,77 \text{ cm}$ menjadi $222,42 \text{ cm}$. Aplikasi bahan organik sebagai pembenah tanah berupa kotoran ternak (C-organik 2%) secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman jagung 18% dari kontrol (Rehman *et al.*, 2016).

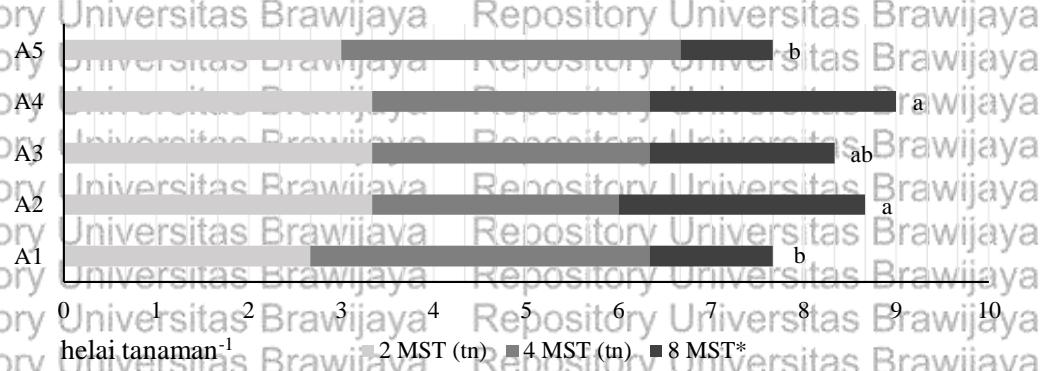
Secara rata-rata, aplikasi kompos menunjukkan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan tanpa aplikasi kompos. Selain mengandung N, kompos juga mengandung unsur hara lainnya. Bahan organik berupa kompos dapat menyediakan unsur hara makro sekunder. Aplikasi bahan organik meningkatkan

pertumbuhan, hasil dan efisiensi serapan unsur hara tanaman jagung (*Ogbonna et al.*, 2012).

pH tanah berkorelasi positif sangat signifikan dengan tinggi tanaman ($r = 0,96^*$). pH secara tidak langsung meningkatkan berat kering tanaman jagung. Peningkatan pH meningkatkan mineralisasi unsur Mg ($r = 0,58$) dan S ($r = 0,45$) serta unsur hara penting lain seperti N, P dan K (Hanafiah, 2012) sehingga serapan tanaman terhadap unsur tersebut optimal. Tinggi tanaman berkorelasi positif secara signifikan dengan serapan Mg ($r = 0,89^*$). Hal ini berkaitan dengan peran Mg dalam pertumbuhan tanaman. Mg termasuk unsur *mobile* dan penting dalam penyusunan klorofil. Mg berperan terhadap metabolisme nitrogen. Apabila serapan Mg meningkat, kadar protein dalam tanaman juga akan meningkat. Selain itu, Mg juga berperan dalam mengaktifkan enzim metabolisme karbohidrat dan sebagai katalisator, enzim aktivator asam amino dan sebagai komponen molekul klorofil sehingga secara aktif terlibat dalam fotosintesis (Fageria, 2009; Hanafiah, 2012).

4.3.2. Jumlah Daun

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi kompos tidak memberikan pengaruh signifikan pada 2 dan 4 MST terhadap jumlah daun tanaman jagung yang ditanam pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Aplikasi kompos berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung pada 8 MST (Lampiran 10). Jumlah daun terbanyak pada 8 MST didapatkan pada perlakuan A4 (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Jumlah Daun Tanaman Jagung

Kekurangan nitrogen oleh tanaman dari pupuk anorganik dapat digantikan oleh bahan organik. Kandungan hara dalam kompos dapat menjadi substitusi

pupuk organik, 150 kg N ha⁻¹ diaplikasikan pada setiap perlakuan dengan aplikasi urea dan kompos. Aplikasi kombinasi nitrogen-kompos tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung pada 2 dan 4 MST. Aplikasi kombinasi urea-kompos meningkatkan jumlah daun tanaman jagung pada 8 MST. Hal ini sesuai dengan penelitian Onasanya *et al.*, (2009) yang menunjukkan bahwa aplikasi pupuk nitrogen 0-120 kg N ha⁻¹ tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung pada 5 dan 6 MST. Akan tetapi, aplikasi pupuk nitrogen 120 kg N ha⁻¹ berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung pada 8 MST dibandingkan kontrol.

Mrabet *et al.*, (2012) menunjukkan bahwa aplikasi 25-100% kompos secara signifikan meningkatkan jumlah daun pada tanaman jagung dan selada. Aplikasi kotoran ayam 10-15 ton ha⁻¹ secara signifikan meningkatkan jumlah daun tanaman jagung manis dibandingkan kontrol yang dilakukan pada musim tanam 2011 dan 2012 (Uwah *et al.*, 2014). Berbeda dengan hasil penelitian Adejumo, Owolabi dan Odesola (2016) yang menunjukkan bahwa aplikasi 5, 10 dan 15 ton ha⁻¹ kompos tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung dibandingkan dengan kontrol. Hal berbeda juga didapatkan oleh Chaliszar, Zaitun dan Nurahmi (2014) yang menunjukkan bahwa pengaruh kompos, pupuk urea dan residu biochar tidak signifikan terhadap jumlah daun tanaman jagung pada 30, 45 dan 60 HST.

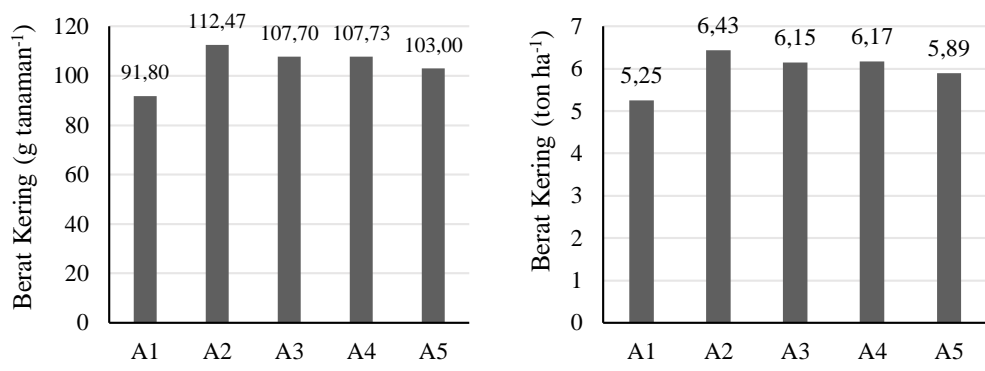
4.3.3. Berat Kering Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan aplikasi kompos dan kombinasi urea-kompos tidak menunjukkan perbedaan berat kering tanaman jagung yang signifikan antar perlakuan ($P > 0.05$) (Lampiran 10). Nilai rata-rata berat kering tanaman masing-masing tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan perlakuan yang diberikan (Gambar 3). Nilai rata-rata berat kering perlakuan A2, A3, A4 dan A5 lebih tinggi dibandingkan A1. Meskipun demikian, aplikasi kompos menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap berat kering tanaman jagung dibandingkan aplikasi urea.

Aplikasi unsur hara nitrogen pada setiap perlakuan adalah sama yakni sebesar 150 kg N ha⁻¹. Perbedaannya terletak pada bentuk nitrogen tersebut diaplikasikan berupa urea atau kompos. Szulc dan Bocianowski (2012)



menunjukkan bahwa pemupukan 120 kg N ha⁻¹ berupa urea tidak meningkatkan berat kering tanaman jagung hibrida pada saat terbentuknya 5-6 helai daun dibandingkan tanpa pemupukan N. Berbeda dengan penelitian Ayeni dan Adetunji (2010) bahwa aplikasi kombinasi 10 ton ha⁻¹ kotoran ayam dan 100 kg ha⁻¹ pupuk NPK 20:10:10 meningkatkan berat kering tanaman jagung sebesar 78,5% dibandingkan tanpa aplikasi pupuk kandang ayam.



Gambar 3. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Berat Kering Tanaman Jagung

pH tanah berkorelasi positif sangat signifikan dengan berat kering ($r = 0,97^*$). pH secara tidak langsung meningkatkan berat kering tanaman jagung. Peningkatan pH mendekati netral meningkatkan mineralisasi unsur Ca, Mg dan S serta unsur hara penting lain seperti N, P dan K (Hanafiah, 2012), sehingga serapan tanaman terhadap unsur tersebut optimal. Selain itu, kadar dan serapan Ca tanaman berkorelasi positif signifikan dengan berat kering tanaman ($r = 0,92^*$ dan $r = 0,95^*$). Berbeda dengan hasil penelitian Szulc dan Bocianowski (2012) bahwa serapan Ca memiliki hubungan korelasi yang kuat tetapi tidak signifikan dengan berat kering tanaman jagung. Peningkatan berat kering tanaman akibat meningkatnya kadar Ca tanaman berkaitan dengan fungsi Ca bagi tanaman. Ca pada tanaman berperan dalam pembelahan sel, pengaturan permeabilitas sel, pengaturan tata air sel, penyusun dinding sel dan menghambat penuaan daun (Rosmarkam dan Yuwono, 2002; Hardjowigeno, 2003; Hanafiah, 2012).

Serapan Mg berkorelasi positif dengan berat kering tanaman ($r = 0,93^*$). Hal ini berkaitan dengan peran Mg dalam pertumbuhan tanaman. Mg termasuk unsur *mobile* dan penting dalam penyusunan klorofil sehingga secara aktif terlibat dalam fotosintesis (Fageria, 2009; Hanafiah, 2012). Hal serupa didapatkan dalam penelitian Szulc dan Bacianowski (2012) yang menunjukkan bahwa serapan Mg

berkorelasi signifikan terhadap berat kering brangkasan tanaman jagung ($r = 0,80^*$).

Serapan S menunjukkan korelasi positif tetapi tidak signifikan dengan berat kering tanaman ($r = 0,74$). Hal ini didukung hasil penelitian Suntoro *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa peningkatan serapan S tanaman jagung yang ditanam pada tanah Alfisol akibat aplikasi pupuk kandang sapi diikuti dengan meningkatnya berat kering brangkasan jagung tetapi tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Berbeda dengan hasil penelitian Rahman *et al.* (2011) yang menunjukkan bahwa serapan S akibat aplikasi S dan N berkorelasi sangat signifikan dengan berat kering tanaman jagung. Serapan S tanaman gandum berkorelasi secara signifikan dengan berat jerami gandum ($r = 0,72^*$) akibat aplikasi pupuk kandang dan N (Lemanowicz *et al.*, 2014). Hal tersebut berkaitan dengan peran sulfur dalam pertumbuhan tanaman.

Sulfur terdapat pada asam amino tanaman (Abdallah *et al.*, 2010). Sulfur berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti aktivasi enzim, pembentukan klorofil, pembentukan nitrogenase dan polisakarida, meningkatkan kandungan protein biomassa tanaman, meningkatkan kualitas tanaman serealia, meningkatkan toleransi kekeringan pada tanaman, membantu pembentukan vitamin dan sintesis beberapa hormon, reaksi oksidasi-reduksi dan meningkatkan toleransi terhadap keracunan logam berat pada tanaman (Brady, 1984; Stevenson dan Cole, 1999; Fageria, 2009).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- a. Aplikasi kompos tidak meningkatkan ketersediaan Ca dibandingkan aplikasi urea. Aplikasi 100% kompos kotoran ayam ($12,26 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) setara dengan $132,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ secara signifikan meningkatkan ketersediaan Mg dan SO_4^{2-} dengan peningkatan masing-masing 150% dan 884% dibandingkan aplikasi urea pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud.
- b. Aplikasi 100% kompos kotoran ayam ($12,26 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) secara signifikan meningkatkan kadar dan serapan Ca, Mg dan S tanaman jagung dibandingkan aplikasi urea. Kadar Ca, Mg dan S masing-masing meningkat 29,05%, 153,10% dan 17,20%. Serapan Ca, Mg dan S masing-masing meningkat 30,34%, 241,66% dan 48,83%. Aplikasi kombinasi 50% (144 kg ha^{-1} urea) + 50% kompos kotoran ayam ($6,13 \text{ ton ha}^{-1}$ kompos kotoran ayam) meningkatkan jumlah daun tanaman jagung.

5.2. Saran

Aplikasi kompos kotoran ayam atau kombinasi urea-kompos kotoran ayam dapat diaplikasikan pada budidaya jagung yang ditanam pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui pengaruh residu kompos yang telah diaplikasikan terhadap efisiensi hara dan dinamika Ca, Mg dan S pada tanah terdampak erupsi gunung Kelud.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, M., L. Dubousset, F. Meuriot, P. Etienne, J. C. Avice dan A. Ourry. 2010. Effect of Mineral Sulphur Availability on Nitrogen and Sulphur Uptake and Remobilization During The Vegetative Growth of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany*, 61(10): 2635–2646.
- Achmad, S.R. dan H. Hadi. 2015. Identifikasi Sifat Kimia Abu Vulkanik dan Upaya Pemulihan Tanaman Karet Terdampak Letusan Gunung Kelud (Studi Kasus: Kebun Ngrangkah Pawon, Jawa Timur). *Warta Perkaretan* 34(1): 19–30.
- Adeniyani, O.N. dan O.T. Ayoola. 2006. Influence of Poultry Manure and NPK Fertilizer on Yield and Yield Components of Crops under Different Cropping Systems in South West Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5: 1386–1392.
- Agegnehu, G., A.M. Bass, P.N. Nelson dan M.I. Bird. 2016. Benefits of Biochar, Compost and Biochar-Compost for Soil Quality, Maize Yield and Greenhouse Gas Emissions in a Tropical Agricultural Soil. *Science of the Total Environment*, 543: 295–306.
- Agegnehu, G., A.M. Bass, P.N. Nelson, B. Muirhead, G. Wright dan M.I. Bird. 2015. Biochar and Biochar-Compost as Soil Amendment: Effect of Peanut Yield and Soil Properties and Greenhouse Gas Emissions in Tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 213:72-85.
- Agustin, S.E. 2017. Pengaruh Aplikasi Urea dan Kompos terhadap Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada tanah Terdampak Letusan Gunung Kelud. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Ali, A., Z. Iqbal, S.W. Hasan, M. Yasin, T. Khaliq dan S. Ahmad. 2013. Effect of Nitrogen and Sulphur on Phenology Growth and Yield Parameters of Maize Crop. *Sci.Int.(Lahore)*, 25(2): 363-366.
- Anda, M., Sukarman dan Suparto. 2016. Characteristics of Pristine Volcanic Materials: Beneficial and Harmful Effects and Their Management for Restoration of Agroecosystem. *Science of the Total Environment* 543: 480–492.
- Ayeni, L.S. dan M.T. Adetunji. 2010. Integrated Application of Poultry Manure and Mineral Fertilizer on Soil Chemical Properties, Nutrient Uptake, Yield and Growth Components of Maize. *Nature and Science*, 8(1): 60-67.





Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 2012. Jagung (*Zea mays*). Kriteria Kesesuaian Lahan. Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Online. <http://bbsdlp.litbang.pertanian.go.id/kriteria/>

Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Petunjuk dan Teknis. Edisi 2. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. pp 234.

Barber, S.A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. Second Edition. John Wiley and Sons Inc. New York. pp 414.

Blum, W.E.H. 2013. Soil and Land Resources for Agricultural Production : General Trends and Future Scenarios A Worldwide Perspective 1 Introduction 2 Global Food and Soil Resources. International Soil and Water Conservation Research 1 (3) : 1–14. Elsevier Masson SAS.

Bohn, H., B. McNeal dan G. O'Connor. 1985. Soil Chemistry. Second Edition. John Wiley and Sons Inc. New York. pp 341.

Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soil. 9th Edition. MacMillan Publishing. New York. pp 639.

Brown, S. dan M. Cotton. 2011. Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Result of On-Farm Sampling. Compost Science and Utilization, 19(1): 88-97.

Chen, Y., C. Xiao, D. Wu, T. Xia, Q. Chen, F. Chen, L. Yuan dan G. Mi. 2015. Effects of Nitrogen Application Rate on Grain Yield and Grain Nitrogen Concentration in Two Maize Hybrids with Contrasting Nitrogen Remobilization Efficiency. European Journal of Agronomy, 62: 79-89.

Chaliszar, M., Zaitun dan E. Nurahmi. 2014. Effect of Biochar Residue, Compost and Urea Combination on Growth and Yield of Maize (*zea mays* L.). Proceeding of the 4th Annual International Conference Syiah Kuala University : 109-112.

Chotchutima, S., S. Tudsri, K. Kangvansaichol dan P. Sripichitt. 2016. Effect of Sulphur and Phosphorus Application on The Growth, Biomass Yield and Fuel Properties of *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) as Bioenergy Crop on Sandy Infertile Soil. Agriculture and Natural Resources, 50: 54-59.

Dierolf, T., T. Fairhurst dan E. Mutert. 2001. Soil Fertility Kit. A Toolkit for Acid Upland Soil Fertility Management in Southeast Asia. Handbook. Potash and Phosphate Institute (PPI); Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC). Canada. pp 149.



Duffková, R., M. Hejzman dan H Libichová. 2015. Effect of Cattle Slurry on Soil and Herbage Chemical Properties, Yield and Nutrient Balance and Plant Species Composition of Moderately Dry *Arrhenatherion* Grassland. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 213: 281-289.

Ewulo, B.S., S.O. Ojeniyi dan D.A. Akanni. 2008. Effect of Poultry Manure on Selected Soil Physical and Chemical Properties, Growth, Yield and Nutrient Status of Tomato. *African Journal of Agricultural Resources*, 3(9): 612-616.

Fageria, N.K. 2009. *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, Taylor and Francis Group, London, pp 448.

Farhad, W., M.F. Saleem, M.A. Cheema dan H.M. Hammad. 2009. Effect of Poultry Manure Levels on The Productivity of Spring Maize (*Zea mays* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 19(3): 122-125.

Farwell, S.O., A.E. Sherrard, M.R. Pack dan D.F. Adams. 1979. Sulfur Compound Volatilized From Soil at Different Moisture Contents. *Soil Biol. Biochem.* 11:411-415.

Forge, T., E. Kenney, N. Hashimoto, D. Neilsen dan B. Zebarth. 2016. Agriculture, Ecosystems and Environment Compost and Poultry Manure as Preplant Soil Amendments for Red Raspberry : Comparative Effects on Root Lesion Nematodes, Soil Quality and Risk of Nitrate Leaching. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 223: 48-58.

Foth, H.D. 1990. *Fundamental of Soil Science*. 8th Edition. John Wiley and Sons. New York. pp 360.

Granse, A. dan H. Führs. 2013. Magnesium Mobility in Soils as a Challenge for Soil and Plant Analysis, Magnesium Fertilization and Root Uptake Under Adverse Growth Conditions. *Plant and Soil*, 368(1): 5-21.

Grant, C.A., S.S. Mahli dan R.E. Karamanos. 2012. Sulfur Management for Rapeseed. *Field Crop Research*, 128: 119-128.

Hall, D.J.M. dan R.W. Bell. 2015. Biochar and Compost Increase Crop but The Effect is Short Term on Sandplain Soil of Western Australia. *Pedosphere*, 25(5): 720-728.

Hanafiah, K.A. 2012. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Rajawali Press. Jakarta. pp 360.

Hargreaves, J., M.S. Adl, P.R. Warman dan H.P.V. Rupasinghe. 2008. The Effects of Organic Amendant on Mineral Element Uptake and Fruit Quality of Raspberries. *Plant and Soil*, 308: 213-226.

Hardjowigeno, S. 2003. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo. Jakarta. pp 286.

Heinze, S., J. Raupp dan R.G. Joergensen. 2010. Effect of Fertilizer and Spatial Heterogeneity in Soil pH on Microbial Biomass Indices in a Long-Term Field Trial of Organic Agriculture. *Plant and Soil*, 328: 203-215.

Huber, D.M. dan J.B. Jones. 2013. The Role of Magnesium in Plant Disease. *Plant Soil*, 368: 73–85.

Hussaini, M.A., V.B. Ogunlela, A.A. Ramalan dan A.M. Falaki. 2008. Mineral Composition of Dry Season Maize (*Zea mays* L.) in Response to Varying Level of Nitrogen, Phosphorus and Irrigation at Kadawa, Nigeria. *World Journal of Agricultural Science*, 4(6): 775-780.

Jague, E.A., M. Sommer, N.P.A. Saby, J.T. Cornelis, B.V. Wesemael dan K.V. Oost. 2016. High Resolution Characterization of The Soil Organic Carbon Depth Profile in a Soil Landscape Affected by Erosion. *Soil and Tillage Research*, 156: 185-193.

Jones, U.S. 1982. Fertilizer and Soil Fertility. Second Edition. Reston Publishing Company Inc. Virginia. pp 421.

Kaya, M., Z. Küçükyumuk dan I. Erdal. 2009. Effects of Elemental Sulfur and Sulfur-Containing Waste on Nutrient Concentrations and Growth of Bean and Corn Plants Grown on a Calcareous Soil. *African Journal of Biotechnology*, 8(18): 4481–4489.

Khusrizal. 2015. Kontribusi Macam Bahan Organik dan Kalsit terhadap Perubahan Kadar Besi dan Mangan dalam Tanah serta Serapannya oleh Jagung pada Inceptisols Aceh Utara. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2): 124-131.

Kovar, J.L. dan C.R. Grant. 2011. Nutrient Cycling in Soil: Sulfur. USDA ARS/UNL Faculty, 1383: 103-115.

Lehmann, J., J. Pereira-da-Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech dan B. Glaser. 2003. Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and an Ferralsol of The Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. *Plant and Soil*, 249(2): 343-357.

Lemanowicz, J., A. Siwik-Ziomek dan J. Koper. 2014. Effect of Farmyard Manure and Nitrogen Fertilizers on Mobility of Phosphorus and Sulphur in Wheat and Activity of Selected Hydrolases in Soil. *International Agrophysics*, 28: 49-55.



Lyimo, H.J.F., R.C. Pratt dan R.S.O.W. Mnyuku. 2012. Composted Cattle and Poultry Manures Provide Excellent Fertility and Improved Management of Gray Leaf Spot in Maize. *Field Crops Research*, 126: 97–103.

Matos-Moreira, M., M. Lopes-Mosquera, M. Cunha, M.J.S. Osés, T. Rodríguez dan E.V. Carral. 2011. Effect of Organic Fertilizers on Soil Physicochemistry and on The Yield and Botanical Composition of Forage over 3 Years. *Journal of The Air and Waste Management Association*, 61(7): 778-785.

Mikkelsen, R. 2010. Soil and Fertilizer Magnesium. *Better Crops*, 94 (2): 26–28.

Nurhidayati, A. Basit dan Sunawan. 2015. Substitution of Ammonium Sulphate Fertilizer on Upland Sugarcane Cultivation and Its Effects on Plant Growth, Nutrient Content and Soil Chemical Properties. *Agrivita*, 35(1): 36-44.

Nyamangara, J., L.F. Bergström, M.I. Piha dan K.E. Giller. 2003. Fertilizer Use Efficiency and Nitrate Leaching in a Tropical Sandy Soil. *Plant and Environment Interactions* 32: 599–606.

Ogbonna, D.N., N.O. Isirimah dan E. Princewill. 2012. Effect of Organic Waste Compost and Microbial Activity on the Growth of Maize in the Utisoils in Port Harcourt, Nigeria. *African Journal of Biotech.* 11 (62): 12546–54.

Ojo, A.O., M.T. Adetunji, K.A. Okeleye dan C.O. Adejuyigbe. 2015. Soil Fertility, Phosphorus Fractions and Maize Yield as Affected by Poultry Manure and Single Superphosphate. *International Scholarly Research Notices*. Hindawi Publishing Corporations. pp 8.

Onasanya, R.O., O.P. Aiyelari, A. Onasanya, S. Oikeh, F.E. Nwilene dan O.O. Oyelakin. 2009. Growth and Yield Response of Maize (*Zea mays* L.) to Different Rates of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer in Southern Nigeria. *World Journal of Agricultural Science*, 5(4): 400-407.

Palanivell, P., K. Susilawati, O.H. Ahmed dan A.M. Muhamad. 2013. Effect of Crude Humic and Compost Produced from Selected Waste on *Zea mays* Growth, Nutrient Uptake and Nutrient Use Efficiency. *African Journal of Biotechnology*, 12 (13): 1500-1507.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. 2013. Deskripsi Varietas Unggul Jagung. Edisi 2013. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. pp 157.



- Qing-feng, M., L.I. Da-wei, Z. Juan, Z. Lian-ren, M.A. Xian-fa, W. Hong-yan dan W. Guang-cheng, 2016. Soil Properties and Corn (*Zea mays* L.) Production under Manure Application Combined with Deep Tillage Management in Solonchic Soils of Songnen Plain, Northeast China. *Journal of Integrative Agriculture*, 15 (4): 879–890.
- Rahayu, D., P. Ariyanto, Komariah dan S. Hartati. 2014. Dampak Erupsi Gunung Merapi terhadap Lahan dan Upaya-upaya pemulihannya. *Caraka Tani, Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*, 29 (1): 61-72.
- Rahman, M.M., A.A. Soaud, F.H. Al-Darwish, G. Faruq dan M.S. Azirun. 2011. Growth and Nutrient Uptake of Maize Plants as Affected by Elemental Sulfur and Nitrogen Fertilizer in Sandy Calcareous Soil. *African Journal of Biotechnology*, 10(60): 12882–12889.75
- Rehman, M.Z., M. Rizwan, S. Ali, N. Fatima, B. Yousaf, A. Naeem, M. Sabir, H. Raza dan Y. Sik. 2016. Ecotoxicology and Environmental Safety Contrasting Effects of Biochar, Compost and Farm Manure on Alleviation of Nickel Toxicity in Maize (*Zea mays* L.) in Relation to Plant Growth, Photosynthesis and Metal Uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133: 218–25.
- Riedell, W.E., J.L. Pikul, A.A. Jaradat dan T.E. Schumacher. 2009. Crop Rotation and Nitrogen Input Effect on Soil Fertility, Maize Mineral Nutrition, Yield and Seed Composition. *Agronomy Journal* 101 (4): 870-879.
- Rosmarkam, A. dan N. W. Yuwono. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. pp 224.
- Rukmana, R. 1997. *Usaha Tani Jagung*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. pp 112.
- Sanchez, P.A. 1992. *Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika*. Jilid I. Terjemahan J.T. Jayadinata. Penerbit ITB. Bandung. pp 379.
- Sarief, E.S. 1986. *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung. pp 182.
- Seggewiss, B. dan A. Jungk. 1988. Einfluss der Kaliumdynamik im wurzelnahen Boden auf die Magnesiumaufnahme von Pflanzen. *Z Pflanzenernähr Bodenk. Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 151(2): 91–96.
- Shisanya, C.A., M.W. Mucheru, D.N. Mugendi dan J.B. Kung'u. 2009. Effect of Organic and Inorganic Nutrient Sources on Soil Mineral Nitrogen and Maize Yield in Central Highland of Kenya. *Soil and Tillage Research*, 103: 239-246.



Spectrum-Analytic. 2017. Calcium Basics. Agronomic Library. Online: https://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Ca_Basics.htm.

Stevenson, F.J. dan M.A. Cole. 1999. Cycle of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrient. Second Edition. John Wiley and Sons Inc. New York. pp 427.

Sudarman, K. dan Wahyunto. 2010. Kondisi Lahan dan Infrastruktur Pertanian Pasca Erupsi Gunung Merapi. Pengembangan Pertanian Berbasis Inovasi di Wilayah Bencana Erupsi Gunung Merapi. p 39-61.

Sugiyono. 2008. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung. pp 334.

Suntoro, H. Widijanto, Sudadi dan E.E. Sambodo. 2014. Dampak Abu Vulkanik Erupsi Gunung Kelud dan Pupuk Kandang Terhadap Ketersediaan dan Serapan Magnesium Tanaman Jagung di Tanah Alfisol. Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi, 11(2): 69-76.

Suntoro, H. Widijanto, Sudadi dan I. Wiyati. 2015. Pengaruh Abu Vulkanik Kelud dan Pupuk Kandang Terhadap Ketersediaan dan Serapan Sulfur pada Jagung di Tanah Alfisols. Jurnal Ekosains, 7(2): 121-127.

Syekhiani, D.D. Saputra dan S. Kurniawan. 2016. Teknologi Pupuk dan Pemupukan. Panduan Praktikum. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. pp 54.

Szulc, P., W. Sckzypczak dan H. Waligóra. 2008. Improvement of Effectiveness of Maize (*Zea mays* L.) Fertilization with Nitrogen by The Application of Magnesium Part I Grain Yield and Its Structure. Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 7(4): 125-135.

Szulc, P. dan H. Waligóra. 2010. Response of Maize Hybrid (*Zea mays* L.), Stay-Green Type to Fertilization With Nitrogen, Sulphur and Magnesium Part I. Yields and Chemical Composition. Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 9(1): 29-40.

Szulc, P. dan J. Bocianowski. 2012. Effect of Application of Different Nitrogen Fertilizer Form and Magnesium on Dynamic of Dry Matter Accumulation in Two Maize (*Zea mays* L.) Hybrids in Their Early Growth Stage. Polish Journal of Agronomy, 11: 65-80.

Szulc, P. 2013. Effect of Soil Supplementation with Urea and Magnesium on Nitrogen Uptake and Utilization by Two Different Forms of Maize (*Zea mays* L.) Differing in senescence Rates. Polish Journal of Environmental Studies, 22(1): 239-248.



Uwah, D.F., U.L. Undie dan N.M. John. 2014. Comparative Evaluation of Animal Manures on Soil Properties, Growth and Yield of Sweet Maize. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3(2): 315-331.

Verde, B. Serafim, Danga, B. Oginga, Mugwe dan J. Njeri. 2013. Effect of Manure, Lime and Mineral P Fertilizer on Soybean Yields and Soil Fertility in a Humic Nitisol in The Central Highland of Kenya. *International Journal of Agricultural Science Reseach*, 2(9): 283-291.

Warncke, D., J. Dahl dan B. Zandstra. 2004. Nutrient Recommendations for Vegetable Crops in Michigan. *Extention Bulletin E2934*. Michigan University Extention. pp 32.

Wolka, K. dan B. Melaku. 2015. Exploring Selected Plant Nutrient in Compost Prepared from Food Waste and Cattle Manure and Its Effect on Soil Properties and Maize Yjeld at. *Environmental Systems Research* 4: 9-15.

Yong, X.Y., W. Raza, G.H. Yu, W. Ran, Q.R. Shen, X.M. Yang. 2011. Optimization of the Production of Poly-G-Glutamic Acid by *Bacillus amyloliquefaciens* C1 in Solid-State Fermentation Using Dairy Manure Compost and Monosodium Glutamate Production Residues as Basic Substrates. *Bioresources Technology*, 102: 7548-7554.

Zhihui, W.E.N., S. Jianbo, M. Blackwell, L.I. Haigang, Z. Bingqiang dan Y. Huimin. 2016. Combined Applications of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers with Manure Increase Maize Yield and Nutrient Uptake via Stimulating Root Growth in a Long-Term Experiment. *Pedosphere*, 26(1): 62-73.

