

**PENCUCIAN KATION BASA PADA ENDAPAN
PIROKLASTIK GUNUNG MERAPI DAN BROMO
DENGAN SIMULASI AIR HUJAN BUATAN**

Oleh
NOVALIA KUSUMARINI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2012

**PENCUCIAN KATION BASA PADA ENDAPAN
PIROKLASTIK GUNUNG MERAPI DAN BROMO
DENGAN SIMULASI AIR HUJAN BUATAN**

Oleh
NOVALIA KUSUMARINI
0810480191
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2012

PERNYATAAN

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

Data yang digunakan dalam publikasi ini merupakan bagian dari penelitian “Studi Pelapukan Bahan Letusan Gunung Merapi dan Bromo sebagai Dasar Rekomendasi Reklamasi Lahan” oleh S.R. Utami, dkk.

Malang, Desember 2012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Novalia Kusumarini
NIM. 0810480191



Judul Skripsi : **PENCUCIAN KATION BASA PADA ENDAPAN PIROKLASTIK GUNUNG MERAPI DAN BROMO DENGAN SIMULASI AIR HUJAN BUATAN**

Nama Mahasiswa : **NOVALIA KUSUMARINI**

NIM : 0810480191

Jurusan : Tanah

Program studi : Agroekoteknologi

Minat : Manajemen Sumberdaya Lahan

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing utama,

Pembimbing pendamping,

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

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Tanah

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

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU

Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc. PhD

NIP. 19540501 198103 1 006

NIP.19611028 198701 2 001

Penguji III

Penguji IV

Ir. Bambang Siswanto, MS

Ir. Retno Suntari, MS

NIP. 19500730 197903 1 001

NIP. 19580503 198303 2 002

Tanggal Lulus :

RINGKASAN

Novalia Kusumarini. 0810480191. Pencucian Kation Basa pada Endapan Piroklastik Gunung Merapi dan Bromo dengan Simulasi Air Hujan Buatan. Dibimbing Oleh: Ir. Sri Rahayu Utami, MSc. PhD dan Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.

Gunung Merapi dan Bromo merupakan gunung yang aktif mengalami erupsi di Indonesia. Hasil letusan gunung tersebut mengandung kation basa utama, yaitu Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ . Pelapukan material piroklastik merupakan proses geokimia yang penting untuk menyediakan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman. Kajian tentang hasil letusan gunung Merapi dan Bromo masih relatif sedikit. Oleh sebab itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui laju pelepasan kation basa endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo. Laju pelepasan kation basa ditentukan dengan simulasi pencucian menggunakan air hujan buatan. Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Mengetahui potensi kandungan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo. (2) Mempelajari laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo. (3) Mempelajari pengaruh intensitas curah hujan terhadap laju pencucian kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo. (4) Mempelajari pengaruh bahan organik terhadap laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Kimia Jurusan Tanah pada bulan Maret hingga September 2012. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap (1) analisis dasar berupa analisis kandungan kimia air hujan, endapan piroklastik, dan kotoran ayam serta seresah daun lamtoro, (2) percobaan pencucian kation basa pada material piroklastik menggunakan metode *lysimeter*, (3) analisis kation basa tercuci menggunakan metode NH_4OAc pH 7. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu variasi intensitas curah hujan dan jenis bahan organik..

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan kation basa pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Penambahan bahan organik, baik kotoran ayam maupun seresah lamtoro meningkatkan ketersediaan kation basa pada material piroklastik Merapi dan Bromo. Laju pelepasan kation basa pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo, tetapi material piroklastik Merapi membutuhkan waktu lebih lama untuk melepaskan kation basa total dibandingkan Bromo. Peningkatan curah hujan mempercepat pelepasan dan pencucian kation basa pada material piroklastik gunung Merapi dan Bromo. Penambahan bahan organik, baik kotoran ayam maupun seresah lamtoro menurunkan pencucian Ca^{2+} dan Mg^{2+} , tetapi meningkatkan pencucian K^+ dan Na^+ . Penambahan bahan organik meningkatkan pelepasan K^+ dan Na^+ dari material piroklastik. Pencucian Ca^{2+} dan Mg^{2+} terendah terdapat pada perlakuan seresah lamtoro. Peningkatan laju pelepasan K^+ dan Na^+ tertinggi terdapat pada perlakuan seresah lamtoro.

SUMMARY

Novalia Kusumarini. 0810480191. Base Cations Leaching in Pyroclastic Deposits from Mount Merapi and Bromo under Artificial Rain Water Simulation. Supervised by: Ir. Sri Rahayu Utami, MSc. PhD and Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.

Mount Merapi and Bromo are most active volcano in Indonesia. Eruption material of these mountains contain main base cations, namely Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and Na^+ . Pyroclastic weathering is important geochemical process to make nutrients become available for plant growth. Study about eruption materials from Mount Merapi and Bromo is still rare. A leaching experiment was done to study the rate of base cations release from pyroclastic deposits of Mount Merapi and Bromo. This research was to study: (1) potential content of base cations from pyroclastic deposits Mount Merapi and Bromo, (2) rate of base cations leaching from pyroclastic deposits Mount Merapi and Bromo, (3) influence of rain fall intensity on base cations leaching rate of pyroclastic deposits from Mount Merapi and Bromo, (4) influence of organic matter to bases cations release rate of pyroclastic deposits Mount Merapi and Bromo.

The research was done in the laboratory of Environment and Chemistry, Soil Department of University of Brawijaya from March to September 2012. The research was divided into three steps: (1) chemical analysis of initial materials, (2) leaching experiment under lysimeter method, and (3) measurement of base cations content using NH_4OAc pH 7 method. This research designed with factorial complete randomized design (RAL F) using two factors (rainfall intensity and organic matters application).

The result showed that the sum of base cations of pyroclastic from Mount Merapi is higher than Bromo. Organic matter application increased available base cations. Base cations released rate of pyroclastic from Mount Bromo is higher than Bromo, however pyroclastic material from Mount Bromo needs more time to release total base cations than Bromo. Increasing rainfall intensity increased the sum of basic cations in the leachate. The addition of organic matter, chicken manure and leucaena litter decrease Ca^{2+} and Mg^{2+} leaching, but increase K^+ and Na^+ leaching. The addition of organic matter increase the release of K^+ and Na^+ from pyroclastic material. The lowest Ca^{2+} and Mg^{2+} in the leachate was in leucaena litter treatment. The highest release of K^+ and Na^+ was in leucaena litter treatment.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pencucian Kation Basa pada Endapan Piroklastik Gunung Merapi dan Bromo dengan Simulasi Air Hujan Buatan”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana S-1 di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Keberadaan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar- besarnya kepada:

1. Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc. PhD dan Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU. selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan saran dan masukan untuk perbaikan skripsi ini;
2. Ir. Bambang Siswanto, MS. dan Ir. Retno Suntari, MS. selaku penguji atas saran dan masukan untuk perbaikan skripsi ini;
3. Kedua orang tua yang tidak pernah bosan memberikan doa dan dorongan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Tanah Universitas Brawijaya, atas dukungan dan kerjasamanya;
5. Saudara dan sahabat atas caranya yang unik dalam memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini;
6. Teman- teman *Soiler* 08 untuk bantuan, dukungan, serta kebersamaan selama ini; dan
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu – persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan penelitian dan penulisan berikutnya. Penulis berharap agar hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Desember 2012

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Novalia Kusumarini, dilahirkan di Jombang pada tanggal 8 November 1989, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dengan seorang ayah yang bernama Drs. Suyoto, M.Si dan seorang ibu bernama Satumi, S.Pd. Penulis memulai pendidikan dengan menjalani taman kanak-kanak di TK Bina Insani, pada tahun 1995–1996 dan melanjutkan sekolah dasar di SDN Candimulyo IV pada 1997–2003, pada tahun 2003–2006 penulis melanjutkan ke SMP Negeri 2 Jombang, kemudian pada tahun 2006–2008 meneruskan ke SMA Negeri 2 Jombang. Pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan S1, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang melalui jalur SNMPTN.

Selama masa kuliah, penulis pernah menjadi asisten praktikum Dasar Budidaya Tanaman (periode 2009-2010), Survei Tanah dan Evaluasi Lahan (periode 2010-2012), Manajemen Kesuburan Tanah dan Dasar Ilmu Tanah (Periode 2012-2013). Selain itu, penulis aktif dalam kegiatan Keorganisasian skala program studi dengan menjabat sebagai Sekretaris Umum Forkano (Forum Komunikasi Agroekoteknologi) periode 2009-2010 dan Kepanitiaan yang diadakan oleh Forkano, HMIT (Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah), serta BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) Fakultas Pertanian.



DAFTAR ISI

RINGKASAN	iv
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	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Hipotesis	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Gunung Berapi di Indonesia	5
2.2. Potensi Kesuburan Piroklastik	6
2.3. Proses Pelapukan Abu vulkan	9
III. METODE PENELITIAN	13
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2. Alat dan Bahan	13
3.3. Metode Penelitian	14
3.4. Pelaksanaan Penelitian	15
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Potensi Kation Basa Material Piroklastik	19
4.2. Kation Basa Tercuci	21
4.3. Estimasi Kation Basa Terlepas	34
4.4. Pembahasan Umum Pelepasan dan Pencucian Kation Basa	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Hal
1.	Ukuran bahan piroklastik (Munir, 2003)	7
2.	Sifat kimia material piroklastik	7
3.	Proporsi ukuran butir abu vulkan Merapi	8
5.	Kebutuhan air hujan per aplikasi	18
6.	Analisis kandungan air hujan dan kation basa material piroklastik	18
7.	Kandungan basa pada endapan piroklastik	20
8.	Rerata akumulasi kandungan Ca^{2+} dalam <i>leachate</i>	22
9.	Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Ca^{2+} di dalam <i>leachate</i>	24
10.	Rerata akumulasi kandungan Mg^{2+} dalam <i>leachate</i>	25
11.	Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Mg^{2+} di dalam <i>leachate</i>	27
12.	Rerata akumulasi kandungan K^{+} dalam <i>leachate</i>	29
13.	Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan K^{+} di dalam <i>leachate</i>	31
14.	Rerata akumulasi kandungan Na^{+} dalam <i>leachate</i>	32
15.	Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Na^{+} di dalam <i>leachate</i>	33
16.	Estimasi Ca^{2+} terlepas pada material piroklastik	35
17.	Estimasi Mg^{2+} terlepas pada material piroklastik	37
18.	Estimasi K^{+} terlepas pada material piroklastik	38
19.	Estimasi Na^{+} terlepas pada material piroklastik	40
20.	Estimasi kation basa terlepas tahunan dan total waktu pelepasan kation basa	41

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Hal
1.	Instalasi alat untuk percobaan pencucian	17
2.	Pola kandungan Ca dalam <i>leachate</i> berdasarkan curah hujan.....	23
3.	Pola kandungan Mg dalam <i>leachate</i> berdasarkan curah hujan.....	26
4.	Pola kandungan K dalam <i>leachate</i> berdasarkan curah hujan	30
5.	Pola kandungan Na dalam <i>leachate</i> berdasarkan curah hujan.....	33



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Hal
1.	Alur pikir penelitian.....	49
2.	Data intensitas curah hujan tahunan Merapi dan Bromo.....	50
3.	Hasil analisis kimia air hujan dan bahan organik.....	51
4.	Perhitungan penambahan bahan organik.....	52
5.	Hasil analisis kandungan kation basa tercuci.....	53
6.	Anova pengaruh perlakuan terhadap Ca tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo.....	56
7.	Anova pengaruh perlakuan terhadap Mg tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo.....	57
8.	Anova pengaruh perlakuan terhadap K tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo.....	58
9.	Anova pengaruh perlakuan terhadap Na tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo.....	59



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh cincin api Pasifik yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik. Hal tersebut menyebabkan banyak terdapat gunung berapi yang terbentang dari pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Bagian Timur Maluku, hingga Sulawesi. Lempeng tektonik yang senantiasa bergerak menjadikan daerah yang berhubungan dengan lempeng tersebut berpotensi mengalami bencana. Bencana geologi yang berkaitan dengan pergerakan lempeng tektonik diantaranya adalah gempa tektonik dan vulkanik, tsunami, *land subsidence*, *uplift*, dan letusan gunung berapi (Zakariah, 2004).

Letusan gunung berapi menyebabkan kerugian, baik materi maupun korban jiwa. Namun, letusan gunung berapi juga membawa manfaat khususnya di bidang pertanian. Dalam jangka panjang, material letusan gunung berapi akan terlapuk dan melepaskan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga dapat meremajakan tanah di bawah endapan material letusan. Pada dasarnya abu vulkan merupakan bahan induk tanah. Bohn *et al.* (2001) menyebutkan Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} merupakan kation basa utama yang dikandung oleh material piroklastik. Kandungan kation basa tersebut dalam material piroklastik sekitar 2%. Namun, kation basa tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman secara langsung karena tidak berada dalam bentuk tersedia. Kation basa tersebut dapat dimanfaatkan oleh tanaman setelah mengalami pelapukan.

Dua gunung yang aktif mengalami erupsi di Indonesia adalah gunung Merapi dan Bromo. Gunung Merapi merupakan gunung yang teraktif di Indonesia. Gunung Merapi berjenis *stratovolcano* dan memiliki ketinggian 2.968 m dpl. Gunung Merapi terletak diempat kabupaten di Jawa Tengah dan Yogyakarta, yaitu lereng sisi selatan berada dalam administrasi kabupaten Sleman, DI Yogyakarta, sisi barat berada di kabupaten Magelang, sisi utara dan timur terletak di kabupaten Boyolali, serta sisi tenggara terletak di kabupaten Klaten, Jawa Tengah (Anonim, 2012). Berdasarkan penelitian Suriadikarta *et al.* (2011), abu vulkan Merapi pada letusan tahun 2010 memiliki kandungan P_2O_5 rendah sampai tinggi, KTK dan MgO rendah, CaO tinggi, SO_3 bervariasi

mulai 2 hingga 160 ppm, serta kandungan logam berat cukup rendah. Hal tersebut berarti abu vulkan Merapi aman untuk kegiatan pertanian.

Gunung Bromo terletak di empat wilayah administratif, yaitu kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, dan Malang. Gunung Bromo berjenis *stratovolcano*, memiliki ketinggian 2.325 m dpl dan aktif mengalami erupsi. Letusan terakhir gunung Bromo terjadi pada tahun 2011. Berdasarkan penelitian Zaennudin (2011), abu vulkan Bromo pada letusan tahun 2010 mengandung 55,77% SiO₂, sedangkan kandungan unsur hara yang lain bervariasi mulai sangat rendah hingga tinggi.

Pelapukan endapan material letusan gunung berapi atau piroklastik merupakan proses geokimia yang penting untuk menyediakan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman. Proses pelapukan dipengaruhi keadaan iklim, yaitu suhu, tekanan, dan kelembaban, serta komposisi mineral. Proses pelapukan dapat dipercepat dengan menambahkan bahan organik. Williams (1949) dalam Hardjowigeno (1993) menekankan pentingnya proses biologi dalam pelapukan tanah. Baik asam organik maupun asam anorganik berperan dalam pelapukan mineral primer dengan kelasi yang menjadi proses utama pelepasan unsur hara dari fase padat dan cair (Schalascha, 1967 dalam Fiantis *et al.*, 2010). Unsur hara yang terlepas dari mineral primer hasil letusan gunung berapi tersebut yang kemudian dapat meningkatkan kesuburan tanah karena dapat menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Menganalisis unsur hara yang tercuci penting untuk memahami proses geokimia yang terjadi pada endapan piroklastik yang diakibatkan oleh air atau asam-asam organik dan anorganik (Fiantis *et al.*, 2010).

Hasil letusan gunung Merapi dan Bromo berdampak pada lahan pertanian sekitarnya. Kajian tentang hasil letusan kedua gunung tersebut masih relatif sedikit. Oleh sebab itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui laju pelepasan kation basa endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo sehingga dapat diperkirakan berapa lama material piroklastik dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman, terutama kation basa. Dalam kajian tersebut, laju pelepasan kation basa ditentukan dengan simulasi pencucian menggunakan air hujan buatan.

Simulasi dilakukan berdasarkan curah hujan yang terjadi di wilayah Merapi dan Bromo. Alur pikir penelitian disajikan dalam Lampiran 1.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk menghindari kesalahan penafsiran pada penelitian ini, maka dirumuskan permasalahan yang akan dijawab. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar potensi kandungan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo?
2. Apakah laju pelepasan kation basa berbeda pada bahan induk yang berbeda (endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo)?
3. Apakah laju intensitas curah hujan mempengaruhi pelepasan kation basa?
4. Apakah pemberian bahan organik dapat mempercepat pelepasan kation basa?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi kandungan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.
2. Mempelajari laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.
3. Mempelajari pengaruh intensitas curah hujan terhadap laju pencucian kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.
4. Mempelajari pengaruh bahan organik terhadap laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.

1.4. Hipotesis

1. Potensi kandungan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi lebih tinggi daripada Bromo.
2. Laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi lebih tinggi daripada Bromo.

3. Peningkatan intensitas curah hujan mempercepat laju pencucian kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.
4. Bahan organik meningkatkan laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai laju pelepasan kation basa pada endapan piroklastik Gunung Merapi dan Bromo. Hal tersebut diharapkan dapat memberi manfaat kepada peneliti selanjutnya terkait kecepatan pelepasan kation basa sehingga material piroklastik dapat diaplikasikan sebagai media tumbuh tanaman.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gunung Berapi di Indonesia

Menurut Nandi (2006) pada umumnya gunung berapi berada pada jalur-jalur tertentu di muka bumi, yaitu: (1) pada jalur punggung tengah samudra, (2) pada jalur pertemuan dua buah lempeng kerak bumi, dan (3) pada titik-titik panas di muka bumi tempat keluarnya magma di benua maupun di samudra. Indonesia merupakan jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung Berapi. Wilayah Indonesia dilalui oleh cincin api Pasifik, dan sebanyak 129 gunung berapi melingkari beberapa pulau di Indonesia, yaitu Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Sulawesi sehingga dikenal sebagai cincin api Indonesia.

Berdasarkan gejala terbentuknya, gunung berapi dibagi menjadi dua, yaitu gunung berapi yang terbentuk akibat pergerakan lempeng dan gaya endogen. Keduanya memiliki sifat dan ciri yang berbeda. Gunung yang terbentuk karena pergerakan lempeng tidak memiliki lubang kepundan sehingga tidak pernah mengeluarkan magma, contohnya gunung Himalaya dan Jaya Wijaya. Sedangkan, gunung yang terbentuk karena gaya endogen memiliki lubang kepundan sehingga mengeluarkan magma dalam periode tertentu (vulkanisme), contohnya adalah gunung Merapi dan Bromo (Munir, 2003).

Beberapa gunung berapi yang terdapat di Indonesia merupakan gunung berapi yang sangat aktif. Gunung berapi yang tercatat sangat aktif di Indonesia adalah gunung Merapi dan Bromo. Gunung Merapi merupakan gunung berapi teraktif di Indonesia yang memiliki ketinggian 2.698 m dpl. Gunung Merapi sangat berbahaya karena gunung ini mengalami erupsi setiap dua hingga lima tahun sekali dan dikelilingi oleh pemukiman yang sangat padat. Sepanjang abad ke 20, gunung Merapi telah mengalami lima kali letusan besar, yaitu pada tahun 1930, 1961, 1994, 2006, dan 2010. Letusan tersebut mengalirkan lahar panas ke arah barat laut, barat, utara, dan selatan. Bahan mineral yang terbawa oleh aliran lahar panas adalah andesit basaltik (Suriadikarta *et al.*, 2011).

Gunung Bromo merupakan kerucut muda pasca pembentukan kaldera dari pegunungan Tengger. Gunung Bromo merupakan salah satu gunung yang paling aktif diantara 129 gunung berapi di Indonesia. Aktivitas gunung Bromo yang terjadi saat ini tidak terlepas dari catatan sejarah geologi kompleks pegunungan Tengger. Endapan jatuhan abu atau jatuhan piroklastik yang didominasi oleh pasir halus merupakan ciri khas gunung Bromo. Batuan di sekitar dan di dalam kaldera lautan pasir terbentuk dari abu dan endapan pasir yang berhubungan dengan pembentukan kaldera lautan pasir gunung Widodaren (Zaennudin, 1990). Gunung Bromo yang memiliki ketinggian 2.392 m dpl ini telah beberapa kali meletus selama abad ke 20. Letusan terbesar terjadi pada tahun 1974 dan letusan terakhir terjadi pada tahun 2010. Pada letusan tahun 2010 terjadi erupsi terus menerus yang berlangsung di gunung Bromo mulai akhir November 2010 hingga awal 2011. Hal tersebut merupakan kejadian erupsi yang luar biasa karena biasanya erupsi gunung Bromo hanya berlangsung beberapa hari saja. Proses tersebut merupakan erupsi freatomagmatik yang diakibatkan oleh kontak antara magma dengan air bawah permukaan atau formasi batuan yang banyak mengandung air menghasilkan abu dan material halus lainnya (Zaennudin, 2011).

2.2. Potensi Kesuburan Piroklastik

Letusan gunung berapi merupakan bencana alam yang seringkali mengakibatkan korban, baik jiwa maupun material. Namun, dalam jangka panjang material letusan gunung berapi akan terlapuk dan melepaskan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga dapat meremajakan kesuburan tanah. Dalam Munir (2003) disebutkan bahwa material letusan gunung berapi merupakan bahan yang kaya akan unsur pupuk (P_2O_5 , K_2O , CaO , dan MgO) sehingga akan meningkatkan kesuburan tanah dikemudian hari.

Ketika terjadi erupsi, gunung berapi mengeluarkan material baik yang padat, cair, dan gas. Material padatan yang dikeluarkan karena letusan gunung berapi disebut material piroklastik atau *tephra*. Berdasarkan ukurannya, Munir (2003) mengklasifikasikan ukuran bahan piroklastik menjadi 4, yaitu bom, lapili, pasir gunung api, dan abu vulkan. Tabel 1 menjelaskan sifat dan ciri dari material piroklastik.

Tabel 1. Ukuran bahan piroklastik (Munir, 2003)

No.	Nama bahan	Diameter (mm)	Sifat dan ciri
1.	Bom	>32	Berupa bahan lepas dari erupsi gunung berapi dan kasar
2.	Lapili	4 – 32	Berupa bahan lepas dari erupsi gunung berapi dan tajam
3.	Pasir gunung api	0,25 – 4	Berupa bahan lepas dari erupsi gunung berapi dan tumpul
4.	Abu vulkan	<0.25	Berupa bahan lepas, halus, dan beterbangan di udara.

2.2.1. Komposisi material piroklastik

Berdasarkan kadar silikanya, McGeary (2002) dalam Fiantis (2006) membagi batuan hasil erupsi gunung berapi menjadi 3, yaitu batu vulkanis masam (kadar $\text{SiO}_2 > 65\%$), sedang ($35 - 65\%$) dan basa atau alkali ($<35\%$). Adapun material piroklastik secara umum mengandung beberapa unsur kimia yang dominan, yaitu silika dan alumina (Lasino dan Cahyadi, 2011). Berdasarkan kandungan SiO_2 , material piroklastik Merapi dan Bromo dikategorikan menjadi batu vulkanik sedang. Adapun komposisi kimia material piroklastik Merapi dan Bromo disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sifat kimia material piroklastik

No.	Senyawa	Satuan	Kandungan	
			Merapi (Lasino dan Cahyadi, 2011)	Bromo (Zaennudin, 2011)
1.	SiO_2	%	63,90	55,77
2.	Al_2O_3	%	17,67	16,87
3.	Fe_2O_3	%	1,75	10,20
4.	CaO	%	7,10	8,75
5.	MgO	%	2,96	1,98
6.	K_2O	%	2,66	1,93
7.	Na_2O_3	%	3,27	3,07
8.	SO_3	%	0,07	1,30

Berdasarkan kemasamannya, material piroklastik yang baru tererupsi bersifat lebih masam daripada yang sudah terkena air hujan. Menurut penelitian Cahyandaru (2011) sesaat setelah hujan abu pengukuran terhadap pH piroklastik Merapi menunjukkan kondisi masam, yaitu pH 5. Hal tersebut menyebabkan terjadinya kerusakan pada beberapa tempat di Candi Borobudur. Setelah terjadi hujan, pH piroklastik meningkat menjadi 6,75. Selain meningkatkan pH, hujan

juga meningkatkan unsur kimia yang terkandung di dalam piroklastik serta menyebabkan terjadinya pertukaran anion-kation karena air hujan juga mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, seperti fosfat, nitrit, kalium, kalsium, dan magnesium (Root, 2004).

Secara fisik, karakteristik abu vulkan berbeda dengan debu biasa meskipun memiliki ukuran yang sama. Abu vulkan lebih tajam sehingga dapat merusak paru-paru jika terhirup. Material piroklastik Merapi berbentuk butiran halus sampai sedang, memiliki ukuran butir yang beragam dan berwarna abu-abu kehitaman (Lasino dan Cahyadi, 2011). Adapun proporsi ukuran butiran abu vulkan Merapi menurut Cahyandaru (2011) disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Proporsi ukuran butir abu vulkan Merapi

No.	Klasifikasi	Ukuran	Proporsi (%)
1.	Pasir kasar	> 1 mm	10
2.	Pasir sedang	0,25 – 1 mm	10
3.	Pasir halus	0,125 – 0,25 mm	29,1
4.	Pasir sangat halus	< 0,125 mm	50,9

Erupsi Bromo merupakan erupsi freatomagnetik yang diakibatkan oleh kontak magma dengan air bawah permukaan atau formasi batuan yang banyak mengandung air sehingga menghasilkan abu dan material vulkanik lainnya (Zaennudin, 2011). Ukuran piroklastik Bromo didominasi oleh debu sampai pasir halus. Sedangkan warna abu vulkan Bromo adalah coklat kemerahan (Saputra, 2011). Dominasi coklat kemerahan ini menunjukkan dominasi kandungan silika tinggi.

2.2.2. Sifat tanah vulkanik

Tanah-tanah yang terbentuk akibat aktivitas gunung berapi memiliki sifat yang unik. Tanah-tanah yang berkembang dari abu vulkan dicirikan oleh kandungan mineral liat alofan yang tinggi (Hardjowigeno, 1993). Tanah yang tertutup *tephra* di dataran tinggi Columbia memiliki keseimbangan material berukuran debu mencapai 80-90% dari matrik tanah yang mengandung kuarsa, mikas, dan material primer lainnya (Bussaca *et al.*, 2001). Keberadaan *tephra* di

tanah menjadi penting karena gelas vulkan dapat mempengaruhi sifat fisik, kimia, kesuburan, dan erodibilitas tanah.

Secara umum, Wraight (1964) *dalam* Hardjowigeno (1993) menjelaskan sifat-sifat tanah yang kaya akan alofan dan terbentuk dari gelas vulkan, yaitu (1) terdapat lapisan permukaan yang hitam yang terdiri dari senyawa humik yang tahan terhadap dekomposisi mikroorganisme, (2) lapisan subsoil berwarna kecoklatan dan terasa licin bila digosok diantara jari, (3) berat isi sangat rendah, yaitu $< 0,85 \text{ g/cm}^3$, (4) daya menahan air tinggi, (5) perkembangan struktur tanah baik, tetapi agak lemah dan porous, (6) tidak ada sifat lekat dan plastis bila lembab, (7) kalau dikeringkan menjadi sukar dibasahi kembali dan mengapung dalam air, (8) kapasitas tukar kation tinggi, (9) tanah sulit didispersi sehingga sulit melakukan analisa tekstur, (10) mempunyai retensi P relatif tinggi.

2.3. Proses Pelapukan Abu vulkan

Letusan gunung berapi merupakan bencana alam yang menyebabkan banyak kerugian, baik jiwa maupun materi. Abu vulkan hasil erupsi dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan kerusakan infrastruktur. Disisi lain abu vulkan juga dapat meremajakan kesuburan tanah setelah mengalami pelapukan dan melepaskan unsur hara. Fiantis (2006) menjelaskan bahwa abu vulkan yang terdeposisi di atas permukaan tanah akan mengalami pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik yang terdapat di dalam tanah.

2.3.1. Pelapukan piroklastik

Pelapukan merupakan proses penghancuran fisik dan kimia dari batuan, karena mineral-mineral dalam batuan tersebut tidak membentuk keseimbangan dengan suhu, tekanan, dan kelembaban yang ada (Hardjowigeno, 1993). Faktor alam yang sangat mempengaruhi laju pelapukan adalah suhu dan kelembaban (Bohn *et al.*, 2001). Di tempat yang memiliki suhu dan kelembaban tinggi pelapukan berjalan lebih cepat dibandingkan dengan tempat yang memiliki suhu dan kelembaban rendah. Pelapukan merupakan bagian yang penting dalam pembentukan dan perkembangan tanah. Jenny (1941) *dalam* Bohn *et al.* (2001) menjelaskan bahwa perkembangan tanah merupakan hasil dari 5 faktor

pembentuk tanah, yaitu iklim, topografi, organisme, bahan induk, dan waktu. Adapun hubungan antara pelapukan dengan kelima faktor tersebut dijelaskan bahwa laju pelapukan terhadap waktu merupakan fungsi iklim, topografi, bahan induk, dan organisme.

Material piroklastik biasanya banyak mengandung gelas vulkan yang amorf, sedikit feldspar, mineral-mineral kelam ($\text{Fe}^{2+/3+}$ dan Mg^{2+}), dan sejumlah kuarsa (Hardjowigeno, 1993). Gelas vulkan berasal dari sisa magma yang telah mengalami kristalisasi, sehingga susunan kimianya berbeda-beda. Gelas vulkan yang banyak mengandung SiO_2 lebih sukar melapuk dibandingkan dengan yang kaya akan Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan $\text{Fe}^{2+/3+}$. Gelas vulkan gunung Merapi dan Bromo merupakan gelas vulkanik yang banyak mengandung unsur hara.

Fiantis (2006) melakukan penelitian pencucian material piroklastik gunung Talang dengan air deionisasi. Air deionisasi merepresentasikan kejadian hujan di alam. Hujan merupakan faktor yang penting dalam pelapukan material piroklastik. Curah hujan rendah menyebabkan aktivitas silika dalam larutan tanah tinggi sehingga mendukung pembentukan haloisit. Sebaliknya, curah hujan tinggi menyebabkan aktivitas silika dalam larutan tanah rendah, sehingga mendukung pembentukan mineral *short range order* (SRO) (Parfitt, 1983 dalam Rasmussen *et al.*, 2006).

Selain mendukung pelapukan secara fisik, hujan juga mendukung keseimbangan unsur di dalam tanah. Kandungan kimia air hujan dapat berbeda pada masing-masing wilayah tergantung pada keadaan lingkungan di wilayah tersebut. Pengukuran kandungan kimia air hujan penting dilakukan untuk mengetahui jejak aktivitas manusia yang dapat menyebabkan perubahan kandungan unsur hara yang mungkin dapat masuk ke tanah karena proses infiltrasi. Kandungan kimia air hujan yang dominan di Amerika Serikat adalah anion klorida, nitrat, dan sulfat. Sedangkan anion fosfat dan nitrit persebarannya tidak merata. Kandungan kloride berhubungan dengan lokasi yang dekat dengan laut karena kaya kandungan garam. Level $\delta^{18}\text{O}$ juga dipengaruhi oleh letak geografis, sebagaimana ketinggian tempat, intensitas curah hujan, dan jarak dari sumber air hujan (Root, 2004).

2.3.2. Pencucian material piroklastik

Pencucian berarti hilangnya substansi yang terlarut dan koloid dari lapisan atas tanah karena perkolasi. Material yang hilang tereluviasasi dan diendapkan (iluviasi) di lapisan bawahnya. Perpindahan ini menyebabkan tanah lapisan atas menjadi lebih porous sehingga berat isinya berkurang. Sebaliknya, tanah lapisan bawah menjadi lebih padat (Encyclopedia Britannica, 2012).

Pencucian bertanggung jawab terhadap hilangnya unsur hara terlarut karena air gravitasi. Keadaan iklim, terutama curah hujan mempengaruhi pencucian. Keadaan iklim dan pengaruhnya terhadap derajat pencucian dan larutan tanah juga berpengaruh terhadap pelapukan material vulkanik dan mineral neogenesis sekunder. Material vulkanik dapat melapuk menjadi material *short range order* (SRO) atau kaolinit, tergantung jumlah hujan dan aktivitas silika (Parfitt, 1983 dalam Ramussen *et al.*, 2006). Curah hujan yang rendah menyebabkan aktivitas silika tinggi pada larutan, hal tersebut dapat mendukung pembentukan haloisit. Selain hujan, suhu juga mempengaruhi pembentukan material SRO atau mineral kristalin, dengan pengkristalan yang didukung oleh suhu yang lebih hangat dan kering (Talibudeen, 1981; Schwertmann, 1985 dalam Ramussen *et al.*, 2006).

2.3.3. Pengaruh bahan organik terhadap pelapukan mineral

Menambahkan bahan organik ke dalam material piroklastik bermanfaat untuk meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Bohn *et al.* (2001) menjelaskan bahwa bahan organik dapat meningkatkan KTK tanah sebesar 20 – 70%. KTK bahan organik dan liat silikat meningkat seiring peningkatan pH, tetapi KTK bahan organik meningkat lebih cepat. Bahan organik menyediakan muatan negatif yang penting untuk retensi dan pertukaran ion dan molekul serta jerapan air dan gas.

Bahan organik dapat mempercepat pelapukan. Hardjowigeno (1993) menjelaskan bahwa asam-asam yang dilepaskan sebagai hasil dekomposisi bahan organik mempercepat pelapukan mineral yang mengandung banyak basa-basa, sehingga terbentuk unsur hara yang mudah larut dalam air. Bahan-bahan yang terbentuk dapat tinggal di kompleks jerapan atau tercuci ke lapisan bawah.

Pencucian unsur hara yang dilepaskan selama pelapukan dapat ditahan oleh koloid bahan organik.

Evangelou (1998) menjelaskan bahwa ligan organik yang berikatan dengan oksigen (seperti asam organik sederhana dari gugus karboksil atau fenolik) bertindak sebagai basa kuat dan memilih ikatan dengan logam kuat, diantaranya adalah Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Hal tersebut menjelaskan bahwa menambahkan bahan organik dapat menurunkan pencucian basa-basa karena dijerap dalam koloid bahan organik. Karena salah satu sifat bahan organik menurut Evangelou (1998) adalah menambah area jerapan.

Beberapa penelitian menjelaskan manfaat bahan organik dalam menurunkan pencucian. Widowati (2010) menjelaskan bahwa menambahkan kotoran ayam dapat menurunkan pencucian nitrat sebesar 51,86% dibandingkan kontrol. Budiyanto (2010) juga menyatakan hal yang sama bahwa menambahkan bahan organik ke dalam pasir pantai Kulon Progo dapat menurunkan pencucian nitrat serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman jagung.



III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya pada bulan Maret hingga September 2012. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah analisis dasar berupa analisis kandungan kimia air hujan, material piroklastik gunung Merapi dan Bromo, dan kotoran ayam serta seresah daun lamtoro. Tahap kedua adalah percobaan pencucian kation basa pada endapan piroklastik. Tahap ketiga adalah analisis kation basa tercuci pada *leachate*.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga, yaitu alat untuk percobaan pencucian kation basa, alat untuk analisis kandungan kation basa, serta *software* untuk analisis data. Alat yang digunakan untuk percobaan pencucian antara lain *lysitube* dengan diameter 5 cm dan panjang 35 cm yang berfungsi sebagai wadah material piroklastik. Cawan yang diletakkan di bawah *lysitube* untuk menampung hasil pencucian. Serta botol semprot untuk menyemprotkan air hujan buatan di atas endapan piroklastik.

Sedangkan alat untuk analisis kation basa antara lain labu erlenmeyer, tabung ukur, pipet, tabung reaksi, serta AAS sebagai alat untuk menganalisis kandungan Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ .

Alat yang digunakan untuk menganalisis data berupa *software* komputer, yaitu SPSS 16.0 untuk melakukan analisis regresi sehingga didapatkan hubungan masing-masing perlakuan pada percobaan pencucian. *Microsoft Office* 2007 digunakan mengetik laporan dan mengolah data sementara.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan terbagi menjadi dua, yaitu bahan yang digunakan untuk percobaan pencucian kation basa, dan bahan yang digunakan untuk analisis

kation basa. Bahan yang digunakan untuk percobaan pencucian antara lain endapan piroklastik yang diambil dari hasil letusan gunung Merapi dan Bromo sebagai material utama. Kotoran ayam dan seresah daun lamtoro yang ditambahkan dalam material piroklastik sesuai perlakuan penelitian. Kapas untuk menahan bahan tetap pada kolom. Sedangkan bahan yang digunakan untuk analisis kandungan basa adalah aquades dan bahan kimia lain sesuai kebutuhan analisis sesuai metode NH_4OAc pH 7.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Rancangan penelitian (RALF)

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) dengan dua faktor. Faktor pertama adalah intensitas curah hujan yang terdiri dari 2 perlakuan. Faktor kedua adalah bahan organik yang terdiri dari 2 jenis. Variabel dari masing-masing faktor tersebut adalah:

1. Faktor pertama: variasi intensitas curah hujan
 - A : Intensitas curah hujan aktual di gunung Merapi (2440 mm/ tahun)
 - B : Intensitas curah hujan aktual di gunung Bromo (1520 mm/tahun)
2. Faktor kedua: jenis bahan organik
 - 0 : kontrol (tanpa penambahan bahan organik)
 - 1 : kotoran ayam
 - 2 : seresah daun lamtoro

Masing-masing perlakuan dikombinasikan satu dengan yang lain sehingga didapatkan 6 kombinasi perlakuan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga terdapat 18 unit percobaan untuk masing-masing endapan piroklastik sehingga total unit percobaan dalam penelitian ini adalah 36 unit percobaan. Pengkodean unit percobaan didasarkan pada sumber bahan, curah hujan, serta jenis bahan organik yang ditambahkan. Unit percobaan untuk masing-masing perlakuan disajikan dalam tabel 4.

Penelitian ini mensimulasikan dua tahun terjadinya hujan aktual di lapangan, yang terbagi menjadi bulan basah dan bulan kering. Dikatakan bulan basah bila memiliki curah hujan lebih dari 100 mm, bulan kering bila memiliki

curah hujan kurang dari 60 mm. Pengkodean waktu simulasi adalah T1 untuk tahun pertama dan T2 untuk tahun kedua. Pengkodean keadaan curah hujan adalah BB untuk simulasi bulan basah dan BK untuk simulasi bulan kering.

Tabel 4. Unit percobaan pada endapan piroklastik

Kode	Sumber		Curah hujan			Bahan organik	
	Merapi	Bromo	A	B	Kontrol	Kotoran ayam	Seresah lamtoro
M_AB₀	√		√		√		
M_AB₁	√		√			√	
M_AB₂	√		√				√
M_BB₀	√			√	√		
M_BB₁	√			√		√	
M_BB₂	√			√			√
B_AB₀		√	√		√		
B_AB₁		√	√			√	
B_AB₂		√	√				√
B_BB₀		√		√	√		
B_BB₁		√		√		√	
B_BB₂		√		√			√

3.3.2. Analisis data

Data yang diperoleh diuji secara statistik menggunakan Anova RAL (Rancangan Acak Lengkap) faktorial dengan uji F (taraf 5 %) untuk melihat perbedaan pengaruh antar perlakuan. Bila terdapat pengaruh antar perlakuan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5 %. Kemudian untuk mengetahui keeratan hubungan antar parameter pengamatan dilakukan uji korelasi dengan menggunakan *software* SPSS 16.0.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Analisis kandungan kimia endapan piroklastik

Sampel endapan piroklastik yang diambil adalah material terbaru dari letusan gunung Merapi dan Bromo, yaitu letusan pada akhir tahun 2010 hingga awal tahun 2011. Selanjutnya, sampel dianalisis kandungan kimianya khususnya kandungan basa dengan metode sesuai yang digunakan di laboratorium kimia Jurusan Tanah, Universitas Brawijaya.

3.4.2. Analisis kandungan kimia air hujan

Sampel air hujan yang digunakan merupakan air hujan yang dikumpulkan di desa Sumbersari, kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Sampel diambil dari tempat yang tidak ternaungi, baik oleh atap maupun pohon.

Sampel air hujan kemudian dianalisis kandungan kimianya, yaitu pH, amonium, nitrit, nitrat, fosfat, sulfat, chloride, kalsium, magnesium, kalium, dan natrium. Analisis kimia (kecuali nitrit dan chloride) menggunakan metode yang ditetapkan oleh laboratorium kimia, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Sedangkan, analisis nitrit dan chloride dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Perum Jasa Tirta, Malang. Setelah mengetahui kandungan kimia air hujan, selanjutnya dibuat air hujan buatan. Air hujan buatan dibuat dengan cara mencampurkan aquades dengan unsur yang terkandung di dalam air hujan.

3.4.3. Persiapan bahan

Persiapan bahan meliputi persiapan endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo serta persiapan bahan organik yang akan dicampur dengan endapan piroklastik.

1. Persiapan endapan piroklastik

Endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo diayak dengan ayakan 2 mm agar mendapatkan partikel yang ukurannya seragam.

2. Persiapan bahan organik

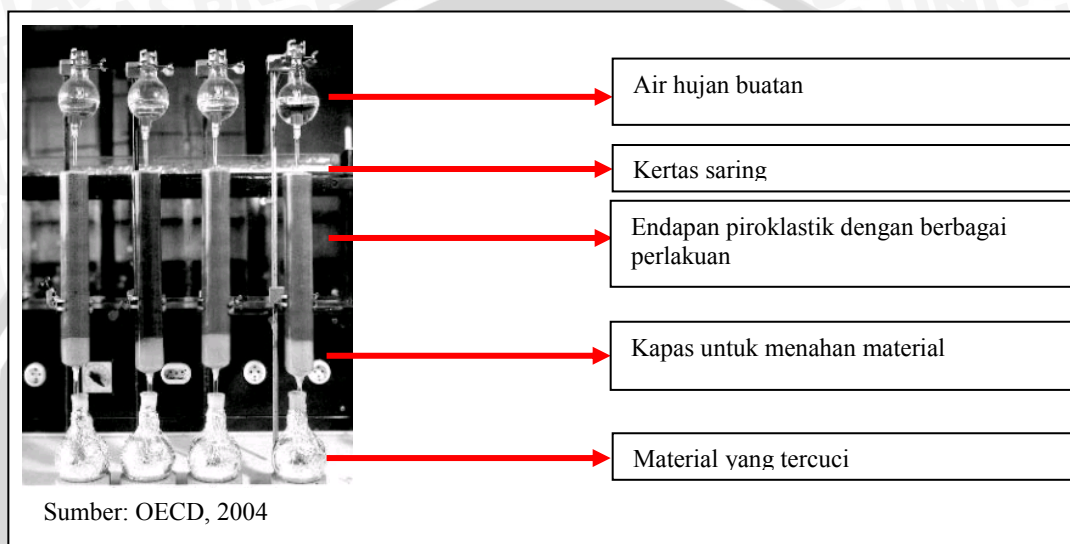
Bahan organik yang digunakan berasal dari kotoran ayam dan seresah daun lamtoro. Kedua bahan tersebut dikeringudarkan kemudian diayak dengan ayakan 2 mm untuk mendapatkan partikel dengan ukuran seragam.

3. Pencampuran bahan

Masing-masing endapan piroklastik dicampur dengan bahan organik sesuai dengan perlakuan yang ditetapkan dengan dosis 20 ton/ ha. Pencampuran dilakukan secara merata. Setelah bahan tercampur merata, selanjutnya bahan siap diaplikasikan ke *lysitube*.

3.4.4. Percobaan pencucian

Percobaan pencucian menggunakan metode *lysimeter*. Endapan piroklastik dengan berbagai perlakuan dimasukkan ke dalam tabung yang telah dihubungkan dengan cawan penampung hasil pencucian dan botol semprot untuk air hujan buatan (Gambar 1).



Gambar 1. Instalasi alat untuk percobaan pencucian

Bahan yang sudah dipersiapkan dimasukkan ke dalam tabung. Sebelumnya, bagian bawah tabung diberi kapas untuk menahan bahan agar tetap pada tabung. Air hujan buatan dimasukkan ke dalam botol semprot, untuk menghindari dispersi endapan piroklastik, maka diberikan kertas saring di atas sampel. Air hujan selanjutnya dialirkan ke sampel di dalam tabung. Masing-masing kolom dialirkan air hujan dengan jumlah yang berbeda berdasarkan simulasi bulan basah dan bulan kering aktual pada lokasi pengambilan sampel. Jumlah air hujan yang diberikan merupakan curah hujan rata-rata tahunan dalam satu. Dalam penelitian ini mensimulasikan 2 tahun keadaan curah hujan di lapang. Pemberian air hujan buatan dilakukan sebanyak dengan asumsi curah hujan bulanan dan disimulasikan selama 12 minggu. Interval antara simulasi pertama dengan yang lainnya adalah 3-4 hari sehingga dalam satu minggu terdapat dua kali aplikasi air hujan buatan. Keadaan curah hujan yang diaplikasikan terlebih dahulu adalah bulan basah kemudian bulan kering. Adapun jumlah air hujan yang diberikan pada masing-masing aplikasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan air hujan per aplikasi

Lokasi	CH (mm)		Bulan hujan		Volume air (ml)/ aplikasi	
	BB	BK/BL	BB	BK/ BL	BB	BK/ BL
Bromo	1471	48	6	6	390	13
Merapi	2301	146	6	6	523	46

Keterangan: BB = bulan basah (curah hujan bulanan > 100 mm); BL = bulan lembab (curah hujan bulanan antara 60 – 100 mm); BK = bulan kering (curah hujan bulanan < 60 mm)

Material yang tercuci ditampung dalam cawan yang dipasang di bawah tabung. Hasil pencucian pada masing-masing unit perlakuan dianalisis kandungan basa untuk mengetahui basa-basa yang tercuci karena air hujan pada endapan piroklastik dan perlakuan yang lain. Analisis kation basa tercuci dilakukan 2 kali, yaitu pada akhir musim (bulan basah dan bulan kering). Metode yang serupa telah dilakukan oleh Jiao *et al.* (2004) dalam penelitiannya berjudul *Agricultural Practice Influence Dissolved Nutrient Leaching through Intact Soil Cores*.

3.4.5. Analisis kandungan basa tercuci

Analisis kandungan basa dilakukan terhadap hasil pencucian (*leachate*) pada masing-masing unit perlakuan. Parameter yang diamati adalah kandungan Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ . Adapun metode analisis yang digunakan serta waktu analisis disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6 . Analisis kandungan air hujan dan kation basa material piroklastik

Macam analisis	Jenis analisis	Waktu analisis						Metode
		t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	
Air hujan	K, Na, Ca, Mg	√						NH ₄ OAc pH 7
	PO ₄ , NH ₄ ,	√						Kolorimetri
	SO ₄	√						Turbidimetri
	NO ₃ , NO ₂	√						Spektrofotometri
	Cl	√						Argentometri
	pH	√						pH meter
	K, Na, Ca, Mg	√					√	NH ₄ OAc pH 7
Endapan piroklastik+BO Leachate	K, Na, Ca, Mg		√	√	√	√		NH ₄ OAc pH 7

Keterangan: t₀: sebelum percobaan pencucian; t₁: setelah bulan basah tahun pertama; t₂: setelah bulan kering tahun pertama; t₃: setelah bulan basah tahun kedua; t₄: setelah bulan kering tahun kedua; t₅: setelah percobaan pencucian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Potensi Kation Basa Material Piroklastik

Abu vulkan merupakan sumber unsur hara yang berpotensi meremajakan kesuburan tanah. Abu vulkan kaya akan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman, termasuk kation basa. Endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo memiliki potensi kandungan basa tinggi. Menambahkan bahan organik baik kotoran ayam maupun seresah lamtoro meningkatkan potensi kation basa endapan piroklastik.

Tabel 7 menunjukkan kandungan basa total dan tersedia pada endapan piroklastik yang berasal dari Merapi dan Bromo. Kandungan basa total merupakan kation basa yang terkandung di dalam mineral. Kandungan basa total pada perlakuan bahan organik merupakan akumulasi kandungan basa mineral piroklastik dan bahan organik. Kandungan basa tersedia merupakan kation basa yang telah terlapuk yang terdapat di dalam larutan maupun koloid bahan organik sebelum percobaan pencucian dilakukan. Rerata kandungan basa tertinggi terdapat pada endapan piroklastik yang dicampur dengan seresah lamtoro, sedangkan perlakuan kontrol memiliki kandungan basa terendah. Kandungan Ca^{2+} , K^+ , dan Na^+ total material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Sebaliknya, kandungan Mg^{2+} total material piroklastik Merapi lebih rendah dibandingkan Bromo. Kandungan kimia material piroklastik dipengaruhi oleh komposisi magma. Baik Merapi maupun Bromo memiliki komposisi magma andesit-basaltik yang kaya akan unsur hara (Kadarsetia *et al.*, 2010; Zaennudin *et al.*, 2012). Tipe komposisi magma tersebut merupakan tipe magma yang dominan di pulau Jawa dengan kandungan silika kurang lebih 55% (Zaennudin, 2010). Kandungan silika material piroklastik Merapi dan Bromo pada letusan terakhir (periode tahun 2010-2011) adalah 53,92% dan 56,31% (Utami, 2011). Dengan demikian, material piroklastik tersebut memiliki sifat kemasaman intermedier. Selain ditentukan kadar silika, sifat kemasaman batuan juga ditentukan oleh mineral kelam (mineral kaya akan Fe dan Mg). Semakin sedikit mineral kelam, maka sifat batuan semakin masam (Hardjowigeno, 1993). Kandungan Fe material piroklastik Merapi dan Bromo adalah 0,70% dan 0,61% (Utami, 2011),

kandungan Mg^{2+} terdapat pada tabel 7. Sifat kemasaman batuan turut menentukan kecepatan mineral melapuk dan kandungan basa tanah yang dihasilkan. Batuan yang memiliki kandungan SiO_2 rendah dan mineral kelam tinggi merupakan mineral yang mudah lapuk dan menghasilkan tanah dengan kejenuhan basa tinggi (Hardjowigeno, 1993). Berdasarkan hasil penelitian Utami (2011) diketahui bahwa potensi kecepatan melapuk dan kejenuhan basa material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo karena kandungan SiO_2 lebih rendah, kandungan Fe lebih tinggi, serta kandungan basa-basa relatif lebih tinggi.

Tabel 7. Kandungan basa pada endapan piroklastik

Asal	Perlakuan	Kandungan basa total (%)*				Kandungan basa tersedia (ppm)			
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
Merapi	Kontrol	0.49	0.06	0.52	0.14	284.00	181.92	28.20	72.32
	Kotoran ayam	0.66	0.15	0.66	0.25	348.00	222.96	48.64	73.82
	Seresah lamtoro	0.7	0.16	0.71	0.28	372.00	238.32	50.88	89.34
Bromo	Kontrol	0.15	0.2	0.01	0.02	232.00	81.60	25.74	51.37
	Kotoran ayam	0.25	0.24	0.09	0.08	282.80	101.52	26.19	70.83
	Seresah lamtoro	0.27	0.25	0.11	0.1	348.00	124.80	26.47	91.31

Keterangan: * Berdasarkan hasil penelitian Utami (2011)

Secara rata-rata, kandungan basa tersedia yang terdapat pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Penambahan bahan organik meningkatkan ketersediaan kandungan basa material piroklastik Merapi dan Bromo. Secara rata-rata penambahan seresah lamtoro meningkatkan ketersediaan basa lebih tinggi dibandingkan kotoran ayam. Hal tersebut dikarenakan kandungan kation basa seresah lamtoro lebih tinggi dibandingkan kotoran ayam (Lampiran 3). Material piroklastik Merapi dan Bromo memiliki kandungan Ca^{2+} tersedia tertinggi pada semua perlakuan, tetapi memiliki kandungan K^+ terendah. Jumlah Ca^{2+} yang lebih tinggi dibanding kation yang lain diduga karena jumlah relatif Ca^{2+} lebih tinggi dibandingkan Mg^{2+} dan jumlah relatif Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih tinggi dibandingkan K^+ dan Na^+ .

Menurut Bohn *et al.* (2001) tanah pertanian yang produktif kaya akan Ca^{2+} dengan proporsi $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$. Deviasi dari proporsi ini menyebabkan masalah ketidakseimbangan ion bagi tanaman. Berdasarkan

kandungan kation basa total dan tersedia dapat disimpulkan bahwa potensi kesuburan material piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo.

4.2. Kation Basa Tercuci

Kation basa tercuci ditunjukkan oleh kandungan kation basa yang terkandung di dalam *leachate*. Pencucian kation basa terjadi karena air gravitasi membawa kation basa tersedia dalam material piroklastik. Apabila jumlah kation basa tercuci lebih rendah dibandingkan tersedia, maka diestimasikan bahwa belum ada pelepasan kation basa dari material piroklastik selain pada masa sebelum inkubasi. Sebaliknya, bila jumlah kation basa tercuci lebih tinggi daripada kation basa tersedia, maka diestimasikan telah terjadi pelepasan kation basa lebih lanjut dari material piroklastik.

4.2.1. Kalsium (Ca^{2+}) tercuci

Kalsium (Ca^{2+}) merupakan kation basa yang tersedia dalam jumlah besar pada material piroklastik baik yang berasal dari gunung Merapi maupun Bromo. Pencucian Ca^{2+} dimaksudkan untuk mempelajari pola pelepasannya oleh material piroklastik sekaligus menahannya dalam kompleks jerapan.

Penambahan bahan organik pada material piroklastik Merapi dan perbedaan intensitas curah hujan berpengaruh sangat nyata terhadap Ca^{2+} tercuci selama dua tahun simulasi bulan basah (BB) dan bulan kering (BK). Sedangkan kombinasi antara curah hujan dan bahan organik berpengaruh sangat nyata terhadap Ca^{2+} tercuci pada bulan basah tahun pertama (T1BB), tetapi tidak berpengaruh nyata pada bulan kering tahun pertama (T1BK), bulan basah tahun kedua (T2BB), dan bulan kering tahun kedua (T2BK). Penambahan bahan organik pada material piroklastik Bromo memberikan pengaruh sangat nyata pada simulasi T1BB, T1BK, serta T2BB, sedangkan pada T2BK tidak berpengaruh nyata. Perbedaan curah hujan berpengaruh sangat nyata terhadap Ca^{2+} tercuci pada simulasi T1BB, T1BK dan T2BK, sedangkan pada simulasi T2BB berpengaruh nyata (Lampiran 6).

Tabel 8 menunjukkan Ca^{2+} tercuci pada endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo pada dua tahun simulasi bulan basah (BB) dan bulan kering (BK).

Material piroklastik Merapi tanpa penambahan bahan organik (kontrol) memberikan hasil pencucian tertinggi dibandingkan dengan perlakuan bahan organik selama dua tahun simulasi pada kedua intensitas curah hujan. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik dapat menurunkan kandungan basa tercuci. Hal tersebut dikarenakan oleh kation dapat diikat oleh bahan organik yang bermuatan negatif. Keseimbangan ion diatur di dalam koloid tanah, pertukaran anion-kation yang dapat dilakukan oleh liat silikat dan bahan organik. Hal tersebut ditegaskan oleh Bohn *et al.* (2001) bahwa ion-ion di dalam tanah dapat ditahan oleh interaksi dengan bahan organik bahkan bahan organik dapat meningkatkan KTK tanah sebesar 20 – 70%.

Tabel 8. Rerata akumulasi kandungan Ca^{2+} dalam *leachate*

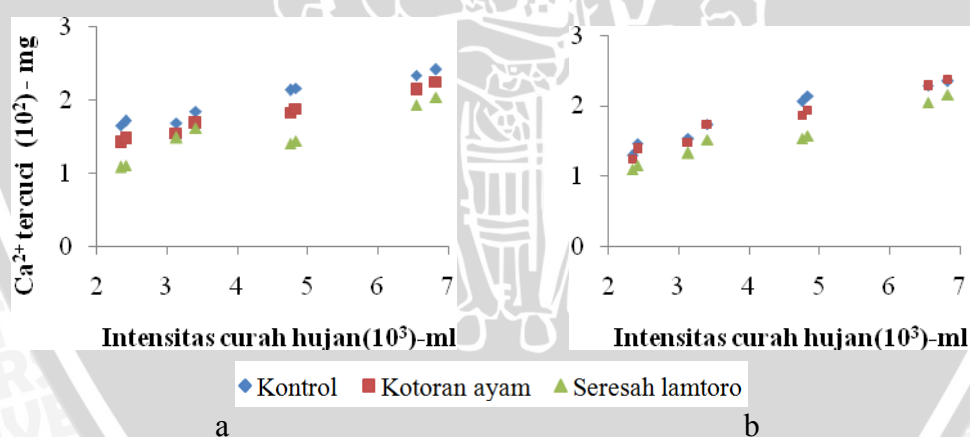
		Ca^{2+} tercuci (mg)					
		CH = 2444 mm			CH = 1520 mm		
		Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro	Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro
T1BB	Merapi	169.20	154.62	148.80	165.60	141.60	108.19
	Bromo	152.91	148.33	132.52	128.71	123.85	110.21
T1BK	Merapi	15.70	13.42	12.68	6.23	5.56	2.72
	Bromo	21.00	24.85	18.89	17.99	13.87	4.44
T2BB	Merapi	49.65	45.80	32.55	41.88	35.28	29.88
	Bromo	53.88	54.00	53.28	59.40	48.72	38.88
T2BK	Merapi	7.34	11.00	10.35	3.22	5.90	3.08
	Bromo	7.12	9.58	10.62	7.05	6.81	4.19

Keterangan: CH: curah hujan; T1: tahun pertama; T2: tahun kedua; BB: bulan basah; BK: bulan kering

Penambahan seresah lamtoro memberikan hasil pencucian Ca^{2+} terendah dibandingkan dengan kotoran ayam. Diduga bahwa muatan negatif pada seresah lamtoro lebih tinggi dibandingkan kotoran ayam sehingga ikatan anion-kation juga semakin tinggi. Berdasarkan Evangelou (1998) interaksi logam kuat dengan koloid tanah (liat, senyawa humik, dan kombinasinya) dipengaruhi oleh KTK, jerapan permukaan, atau reaksi khelat. Sedangkan pada material piroklastik gunung Bromo, secara umum perlakuan kontrol memberikan hasil pencucian Ca^{2+} tertinggi kecuali pada simulasi T1BK dan T2BB pada curah hujan tinggi dan T2BK pada curah hujan rendah. Diduga, hal tersebut terjadi karena kecepatan pelapukan Ca^{2+} tidak secepat pencucian Ca^{2+} yang telah tersedia. Artinya, pencucian lebih tinggi daripada pelapukan kation basa, sehingga pada beberapa

simulasi menghasilkan kandungan Ca^{2+} tercuci yang tidak memiliki pola seperti pada simulasi lainnya, seperti pada simulasi T2BK yang menghasilkan Ca^{2+} tercuci lebih tinggi pada perlakuan kontrol dibandingkan perlakuan bahan organik. Adapun hasil pencucian Ca^{2+} terendah terdapat pada perlakuan seresah lamtoro dibandingkan dengan kotoran ayam kecuali pada simulasi T2BB dengan curah hujan tinggi dimana penambahan kotoran ayam menghasilkan Ca^{2+} tercuci lebih tinggi dibandingkan penambahan seresah lamtoro, yaitu berturut-turut 54,00 mg dan 53,28 mg. Hal tersebut diduga karena laju pelepasan Ca^{2+} pada seresah lamtoro lebih cepat dibandingkan kotoran ayam, sehingga pada tahun kedua kandungan Ca^{2+} sudah berkurang.

Pola kandungan Ca^{2+} dalam *leachate* berdasarkan intensitas curah hujan digambarkan dalam Gambar 2. Terlihat bahwa Ca^{2+} tercuci semakin meningkat seiring peningkatan curah hujan (Tabel 7). Namun, terlihat bahwa semakin lama grafik menunjukkan pergerakan yang hampir konstan. Hal ini disebabkan oleh elemen tercuci semakin menurun seiring dengan laju pelepasan unsur yang semakin menurun karena Ca^{2+} dalam mineral belum sempat melapuk sementara kandungan Ca^{2+} dalam larutan telah tercuci.



Gambar 2. Pola kandungan Ca^{2+} dalam *leachate* berdasarkan curah hujan pada (a) endapan piroklastik Merapi dan (b) endapan piroklastik bromo

Kandungan Ca^{2+} dalam *leachate* yang berasal dari gunung Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Hal tersebut tercermin dari nilai persamaan pada Tabel 9. Bila nilai x (curah hujan) adalah 0, maka Ca^{2+} yang terlepas pada perlakuan kontrol, kotoran ayam, dan seresah lamtoro pada endapan piroklastik Merapi berturut-turut adalah 126,6 mg, 103,3 mg, dan 76,51 mg. Sedangkan pada

endapan piroklastik Bromo adalah 90,37 mg, 80,14 mg, dan 63,51 mg. Hal tersebut karena sebelum percobaan pencucian dilakukan, material piroklastik diinkubasikan dengan air hujan sehingga terdapat kation basa yang terlarut dalam larutan material piroklastik. Nilai R^2 menunjukkan pengaruh curah hujan terhadap kandungan Ca^{2+} . Air hujan merupakan agen pencuci Ca^{2+} terlepas, sehingga pengaruh air hujan terhadap kandungan Ca^{2+} dalam *leachate* sangat tinggi, yaitu lebih dari 75% kandungan Ca^{2+} dipengaruhi oleh intensitas curah hujan. Selain itu, air hujan juga mengandung Ca^{2+} sebesar 1,92 ppm sehingga semakin tinggi intensitas curah hujan, maka Ca^{2+} yang terkandung dalam *leachate* juga semakin tinggi.

Tabel 9. Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Ca^{2+} di dalam *leachate*

Asal	Perlakuan	Persamaan	R^2
Merapi	Kontrol	$y = 17,16x + 126,6$	0,962
	Kotoran ayam	$y = 17,32x + 103,3$	0,987
	Seresah lamtoro	$y = 17,51x + 76,51$	0,783
Bromo	Kontrol	$y = 22,20x + 90,37$	0,933
	Kotoran ayam	$y = 22,91x + 80,14$	0,969
	Seresah lamtoro	$y = 21,33x + 63,51$	0,951

Keterangan: $y = Ca^{2+}$ tercuci (mg); $x =$ curah hujan (ml)

Dalam Bohn *et al.* (2001) disebutkan bahwa pelapukan batuan induk melepaskan banyak ion. Sehingga, bila terjadi pelapukan terus menerus maka kation di dalam endapan piroklastik tersebut akan habis terlepas dan tercuci bila tidak dijerap oleh permukaan koloid liat atau bahan organik.

4.2.2. Magnesium (Mg) tercuci

Magnesium merupakan kation basa yang perilakunya menyerupai kalsium. Ca^{2+} dan Mg^{2+} merupakan golongan alkali tanah yang memiliki valensi 2, sehingga memiliki keelektronegatifan lebih besar daripada K^+ dan Na^+ . Kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* dipengaruhi oleh kandungan Ca^{2+} . Meskipun demikian, keberadaan Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam tanah saling berhubungan negatif. Bahan induk serpentin yang akan menjadi tanah dengan kandungan Mg^{2+} sangat tinggi dapat menekan ketersediaan Ca^{2+} bagi tanaman (Bohn *et al.*, 2001). Namun, kandungan Mg^{2+} dalam tanah tidak begitu banyak dipelajari karena gejala

defisiensi MgO jarang ditemui. Adapun tujuan menganalisis Mg^{2+} tercuci adalah untuk mempelajari perilaku Mg^{2+} dalam *leachate* material piroklastik.

Penambahan bahan organik ke dalam material piroklastik Merapi tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* kecuali pada simulasi T2BK. Intensitas curah hujan berpengaruh nyata pada simulasi bulan kering (BK) baik tahun pertama dan kedua tetapi tidak berpengaruh nyata pada simulasi bulan basah (BB). Penambahan bahan organik ke dalam material piroklastik Bromo berpengaruh nyata terhadap Mg^{2+} tercuci pada simulasi bulan basah baik tahun pertama maupun kedua tetapi tidak berpengaruh nyata pada simulasi bulan kering. Perbedaan intensitas curah hujan berpengaruh nyata terhadap Mg^{2+} tercuci pada selama dua tahun simulasi (Lampiran 7).

Tabel 10 menunjukkan rerata Mg^{2+} tercuci material piroklastik Merapi dan Bromo selama dua tahun simulasi. Perilaku kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* hampir sama dengan Ca^{2+} . Secara rata-rata perlakuan kontrol memiliki akumulasi kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* tertinggi, sedangkan kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* terendah terdapat pada perlakuan seresah lamtoro. Namun, pada simulasi T1BK endapan piroklastik Merapi yang ditambahkan kotoran ayam menghasilkan Mg^{2+} tercuci lebih rendah dibandingkan seresah lamtoro. Pada simulasi lainnya, perbedaan antara Mg^{2+} tercuci pada endapan piroklastik yang dicampur kotoran ayam dan lamtoro tidak besar. Sesuai dengan hasil anova, beberapa simulasi tidak menunjukkan pengaruh nyata bahan organik terhadap Mg^{2+} tercuci.

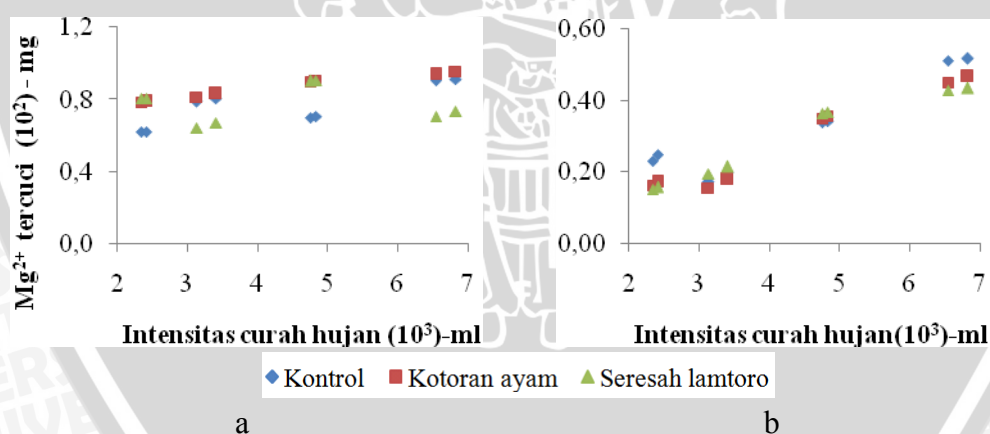
Tabel 10. Rerata akumulasi kandungan Mg^{2+} dalam *leachate*

		Mg^{2+} tercuci (mg)					
		CH = 2444 mm			CH = 1520 mm		
		Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro	Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro
T1BB	Merapi	78.77	81.47	64.08	61.78	78.55	80.60
	Bromo	17.26	15.52	19.46	22.99	16.30	15.15
T1BK	Merapi	1.77	1.63	2.69	0.38	0.12	0.15
	Bromo	2.43	2.34	2.08	1.98	0.87	0.50
T2BB	Merapi	10.19	10.61	3.95	7.78	11.01	9.34
	Bromo	31.46	27.16	21.40	8.88	17.92	20.88
T2BK	Merapi	0.50	1.96	2.62	0.62	0.62	0.44
	Bromo	0.64	1.63	0.58	0.55	0.59	0.27

Keterangan: CH: curah hujan; T1: tahun pertama; T2: tahun kedua; BB: bulan basah; BK: bulan kering

Secara rata-rata kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* lebih tinggi pada curah hujan yang lebih tinggi. Kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* lebih tinggi pada material piroklastik asal Merapi daripada Bromo karena kandungan Mg^{2+} tersedia pada material piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo. Namun, pada simulasi T2BB, kandungan Mg^{2+} pada material piroklastik Bromo lebih tinggi daripada Merapi untuk semua perlakuan. Diduga hal tersebut terjadi karena pada kandungan Mg^{2+} dalam material piroklastik Merapi sudah jauh berkurang karena tercuci pada tahun pertama.

Tabel 10 menjelaskan bahwa jumlah Mg^{2+} tercuci pada material piroklastik Merapi setelah dua tahun simulasi lebih tinggi daripada Bromo pada semua perlakuan. Sehingga, bisa dikatakan bahwa laju pelepasan Mg endapan piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo. Namun, pada simulasi T2BK Mg tercuci pada endapan piroklastik Merapi kembali lebih tinggi daripada Bromo. Diduga hal tersebut terjadi karena selisih intensitas curah hujan Merapi dan Bromo pada bulan kering besar, yaitu 276 ml untuk curah hujan aktual Merapi dan 78 ml untuk curah hujan aktual Bromo. Karena volume *leachate* tertampung lebih besar, maka kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* juga semakin tinggi.



Gambar 3. Pola kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* berdasarkan curah hujan pada (a) endapan piroklastik Merapi dan (b) endapan piroklastik bromo

Gambar 3 menunjukkan pola kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* berdasarkan volume *leachate* tertampung yang diindikasikan oleh intensitas curah hujan aktual Merapi dan Bromo. Grafik intensitas curah hujan terhadap Mg^{2+} tercuci bergerak positif. Artinya, semakin tinggi curah hujan maka semakin tinggi pula kandungan Mg^{2+} dalam *leachate*. Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan yang bernilai

positif. Selain itu, nilai R^2 lebih dari 70% untuk semua perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas curah hujan mempengaruhi Mg^{2+} tercuci lebih dari 70% (Tabel 11).

Meskipun nilai Mg^{2+} tercuci bergerak positif terhadap curah hujan, namun kandungan Mg^{2+} tercuci dalam *leachate* tidak lebih tinggi daripada Ca^{2+} meskipun kedua unsur ini memiliki valensi 2 dan berada pada golongan yang sama. Kurashima dan Wada (1981) dalam Fiantis (2006) menjelaskan bahwa CaO lebih reaktif dan mobil bila dibandingkan dengan $Na_2O > MgO > K_2O$ sehingga kandungan CaO dalam *leachate* lebih tinggi daripada $Na_2O > MgO > K_2O$. Berdasarkan hasil penelitian ini kandungan Mg pada simulasi T1BB lebih tinggi daripada kandungan Na^+ . Namun, pada simulasi lain kandungan Na^+ lebih tinggi daripada Mg^{2+} . Secara rata-rata kandungan Na^+ lebih tinggi daripada Mg^{2+} . Sehingga, hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Kurashima dan Wada (1981) dalam Fiantis (2006).

Tabel 11 menjelaskan hubungan kandungan Mg^{2+} dalam *leachate*. Berdasarkan nilai R^2 diketahui bahwa pengaruh curah hujan terhadap kandungan Mg^{2+} lebih dari 70% pada semua perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa air merupakan agen pencuci yang baik. Kandungan Mg^{2+} dalam *leachate* pada endapan piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo.

Tabel 11. Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Mg^{2+} di dalam *leachate*

Asal	Perlakuan	Persamaan	R^2
Merapi	Kontrol	$y = 5,949x + 72,79$	0,792
	Kotoran ayam	$y = 5,231x + 72,73$	0,811
	Seresah lamtoro	$y = 2,727x + 75,16$	0,711
Bromo	Kontrol	$y = 8,063x + 8,895$	0,950
	Kotoran ayam	$y = 7,960x + 2,374$	0,869
	Seresah lamtoro	$y = 6,344x + 6,146$	0,833

Keterangan: $y = Mg^{2+}$ tercuci (mg); $x =$ curah hujan (ml)

4.2.3. Kalium (K^+) Tercuci

Kalium merupakan kation basa yang ketersediaanya paling rendah pada material piroklastik baik yang berasal dari gunung Merapi maupun Bromo. Kandungan kalium pada air tercuci juga paling rendah diantara kation basa yang lain. Hasil penelitian yang sama dilaporkan oleh Fiantis (2006) bahwa unsur K^+

ternyata dijumpai dalam jumlah yang paling sedikit pada air *leaching* bila dibandingkan dengan unsur Na^+ yang sama-sama tergolong unsur pada kelompok alkali. Rendahnya kandungan dari K^+ ini sesuai dengan sifat K^+ yang memang kurang reaktif dengan valensi satu bila dibandingkan dengan unsur dari kelompok alkali tanah yang mempunyai muatan dua (valensi dua).

Penambahan bahan organik berpengaruh sangat nyata terhadap hasil pencucian K^+ pada endapan piroklastik Merapi selama dua tahun simulasi. Perbedaan curah hujan juga berpengaruh sangat nyata terhadap K^+ tercuci, kecuali pada simulasi T2BB. Penambahan bahan organik kedalam material piroklastik Bromo juga memberikan pengaruh sangat nyata terhadap K^+ tercuci selama dua tahun simulasi. Sedangkan, perbedaan curah hujan berpengaruh sangat nyata selain pada simulasi T2BB (Lampiran 8).

Tabel 12 menunjukkan rerata K^+ tercuci pada material piroklastik gunung Merapi dan Bromo selama dua tahun simulasi. Pada simulasi bulan basah (BB) baik tahun pertama maupun kedua, perlakuan kontrol menghasilkan kandungan K^+ paling rendah baik pada endapan piroklastik yang berasal dari Merapi maupun Bromo. Sedangkan perlakuan yang menghasilkan K^+ tercuci paling tinggi adalah endapan piroklastik dicampur seresah lamtoro. Bila dibandingkan antar intensitas curah hujan, pada simulasi T1BB, K^+ tercuci pada semua perlakuan justru lebih tinggi pada curah hujan rendah. Sedangkan bila dibandingkan antara material piroklastik yang berasal dari Merapi dan Bromo, diketahui bahwa K^+ tercuci pada endapan piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo pada semua perlakuan. Hal tersebut terjadi karena kandungan K^+ tersedia pada awal masa inkubasi pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan dengan Bromo sehingga K^+ yang dilepaskan juga semakin tinggi.

Pada simulasi bulan kering baik tahun pertama dan kedua secara rata-rata perlakuan kontrol juga menghasilkan kandungan K^+ paling rendah pada *leachate*, dan penambahan seresah lamtoro menghasilkan kandungan K^+ paling tinggi. Bila dibandingkan antar intensitas curah hujan, kandungan K^+ pada *leachate* lebih tinggi pada curah hujan tinggi dibandingkan curah hujan rendah pada semua perlakuan. Hal ini karena air merupakan agen pencuci K^+ yang berada dalam larutan tanah atau koloid. Saat keadaan air melebihi kapasitas lapang, maka akan

menjadi air gravitasi dan turut membawa K^+ yang berada dalam larutan sehingga semakin tinggi volume *leachate* maka semakin tinggi pula K^+ tercuci dalam *leachate*. Bila dibandingkan antar asal endapan piroklastik, kandungan K^+ pada *leachate* lebih tinggi pada endapan piroklastik yang berasal dari Merapi.

Tabel 12. Rerata akumulasi kandungan K^+ dalam *leachate*

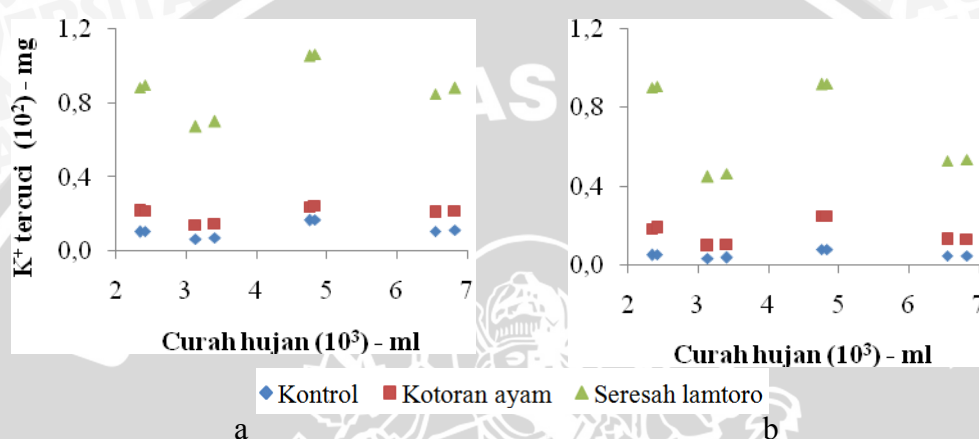
		K^+ tercuci (mg)					
		CH = 2444 mm			CH = 1520 mm		
		Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro	Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro
T1BB	Merapi	6.44	14.17	67.24	10.36	21.45	88.56
	Bromo	3.34	9.42	44.83	4.85	18.18	90.47
T1BK	Merapi	0.79	0.86	2.72	0.29	0.28	1.09
	Bromo	0.15	0.85	1.58	0.13	0.42	0.55
T2BB	Merapi	3.51	5.65	14.92	5.98	2.04	15.93
	Bromo	0.81	2.37	6.57	2.77	5.98	0.88
T2BK	Merapi	0.44	1.23	3.36	0.29	0.60	0.87
	Bromo	0.20	0.37	0.64	0.12	0.22	0.47

Keterangan: CH: curah hujan; T1: tahun pertama; T2: tahun kedua; BB: bulan basah; BK: bulan kering

Perilaku kandungan K^+ pada *leachate* berlawanan dengan Ca^{2+} . Bila kandungan Ca^{2+} paling tinggi terdapat pada kontrol sedangkan paling rendah terdapat pada perlakuan penambahan seresah lamtoro, maka kandungan K^+ terjadi sebaliknya. Kandungan K^+ tertinggi justru terjadi pada perlakuan penambahan seresah lamtoro sedangkan yang terendah terjadi pada kontrol. Hal ini diduga terjadi karena potensi kalium pada material piroklastik dari Merapi maupun Bromo tertinggi terdapat pada perlakuan penambahan bahan organik seresah lamtoro, sedangkan terendah terdapat pada kontrol. Selain itu, ion K^+ dan Na^+ merupakan ion-ion yang mudah larut sehingga mudah hilang karena pencucian (Hardjowigeno, 1993). Unsur K hanya memiliki valensi 1 sedangkan Ca memiliki 2 valensi sehingga Ca^{2+} lebih reaktif dalam berikatan dengan muatan negatif dalam koloid bahan organik tanah sedangkan unsur K yang bervalensi 1 memiliki kereaktifan paling rendah dibandingkan unsur alkali yang lain. Hal tersebut dijelaskan oleh Kurashima dan Wada (1981) dalam Fiantis (2006) bahwa bahwa CaO lebih reaktif dan mobil bila dibandingkan dengan $Na_2O > MgO > K_2O$. Dalam Bohn *et al.* (2001) disebutkan bahwa kation yang dapat dipertukarkan dijerap oleh muatan negatif mineral tanah dan bahan organik. Sehingga jika kation

tersebut tidak berikatan dengan muatan negatif maka akan tetap berada pada larutan tanah dan ikut tercuci bersama dengan air gravitasi.

Pola kandungan K^+ dalam *leachate* berdasarkan curah hujan digambarkan pada Gambar 4. Semakin tinggi curah hujan maka semakin besar K^+ tercuci. Air hujan tersebut merupakan agen pelarut K^+ . Karena melebihi kapasitas lapang, maka air yang masuk menjadi air gravitasi yang dapat mencuci elemen terlarut termasuk K^+ .



Gambar 4. Pola kandungan K^+ dalam *leachate* berdasarkan curah hujan pada (a) endapan piroklastik Merapi dan (b) endapan piroklastik Bromo

Hubungan curah hujan dan K^+ tercuci positif terbukti dari persamaan linear kedua hubungan tersebut yang menunjukkan nilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar curah hujan, K^+ tercuci semakin meningkat. Namun, pada perlakuan bahan organik nilai persamaan bergerak negatif terhadap curah hujan. Hal ini diduga karena air hujan tidak mengandung K^+ sehingga tidak mempengaruhi kandungan K dalam *leachate*. Adapun pengaruh curah hujan terhadap K^+ tercuci tercermin pada nilai R^2 (Tabel 13). Berdasarkan nilai R^2 pada Tabel 13 diketahui bahwa hubungan intensitas curah hujan terhadap K^+ tercuci rendah. Hal tersebut diduga karena air hujan tidak mengandung K^+ sehingga tidak menambah kandungan K^+ dalam larutan yang tercuci. Kandungan K^+ tercuci hanya berasal dari material piroklastik dan bahan organik sesuai perlakuan. Sedangkan, pelepasan K^+ oleh material piroklastik berjalan lambat sehingga bila kandungan K^+ tersedia semakin berkurang, maka pencucian K^+ semakin rendah.

Tabel 13. Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan K^+ di dalam *leachate*

Asal	Perlakuan	Persamaan	R^2
Merapi	Kontrol	$y = 0,754x + 8,036$	0,120
	Kotoran ayam	$y = 0,724x + 17,28$	0,113
	Seresah lamtoro	$y = 2,207x + 78,11$	0,073
Bromo	Kontrol	$y = 0,167x + 4,418$	0,028
	Kotoran ayam	$y = -0,133x + 17,01$	0,001
	Seresah lamtoro	$y = -4,061x + 87,85$	0,098

Keterangan: $y = K^+$ tercuci (mg); x = curah hujan (ml)

4.2.4. Natrium (Na^+) tercuci

Tidak seperti kation basa yang lain, keberadaan Na^+ yang berlebihan justru menjadi masalah di dalam tanah. Dalam Bohn *et al.* (2001) dijelaskan bahwa jika kandungan Na^+ di dalam koloid tanah antara 5-15% dari total kejenuhan basa (KB) maka dapat menghambat pergerakan air di dalam tanah. Disamping itu, unsur ini juga merupakan masalah bagi tanaman karena potensial osmosis yang tinggi pada larutan tanah mengakibatkan larutan tanah tidak tersedia bagi tanaman. Mengurangi kandungan Na^+ di dalam tanah sering dilakukan dengan menggunakan metode pencucian. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Burt *and* Isbell (2005) yang mereklamasi tanah salin dengan melakukan pencucian.

Penambahan bahan organik pada endapan piroklastik gunung Merapi berpengaruh sangat nyata terhadap Na^+ tercuci kecuali pada simulasi tahun pertama, tetapi tidak berpengaruh nyata pada simulasi T2BB dan berpengaruh nyata pada simulasi T2BK. Perbedaan intensitas curah hujan juga berpengaruh sangat nyata pada Na^+ tercuci selama dua tahu simulasi. Adapun kombinasi curah hujan dan bahan organik hanya berpengaruh pada simulasi T1BK, tetapi tidak berpengaruh nyata pada simulasi bulan basah dan bulan kering lainnya (Lampiran 9).

Penambahan bahan organik pada endapan piroklastik gunung Bromo berpengaruh sangat nyata terhadap Na^+ tercuci pada tahun pertama, tetapi tidak berpengaruh nyata pada tahun kedua. Sedangkan intensitas curah hujan berpengaruh sangat nyata selama dua tahun simulasi (Lampiran 9).

Tabel 14 menunjukkan kandungan natrium (Na^+) dalam *leachate*. Perilaku kandungan Na^+ dalam *leachate* hampir sama seperti K^+ . Namun, pada beberapa simulasi menunjukkan perlakuan kontrol memiliki kandungan Na^+ lebih tinggi daripada penambahan bahan organik. Hal ini mengindikasikan bahwa unsur Na^+ lebih reaktif terhadap ikatan dengan muatan negatif bahan organik dibandingkan dengan K^+ meskipun tidak lebih reaktif daripada Ca^{2+} . Menurut Kurashima dan Wada (1981) dalam Fiantis (2006) urutan kereaktifan dan mobilitas senyawa basa adalah $\text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{K}_2\text{O}$.

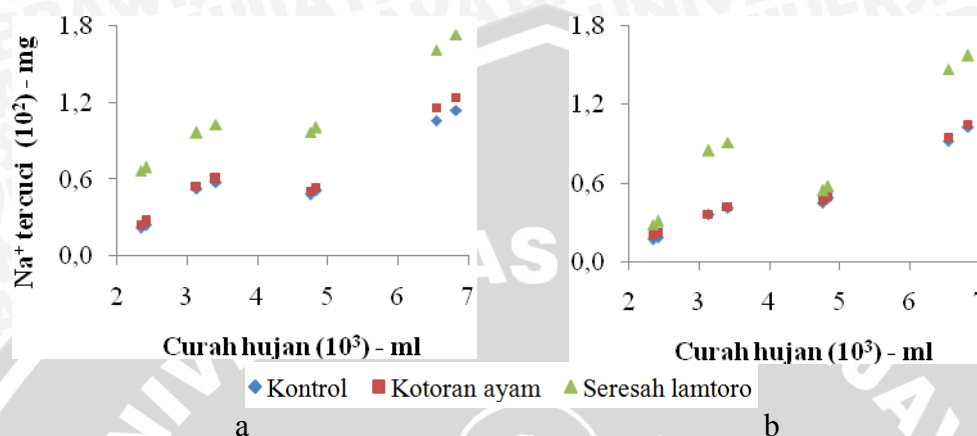
Secara rata-rata kandungan Na^+ tercuci pada perlakuan kontrol lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Kandungan Na^+ tertinggi terdapat pada perlakuan penambahan seresah lamtoro. Hal ini mengindikasikan bahwa bahwa jerapan Na^+ pada koloid bahan organik rendah disebabkan oleh keelektronegatifannya lebih rendah dibandingkan dengan Ca^{2+} . Bila dibandingkan antar intensitas curah hujan, Kandungan Na^+ pada curah hujan tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan curah hujan rendah. Kandungan Na^+ dalam air hujan juga paling tinggi diantara kation basa yang lain, yaitu 1,96 ppm sehingga kandungan Na di dalam *leachate* tidak hanya berasal dari endapan piroklastik dan bahan organik melainkan juga air hujan. Bila dibandingkan antar endapan piroklastik, kandungan Na^+ dalam *leachate* endapan piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo pada semua perlakuan. Hal ini karena potensi Na^+ piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo.

Tabel 14. Rerata akumulasi kandungan Na^+ dalam *leachate*

		Na^+ tercuci (mg)					
		CH = 2444 mm			CH = 1520 mm		
		Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro	Kontrol	Kotoran ayam	Lamtoro
T1BB	Merapi	52.91	55.13	96.70	22.23	24.75	66.96
	Bromo	35.97	36.40	84.92	16.86	20.16	28.46
T1BK	Merapi	5.34	5.33	6.68	1.92	2.51	2.49
	Bromo	5.18	5.68	6.13	1.89	1.86	2.13
T2BB	Merapi	47.79	56.03	58.00	24.32	23.37	27.60
	Bromo	51.25	52.86	56.10	26.48	24.78	23.74
T2BK	Merapi	8.13	8.09	11.95	3.03	3.50	3.57
	Bromo	10.51	10.16	10.33	3.06	3.05	3.07

Keterangan: CH: curah hujan; T1: tahun pertama; T2: tahun kedua; BB: bulan basah; BK: bulan kering

Pola kandungan Na^+ dalam *leachate* berdasarkan curah hujan sama seperti kation basa lain. Nilai kandungan Na^+ bergerak positif terhadap curah hujan (Gambar 5). Disamping itu, nilai R^2 menunjukkan bahwa curah hujan berpengaruh besar terhadap Na^+ tercuci (Tabel 15).



Gambar 5. Pola kandungan Na^+ dalam *leachate* berdasarkan curah hujan pada (a) endapan piroklastik Merapi dan (b) endapan piroklastik bromo

Berbeda dengan kandungan Ca^{2+} dalam *leachate*, kandungan Na^+ dalam *leachate* sangat dipengaruhi oleh curah hujan. Terlihat pada tabel 15, bahwa bila tidak terdapat air hujan sebagai agen pencuci ($x=0$) maka tidak ada Na^+ yang tercuci. Selain dikarenakan oleh kandungan Na^+ pada endapan piroklastik dan bahan organik, sumber Na^+ juga diperoleh dari air hujan. Hasil analisis air hujan menunjukkan bahwa kandungan kation basa tertingginya adalah Na^+ (Lampiran 3).

Tabel 15. Persamaan hubungan intensitas curah hujan terhadap kandungan Na^+ di dalam *leachate*

Asal	Perlakuan	Persamaan	R^2
Merapi	Kontrol	$y = 17,79x - 16,52$	0,847
	Kotoran ayam	$y = 19,53x - 19,52$	0,846
	Seresah lamtoro	$y = 20,79x + 19,47$	0,875
Bromo	Kontrol	$y = 17,41x - 24,44$	0,934
	Kotoran ayam	$y = 17,37x - 22,29$	0,933
	Seresah lamtoro	$y = 23,36x - 18,73$	0,693

Keterangan: $y = \text{Na}^+$ tercuci (mg); $x = \text{curah hujan (ml)}$

4.3. Estimasi Kation Basa Terlepas

Kation basa terlepas diestimasi berdasarkan jumlah kation basa tercuci dan tertinggal pada material piroklastik setelah percobaan pencucian. Jumlah tersebut merupakan jumlah kation basa terlepas selama dua tahun simulasi. Apabila jumlah kation basa terlepas lebih rendah dibandingkan kation basa tersedia pada awal inkubasi berarti belum ada pelapukan lebih lanjut dari material piroklastik. Namun, bila jumlah kation basa terlepas lebih tinggi daripada kation basa tersedia pada awal inkubasi, berarti telah terjadi pelapukan lebih lanjut pada material piroklastik. Kation basa yang dilepaskan oleh material piroklastik adalah selisih antara jumlah kation basa tersedia pada awal inkubasi dan kation basa terlepas.

4.3.1. Estimasi kalsium (Ca^{2+}) terlepas

Berdasarkan intensitas curah hujan, Ca^{2+} terlepas lebih tinggi pada curah hujan tinggi dibandingkan dengan curah hujan rendah. Hal tersebut dikarenakan air merupakan agen yang dapat melapukkan dan mencuci Ca^{2+} . Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa semakin besar curah hujan, maka Ca^{2+} tercuci semakin tinggi. Penambahan kotoran ayam menyebabkan konsentrasi Ca^{2+} terlepas lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, namun jumlah Ca^{2+} yang terjerap dalam koloid juga lebih tinggi dibandingkan kontrol, sehingga Ca^{2+} tercuci pada perlakuan penambahan bahan organik lebih rendah dibandingkan kontrol. Ca^{2+} terlepas pada perlakuan kotoran ayam lebih tinggi dibandingkan seresah lamtoro (Tabel 16). Hal ini diduga karena laju dekomposisi seresah lamtoro lebih lambat daripada kotoran ayam dan endapan piroklastik sehingga pelepasan Ca^{2+} juga lebih lambat. Laju dekomposisi bahan organik dipengaruhi oleh kandungan lignin. Semakin tinggi kandungan lignin, maka semakin lama dekomposisinya. Kandungan lignin kotoran ayam adalah 15,285% (Yulipriyanto, 2011), sedangkan kandungan lignin seresah lamtoro adalah 13% (Solikhah, 2008). Kandungan lignin kotoran ayam berbeda tergantung pada pakan yang diberikan. Diduga, kandungan lignin kotoran ayam yang digunakan dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan seresah lamtoro karena menghasilkan Ca^{2+} terlepas lebih tinggi. Selain mempercepat pelapukan, bahan organik juga mampu menahan Ca^{2+} pada kompleks jerapannya.

Hal tersebut ditinjau dari rerata Ca^{2+} tertinggal pada perlakuan penambahan bahan organik lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 10,21 mg dan 7.45 mg. Menurut Evangelou (1998) salah satu sifat bahan organik adalah menambah area jerapan dan reaksi lain.

Tabel 16. Estimasi Ca^{2+} terlepas pada material piroklastik

Asal	Perlakuan	Kandungan Ca^{2+} (mg)						
		Air hujan	Total	Tersedia	Tercuci	Tertinggal	Terlepas	Dari kristal
Merapi	M _A B ₀	12,05	1960,00	211,93	241,89	9,56	251,45	27,47
	M _A B ₁	12,05	2644,00	241,05	224,85	14,93	239,78	0
	M _A B ₂	12,05	2808,00	251,77	204,39	6,88	211,27	0
	M _B B ₀	8,99	1960,00	211,93	216,93	5,33	222,26	1,34
	M _B B ₁	8,99	2644,00	241,05	188,34	8,37	196,72	0
	M _B B ₂	8,99	2808,00	251,77	143,87	10,67	154,54	0
Bromo	B _A B ₀	12,05	600,00	194,17	234,91	4,00	238,91	32,69
	B _A B ₁	12,05	991,59	214,65	236,77	9,70	246,47	19,77
	B _A B ₂	12,05	1085,48	242,33	215,31	8,18	223,48	0
	B _B B ₀	8,99	600,00	194,17	213,16	4,56	217,71	14,56
	B _B B ₁	8,99	991,59	214,65	193,24	4,82	198,05	0
	B _B B ₂	8,99	1085,48	242,33	157,72	3,22	160,94	0

Keterangan: M: Merapi; B: Bromo; A: intensitas curah hujan 2440 mm; B: intensitas curah hujan 1520mm; 0: kontrol; 1: penambahan kotoran ayam; 2: penambahan seresah lamtoro

Rerata Ca^{2+} terlepas pada endapan piroklastik Bromo tertinggi terdapat pada perlakuan penambahan kotoran ayam, yaitu 222,26 mg, sedangkan terendah terdapat pada perlakuan penambahan seresah lamtoro, yaitu 192,21 mg Ca^{2+} . Bila dibandingkan antar intensitas curah hujan, Ca^{2+} terlepas lebih tinggi pada intensitas curah hujan yang lebih tinggi. Hal tersebut karena agen pencuci yang lebih tinggi membawa Ca^{2+} tercuci lebih banyak. Selain itu, seresah lamtoro juga memperlambat pelapukan endapan piroklastik terbukti bahwa konsentrasi Ca^{2+} terlepas pada perlakuan ini paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya.

4.3.2. Estimasi magnesium (Mg^{2+}) terlepas

Pelepasan kation basa dapat menandakan tingkat pelapukan dan perkembangan tanah. Di daerah humid dan subhumid Mg^{2+} dapat ditukar bertambah sesuai dengan berkurangnya Ca^{2+} dapat ditukar dengan makin

meningkatnya umur dan tingkat perkembangan (Hardjowigeno, 1993). Pada penelitian ini, konsentrasi Ca^{2+} terlepas jauh lebih tinggi daripada konsentrasi Mg^{2+} terlepas dengan rasio Ca/Mg rata-rata mencapai 3,30. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang terbentuk dari material piroklastik masih dapat terus berkembang karena umurnya juga masih sangat muda. Rerata Mg^{2+} terlepas pada material piroklastik Merapi berbagai perlakuan adalah 86,47 mg selama dua tahun simulasi, endapan piroklastik Bromo adalah 42,80 mg. Hal ini menunjukkan bahwa laju pelepasan Mg^{2+} pada endapan piroklastik Merapi lebih cepat dibandingkan Bromo. Di sisi lain, rerata Mg^{2+} yang belum terlepas pada endapan piroklastik Merapi juga lebih tinggi daripada Bromo. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi Mg^{2+} pada endapan piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo.

Tabel 17 menunjukkan rerata Mg^{2+} terlepas yang diestimasi berdasarkan penjumlahan konsentrasi Mg^{2+} tercuci dan Mg^{2+} tersedia setelah percobaan pencucian. Pada material piroklastik yang berasal dari Merapi, rerata Mg^{2+} terlepas pada curah hujan tinggi (2440 mm) lebih besar dibandingkan dengan curah hujan rendah (1520 mm). Hal tersebut menunjukkan bahwa volume *leachate* yang lebih tinggi akan menghasilkan kandungan Mg^{2+} yang lebih tinggi karena curah hujan merupakan salah satu faktor pembentuk tanah. Hasil yang sama terjadi pada rerata Ca^{2+} terlepas. Bila dibandingkan antara kontrol dan penambahan bahan organik, rerata Mg^{2+} terlepas lebih tinggi pada perlakuan penambahan bahan organik sebanyak 8,91% dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik dapat mempercepat laju pelapukan mineral. Selain itu, bahan organik juga mengalami dekomposisi yang menghasilkan unsur hara sehingga dapat meningkatkan ketersediaan Mg^{2+} . Disisi lain, bahan organik dapat menyerap Mg^{2+} lebih tinggi dibandingkan kontrol hal tersebut terbukti dari Mg^{2+} tertinggal yang diasumsikan dari nilai Mg^{2+} tersedia pada material piroklastik setelah percobaan pencucian secara rata-rata lebih tinggi pada penambahan bahan organik sebesar 96% dibandingkan kontrol. Hal tersebut karena bahan organik dapat meningkatkan KTK tanah sehingga dapat mengatur keseimbangan anion-kation dalam koloid tanah. Menurut Suseno (2007),

menambahkan kotoran ayam dengan dosis 10 ton/ ha dapat meningkatkan KTK tanah dari 14,35 me/100g menjadi 15,10 me/100g.

Tabel 17. Estimasi Mg^{2+} terlepas pada material piroklastik

Asal	Perlakuan	Kandungan Mg^{2+} (mg)						
		Air hujan	Total	Tersedia	Tercuci	Tertinggal	Terlepas	Dari kristal
Merapi	$M_A B_0$	0,88	240,00	82,90	91,23	0,73	91,95	8,18
	$M_A B_1$	0,88	504,00	98,35	95,68	1,40	97,08	0
	$M_A B_2$	0,88	592,00	104,02	73,34	1,40	74,75	0
	$M_B B_0$	0,66	240,00	82,90	70,55	0,74	71,29	0
	$M_B B_1$	0,66	504,00	98,35	90,31	1,22	91,53	0
	$M_B B_2$	0,66	592,00	104,02	90,52	1,72	92,24	0
Bromo	$B_A B_0$	0,88	800,00	41,33	51,80	2,85	54,64	12,44
	$B_A B_1$	0,88	951,14	49,58	46,66	1,19	47,85	0
	$B_A B_2$	0,88	1001,52	59,28	43,52	0,35	43,87	0
	$B_B B_0$	0,66	800,00	41,33	34,39	1,16	35,55	0
	$B_B B_1$	0,66	951,14	49,58	35,69	0,98	36,67	0
	$B_B B_2$	0,66	1001,52	59,28	36,81	1,39	38,19	0,00

Keterangan: M: Merapi; B: Bromo; A : intensitas curah hujan 2440 mm; B : intensitas curah hujan 1520mm; 0 : kontrol; 1 : penambahan kotoran ayam; 2 : penambahan seresah lamtoro

Keadaan yang serupa ditunjukkan oleh Mg^{2+} terlepas pada material piroklastik yang berasal dari gunung Bromo. Rerata Mg^{2+} terlepas lebih tinggi pada curah hujan yang lebih tinggi. Demikian pula dengan laju pelepasan Mg^{2+} , terbukti bahwa nilai Mg^{2+} yang belum terlepas pada intensitas curah hujan tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas curah hujan rendah. Hal tersebut juga dikarenakan oleh kandungan Mg^{2+} pada air hujan. Berdasarkan perhitungan Mg^{2+} terlepas, juga diketahui bahwa bahan organik mempercepat pelapukan dan laju pelepasan Mg^{2+} sekaligus menahannya meskipun konsentrasi Mg^{2+} tertahan lebih rendah dibandingkan Ca^{2+} . Hal tersebut membuktikan bahwa Mg^{2+} kurang reaktif dibandingkan dengan Ca^{2+} .

4.3.3. Estimasi kalium (K^+) terlepas

Kalium merupakan kation basa yang kandungan tersedianya lebih rendah dibandingkan dengan kation basa yang lain baik pada material piroklastik gunung

Merapi maupun Bromo. Berbeda dengan Ca^{2+} dan Mg^{2+} , rerata K^+ terlepas lebih tinggi pada curah hujan yang lebih rendah (1520 mm) baik pada endapan piroklastik gunung Merapi maupun Bromo (Tabel 18).

Tabel 18. Estimasi K^+ terlepas pada material piroklastik

Asal	Perlakuan	Kandungan K^+ (mg)						
		Air hujan	Total	Tersedia	Tercuci	Tertinggal	Terlepas	Dari kristal
Merapi	$\text{M}_\text{A}\text{B}_0$	0	2080,00	12,98	11,18	0,18	11,37	0
	$\text{M}_\text{A}\text{B}_1$	0	2656,00	14,32	21,91	1,52	23,43	9,11
	$\text{M}_\text{A}\text{B}_2$	0	2848,00	16,76	88,25	0,29	88,54	71,78
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_0$	0	2080,00	12,98	16,92	1,10	18,03	5,04
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_1$	0	2656,00	14,32	24,37	1,24	25,60	11,29
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_2$	0	2848,00	16,76	106,45	0,80	107,25	90,49
Bromo	$\text{B}_\text{A}\text{B}_0$	0	40,00	12,88	4,50	0,00	4,50	0
	$\text{B}_\text{A}\text{B}_1$	0	369,76	20,71	13,02	0,04	13,06	0
	$\text{B}_\text{A}\text{B}_2$	0	479,68	24,67	53,62	0,17	53,79	29,12
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_0$	0	40,00	12,88	7,88	0,00	7,88	0
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_1$	0	369,76	20,71	24,80	0,13	24,93	4,22
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_2$	0	479,68	24,67	92,38	0,02	92,40	67,73

Keterangan: M: Merapi; B: Bromo; A : intensitas curah hujan 2440 mm; B : intensitas curah hujan 1520mm; 0 : kontrol; 1 : penambahan kotoran ayam; 2 : penambahan seresah lamtoro

Rerata K^+ terlepas pada perlakuan penambahan bahan organik lebih tinggi daripada kontrol. Rerata peningkatan pelapasan K^+ karena penambahan bahan organik pada material piroklastik yang berasal dari Merapi dan Bromo berturut-turut adalah 80,63% dan 88,15%. Hal ini membuktikan bahwa menambahkan bahan organik dapat mempercepat pelapukan mineral. Tan (1986) menyatakan bahwa asam-asam organik dihasilkan dari proses pelapukan jaringan tanaman ataupun hasil dari proses metabolisme mikroorganisme tanah dan berperan sangat penting dalam proses pedogenesis tanah. Jenny (1941) dalam Hardjowigeno (1993) menyebutkan bahwa organisme merupakan salah satu faktor pembentuk tanah. Selain mempercepat pelapukan, bahan organik juga dapat menahan K^+ pada koloidnya sehingga tidak hilang akibat pencucian. Hal tersebut terbukti pada konsentrasi K^+ tertinggal pada perlakuan penambahan bahan organik secara rata-rata lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 0,96 mg dan 0,64 mg pada

material piroklastik yang berasal dari gunung Merapi, dan 0,09 mg dan 0 mg pada material piroklastik gunung Bromo.

Kecepatan melepaskan K^+ pada endapan piroklastik gunung Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Rerata K^+ terlepas pada semua perlakuan endapan piroklastik gunung Merapi dan Bromo berturut-turut adalah 45,70 mg dan 32,76 mg. Hal tersebut diduga karena secara fisik, ukuran butir abu vulkan Merapi lebih kecil daripada Bromo sehingga proses pelapukannya juga lebih cepat.

4.3.4. Estimasi natrium (Na^+) terlepas

Na^+ merupakan unsur alkali yang berada satu golongan dengan K^+ . Kedua unsur tersebut sama-sama memiliki valensi 1. Namun, keelektronegatifan Na^+ lebih tinggi daripada K^+ . Sifat Na^+ juga lebih reaktif daripada K^+ . Hal tersebut menyebabkan laju pelepasan Na^+ lebih tinggi dibandingkan dengan K^+ baik pada material piroklastik gunung Merapi maupun Bromo.

Sifat pelarutan Na^+ sama dengan kation basa yang lain. Pada perlakuan curah hujan yang lebih tinggi kandungan Na^+ juga lebih tinggi pada material piroklastik gunung Merapi. Bila dibandingkan antara kontrol dan penambahan bahan organik, rerata konsentrasi Na^+ terlepas lebih tinggi pada penambahan bahan organik dibandingkan kontrol baik pada material piroklastik gunung Merapi maupun Bromo. Adapun peningkatan konsentrasi Na^+ terlepas karena penambahan bahan organik pada material piroklastik Merapi dan Bromo berturut-turut adalah 57,5% dan 54,9%. Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik memberikan pengaruh yang hampir sama pada kedua material piroklastik. Selain mempercepat pelepasan Na^+ , bahan organik juga mampu menahan Na^+ dalam kompleks jerapannya. Hal tersebut ditinjau dari Na^+ tertinggal yang diasumsikan dari nilai Na^+ tersedia setelah percobaan pencucian. Rerata Na^+ terjerap oleh koloid bahan organik pada material piroklastik Merapi dan Bromo adalah 2,32 mg dan 2,59 mg. Adapun konsentrasi Na^+ terlepas disajikan dalam Tabel 19.

Laju pelepasan Na^+ pada material piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo. Hal tersebut ditinjau dari total Na^+ terlepas yang diasumsikan dari Na^+ tersedia setelah inkubasi, Na^+ tercuci, dan Na^+ tersedia setelah percobaan

pencucian. Berdasarkan nilai Na^+ yang belum tercuci diketahui bahwa laju pelepasan Na^+ lebih tinggi dibandingkan kation basa yang lain.

Tabel 19. Estimasi Na^+ terlepas pada material piroklastik

Asal	Perlakuan	Kandungan Na^+ (mg)						
		Air hujan	Total	Tersedia	Tercuci	Tertinggal	Terlepas	Dari kristal
Merapi	$\text{M}_\text{A}\text{B}_0$	12,30	560,00	55,66	114,18	2,82	117,00	49,03
	$\text{M}_\text{A}\text{B}_1$	12,30	904,00	56,48	124,58	2,61	127,19	58,41
	$\text{M}_\text{A}\text{B}_2$	12,30	1104,00	63,13	173,32	1,96	175,28	99,85
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_0$	9,17	560,00	55,66	51,50	1,93	53,43	0
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_1$	9,17	904,00	56,48	54,13	2,23	56,36	0
	$\text{M}_\text{B}\text{B}_2$	9,17	1104,00	63,13	100,61	2,49	103,10	30,80
Bromo	$\text{B}_\text{A}\text{B}_0$	12,30	120,00	47,46	102,90	2,23	105,13	45,37
	$\text{B}_\text{A}\text{B}_1$	12,30	316,94	55,20	105,10	4,09	109,19	41,69
	$\text{B}_\text{A}\text{B}_2$	12,30	431,44	55,72	157,48	2,02	159,50	91,47
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_0$	9,17	120,00	47,46	48,29	2,50	50,79	0
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_1$	9,17	316,94	55,20	49,85	2,10	51,95	0
	$\text{B}_\text{B}\text{B}_2$	9,17	431,44	55,72	57,40	2,15	59,55	0

Keterangan: M: Merapi; B: Bromo; A : intensitas curah hujan 2440 mm; B : intensitas curah hujan 1520mm; 0: kontrol; 1: penambahan kotoran ayam; 2: penambahan seresah lamtoro

4.3.5. Estimasi jangka waktu pelepasan kation basa total

Berdasarkan nilai kation basa total dan terlepas selama 2 tahun, maka dapat diestimasi jumlah tahunan kation basa terlepas. Hal tersebut bermanfaat untuk mengetahui waktu yang diperlukan hingga kation basa terlepas seluruhnya dan dapat tersedia bagi tanaman. Estimasi waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan kation basa total diperoleh dari perbandingan antara kation basa total dan estimasi kation basa terlepas per tahun. Kation basa total merupakan jumlah kation basa total material piroklastik, bahan organik, dan air hujan. Kation basa terlepas merupakan jumlah kation basa tercuci dan tertinggal pada material piroklastik setelah percobaan pencucian. Pendekatan jangka waktu pelepasan kation basa ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Popovic *et al.* (2005) yang berjudul *Leaching of Selected Elements from Coal Ash Dumping*. Tabel 20 menunjukkan estimasi kation basa terlepas dalam satu tahun simulasi dan total waktu yang

dibutuhkan untuk melepaskan seluruh kandungan kation basa total baik pada material piroklastik gunung Merapi dan Bromo.

Tabel 20. Estimasi kation basa terlepas tahunan dan total waktu pelepasan kation basa

Perlakuan	Estimasi kation basa terlepas per tahun (mg)				Estimasi total waktu pelepasan kation basa (th)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
M _A B ₀	125,72	45,98	5,68	58,50	17,3	7,0	368,3	10,5
M _A B ₁	119,89	48,54	11,71	63,59	24,1	12,4	228,0	15,1
M _A B ₂	105,63	37,37	44,27	87,64	29,0	18,6	64,7	13,3
M _B B ₀	111,13	35,64	9,01	26,71	19,5	9,1	232,2	23,0
M _B B ₁	98,36	45,76	12,80	28,18	29,3	13,2	208,6	34,1
M _B B ₂	77,27	46,12	53,63	51,55	39,6	15,1	53,4	22,6
B _A B ₀	119,45	27,32	2,25	52,56	6,6	30,8	23,5	3,2
B _A B ₁	123,24	23,93	6,53	54,59	9,8	41,8	59,8	6,8
B _A B ₂	111,74	21,93	26,89	79,75	11,9	48,4	18,8	6,1
B _B B ₀	108,86	17,78	3,94	25,40	7,3	47,3	13,4	6,6
B _B B ₁	99,03	18,33	12,46	25,98	12,2	54,6	31,3	14,3
B _B B ₂	80,47	19,10	46,20	29,77	16,5	55,5	10,9	16,4

Keterangan: M: Merapi; B: Bromo; _A: intensitas curah hujan 2440 mm; _B: intensitas curah hujan 1520mm; ₀: kontrol; ₁: penambahan kotoran ayam; ₂: penambahan seresah lamtoro

Berdasarkan estimasi total waktu pelepasan kation basa, diketahui bahwa rata-rata waktu terlama digunakan untuk melepaskan K⁺ seluruhnya, yaitu 109,4 tahun. sedangkan Na⁺ membutuhkan waktu tercepat untuk dapat terlepas seluruhnya, yaitu secara rata-rata 14,3 tahun. Hal ini berdasarkan konsep kereaktifan unsur yang dikemukakan oleh Kurashima dan Wada (1981) dalam Fiantis (2006) yang menyebutkan bahwa CaO lebih reaktif dan mobil bila dibandingkan dengan Na₂O > MgO > K₂O. K bersifat kurang mobil dibandingkan kation basa yang lain. Berdasarkan konsep tersebut, K⁺ merupakan unsur yang kurang reaktif dibandingkan dengan kation basa yang lain, sehingga K⁺ membutuhkan waktu lebih lama untuk melapuk seluruhnya. Kandungan Na⁺ lebih rendah daripada Ca²⁺, sehingga meskipun nilai kereaktifannya lebih rendah tetapi pelepasannya lebih cepat.

Material piroklastik gunung Merapi membutuhkan waktu yang lebih lama dalam melepaskan kation basa dibandingkan dengan Bromo. Hal ini disebabkan karena potensi kation basa material piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo. Selain itu, kandungan silika pada material piroklastik Merapi lebih tinggi daripada Bromo. Menurut Bussaca *et al.* (2001) pelapukan lebih lambat terjadi

pada material yang mengandung silika tinggi. Baik material piroklastik Merapi maupun Bromo berasal dari tipe magma andesit-basaltik yang kaya akan unsur hara. Namun, kandungan Mg^{2+} dalam material piroklastik Merapi membuatnya bersifat lebih masam dibandingkan Bromo. Hardjowigeno (1993) menjelaskan bahwa Fe dan Mg berasosiasi dalam mineral kelam yang juga menentukan kecepatan melapuk dan kejenuhan basa tanah hasil pelapukan. Magma basaltik dari dapur magma Merapi terus menerus menyediakan magma dengan komposisi konstan dalam 100 tahun. Hal tersebut ditunjukkan oleh komposisi elemen utama yang konstan dari plagioklas dan piroksin. Elemen tersebut kemudian mengkristal menjadi biotit (Kadarsetia *et al.*, 2010). Kegiatan tersebut diduga menyebabkan kandungan basa material piroklastik Merapi tinggi karena suplai magma yang terus-menerus. Disamping itu, material piroklastik Merapi kaya akan K^+ . Ion K berukuran lebih besar sehingga dapat mengisi rantai feldspar lebih pas dibandingkan dengan Ca yang bervalensi dua. Hal tersebut menyebabkan orthoklas (K-feldspar) lebih stabil dibandingkan Ca (Hardjowigeno, 1993). Dari kandungan K^+ tersebut, diduga menjadi penyebab material piroklastik Merapi membutuhkan waktu lebih lama dalam melapuk dibandingkan material piroklastik Bromo. Namun, unsur Mg^{2+} justru lebih lambat terlepas pada material piroklastik Bromo dibandingkan dengan Merapi. Hal ini dikarenakan potensi Mg^{2+} pada material piroklastik Bromo memang lebih tinggi Bromo. Disisi lain, pelapukan K^+ material piroklastik Merapi jauh lebih lama daripada Bromo, yaitu 192,5 tahun pada material piroklastik Merapi dan 26,3 tahun pada material piroklastik Bromo. Hal tersebut dikarenakan oleh kandungan total K^+ material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Menurut Kadarsetia *et al.* (2010) batuan yang berasal dari magma gunung Merapi merupakan seri calc-alkalin yang kaya akan K^+ dengan tipe magma andesit-basaltik.

Bila dibandingkan antar perlakuan intensitas curah hujan, secara rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh material piroklastik Merapi dan Bromo untuk melepaskan kation basa lebih lama pada curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan curah hujan yang lebih rendah. Hal ini karena konsentrasi kation basa terlepas lebih rendah pada curah hujan yang lebih tinggi. Dalam menentukan waktu pelepasan kation basa digunakan asumsi curah hujan tidak berubah. Hal

tersebut karena curah hujan dapat mempengaruhi laju pelapukan material piroklastik.

Antara kontrol dan perlakuan penambahan bahan organik, waktu yang dibutuhkan material piroklastik Merapi dan Bromo dalam melepaskan Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih cepat pada perlakuan kontrol dibandingkan perlakuan bahan organik. Waktu untuk melepaskan K^+ lebih cepat pada perlakuan penambahan bahan organik dibandingkan dengan kontrol. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan Na^+ lebih cepat pada perlakuan penambahan bahan organik dari pada kontrol pada material piroklastik gunung Merapi, tetapi terjadi sebaliknya pada material piroklastik gunung Bromo. Hal tersebut diduga karena kandungan waktu pelepasan kation basa oleh bahan organik pada proses dekomposisi berbeda sehingga mempengaruhi pelepasan kation basa secara umum.

Dengan mengetahui total waktu pelepasan kation basa dapat diestimasi berapa lama material piroklastik dapat memberikan unsur hara yang diperlukan oleh pertumbuhan tanaman. Selain itu, dapat menentukan perlakuan yang bisa mempercepat ketersediaan unsur hara pada tanaman.

4.4. Pembahasan Umum Pelepasan dan Pencucian Kation Basa

Material piroklastik menyimpan potensi kesuburan tanah yang sangat tinggi. Material ini kaya akan unsur hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Namun, unsur hara tersebut tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman karena material piroklastik pada dasarnya adalah bahan induk yang belum mengalami pelapukan sehingga unsur hara yang terkandung di dalamnya tidak dalam bentuk tersedia. Oleh sebab itu, diperlukan pelapukan yang dapat mengubah fisik maupun susunan kimianya. Material piroklastik dapat mengalami pelapukan geokimia yang juga berfungsi dalam pembentukan tanah.

Proses pelapukan dibantu oleh air hujan buatan dengan curah hujan tinggi dan rendah. Secara rata-rata, pelepasan kation basa lebih tinggi pada curah hujan tinggi. Hardjowigeno (1993) menjelaskan bahwa di dalam profil tanah air hujan berpengaruh terhadap proses pelapukan, reaksi-reaksi kimia, pelarutan, serta translokasi unsur-unsur kimia. Semakin tinggi curah hujan proses pelapukan dan reaksi-reaksi kimia dapat berjalan lebih cepat, serta kandungan unsur kimia juga

lebih tinggi. Hal tersebut yang menyebabkan pelepasan dan pencucian kation basa lebih tinggi pada curah hujan tinggi dibandingkan dengan curah hujan rendah.

Menambahkan bahan organik ke dalam material piroklastik bertujuan untuk mempercepat pelepasan kation basa sekaligus menahannya di dalam koloid bahan organik. Secara umum kation basa terlepas pada perlakuan penambahan bahan organik lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Namun, pelepasan Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada beberapa simulai justru lebih tinggi pada kontrol daripada perlakuan penambahan bahan organik. Kation basa tertinggal yang diasumsikan sebagai kation basa yang terperap dalam koloid tanah lebih tinggi pada bahan organik dibandingkan dengan kontrol. Hal ini membuktikan bahwa bahan organik mampu menjerap basa-basa yang bermuatan positif di dalam koloidnya. Dengan demikian, pencucian kation basa lebih rendah pada perlakuan bahan organik. Hal tersebut sesuai dengan sifat bahan organik yang dirumuskan oleh Evangelou (1998) yaitu menambah area jerapan dan reaksi lain, menstabilkan ikatan dengan unsur hara mikro, serta berkontribusi nyata dalam KTK tanah. Bohn *et al.* (2001) menjelaskan bahwa bahan organik dapat meningkatkan KTK tanah sebesar 20 – 70%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Kandungan kation basa pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo. Penambahan bahan organik, baik kotoran ayam maupun seresah lamtoro meningkatkan ketersediaan kation basa pada material piroklastik Merapi dan Bromo.
2. Laju pelepasan kation basa pada material piroklastik Merapi lebih tinggi dibandingkan Bromo, tetapi material piroklastik Merapi membutuhkan waktu lebih lama untuk melepaskan kation basa total dibandingkan Bromo.
3. Peningkatan curah hujan mempercepat pelepasan dan pencucian kation basa pada material piroklastik gunung Merapi dan Bromo.
4. Penambahan bahan organik, baik kotoran ayam maupun seresah lamtoro menurunkan pencucian Ca^{2+} dan Mg^{2+} , tetapi meningkatkan pencucian K^+ dan Na^+ . Penambahan bahan organik meningkatkan pelepasan K^+ dan Na^+ dari material piroklastik. Pencucian Ca^{2+} dan Mg^{2+} terendah terdapat pada perlakuan seresah lamtoro. Peningkatan laju pelepasan K^+ dan Na^+ tertinggi terdapat pada perlakuan seresah lamtoro.

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari pelepasan kation basa dengan waktu simulasi yang lebih lama karena waktu simulasi dua tahun belum menunjukkan pelepasan kation basa yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. Gunung Merapi. Tersedia dalam <http://id.wikipedia.org/gunung-merapi.htm>. Tanggal akses 8 Maret 2012
- Anonim. 2012. Leaching. *Encyclopædia Britannica Online*. Tersedia dalam <http://www.britannica.com>. Tanggal akses 9 Februari 2012.
- Bohn, H.L., B.L. Mc Neal, and G.A. O'Connor. 2001. Soil Chemistry 3rd edition. John Wiley & Sons Inc. New York
- Budiyanto, G. 2010. Pengaruh Bahan Organik dan Pupuk N pada Beberapa Sifat Tanah, Pertumbuhan dan Produksi Jagung Di Lahan Pasir Pantai Selatan Kulon Progo. Disertasi. Universitas Padjadjaran. Bandung
- Burt, C.M and B. Isbell. 2005. Leaching of Accumulated Soil Salinity Under Drip Irrigation. *American Society of Agricultural Engineers* Vol 48, No.6
- Bussaca, A.J., H.M. Marks, and R.Rossi. 2001. Volcanic Glass in Soil of The Columbia Plateau, Pacific Northwest, USA. *Soil Science Society of American Journal* Vol 65: 161-168
- Cahyandaru, N. 2011. Kajian Penanganan Dampak Erupsi Merapi di Candi Borobudur. Dalam Seminar Nasional Pengembangan Kawasan Merapi Aspek Kebencanaan dan Pengembangan Masyarakat Pasca Bencana. Tersedia dalam <http://dppm.uir.ac.id>. Tanggal akses 20 Oktober 2012
- Evangelou, V.P. 1998. Environmental Soil and Water Chemistry Principles and Application. John Wiley & Sons Inc. New York
- Fiantis, D. 2006. Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis G.Talang dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pembentukan Mineral Liat Non-Kristalin. Universitas Andalas. Padang
- Fiantis, D., M. Nelson, J. Shamshuddin, T.B. Goh, and E. Van Ranst. 2010. Leaching Experiments in Recent Tephra Deposits from Talang Volcano (West Sumatra), Indonesia. *Geoderma*, Vol.158: 161 – 172.
- Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Edisi Pertama. Akademika Pressindo. Jakarta
- Jiao, Y., W.H. Hendershot, and J.K. Whallen. 2004. Agricultural Practice Influence Dissolved Nutrient Leaching through Intact Soil Cores. *Soil Science Society of American Journal* Vol. 68.
- Kadarsetia, E., J. Hirabayashi, T. Ohba, and K. Nogami. 2010. The Behaviour of Fluorine, Chlorine, and Sulphur in The Magma of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol.1, No.13, hal. 183-198

- Lasino, B.S. dan D. Cahyadi. 2011. Pemanfaatan Pasir dan Debu Merapi Sebagai Bahan Konstruksi dalam Mendukung Pembangunan Infrastruktur dan Meningkatkan Nilai Guna Lahan Vulkanik. Dalam Prosiding PPI Standarisasi Tahun 2011. Yogyakarta.
- Munir, M. 2003. Geologi Lingkungan. Bayumedia Publishing. Malang
- Nandi. 2006. Handout Geologi Lingkungan Vulkanisme. Universitas Pendidikan Indonesia. Jakarta
- OECD Guidelines for The Testing of Chemicals. 2004. Leaching in Soil Columns. OECD/OCDE 13 April 2004.
- Popovic, A., D. Radmonovic, D. Djordjevic, and P. Polic. 2005. Leaching of Selected Elements from Coal Ash Dumping. Department off Chemistry, University of Belgrade, Serbia and Montenegro
- Rasmussen, C., N. Matsuyama, R.A. Dahlgren, and R.J. Southard. 2006. Soil Genesis and Mineral Transformation Across an Environmental Gradient on Andesitic Lahar. Soil Science Society of American Journal, Vol. 71, No. 1.
- Root, E. 2004. Rainwater Chemistry Across The United States. Bereket Haileab, Advisor, Edisi November 22.
- Saputra, A. 2011. Perilaku Fisik dan Mekanik Self Compacting Concrete dengan Pemanfaatan Abu Vulkanik sebagai Bahan Tambahan Pengganti Semen. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Solikhah, S. 2008. Potensi Seresah untuk Menurunkan Al-dd pada Tanah Ultisol Lampung. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- Suriadikarta, D.A., A. Abbas (id.), Sutono, D. Erfandi, E. Santoso, dan A. Kasno. 2011. Identifikasi Sifat Kimia Abu Vulkan, Tanah dan Air di Lokasi Dampak Letusan Gunung Merapi. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Tan, K. H. 1986. Degradation of Soil Mineral by Organic Acids. In: P. M. Huang and M. Schnitzer. Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication No. 12 pp.1-28.
- Utami, S.R. 2011. Studi Pelapukan Bahan Letusan Gunung Merapi dan Bromo. Belum dipublikasikan.
- Widowati. 2010. Produksi dan Aplikasi Biochar/ Arang dalam Mempengaruhi Tanah dan Tanaman. Disertasi. Universitas Brawijaya. Malang
- Yulipriyanto, H. 2010. Pengomposan Fase Thermofilik Limbah Organik Kotoran Ayam pada Lingkungan Artifisial Menggunakan Indore Heap Method. Dalam Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Pertanian. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Zaennudin, A. 1990. The Stratigraphy and Nature of The Stratocone of Mt. Cemara Lawang in The Bromo-Tengger Caldera, East Java, Indonesia. Master Thesis at Victoria University of Wellington, New Zealand.

Zaennudin, A. 2010. The Characteristic of Eruption of Indonesian Active Volcanoes in The Last Four Decades. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 1, No. 2, hal. 113 – 129.

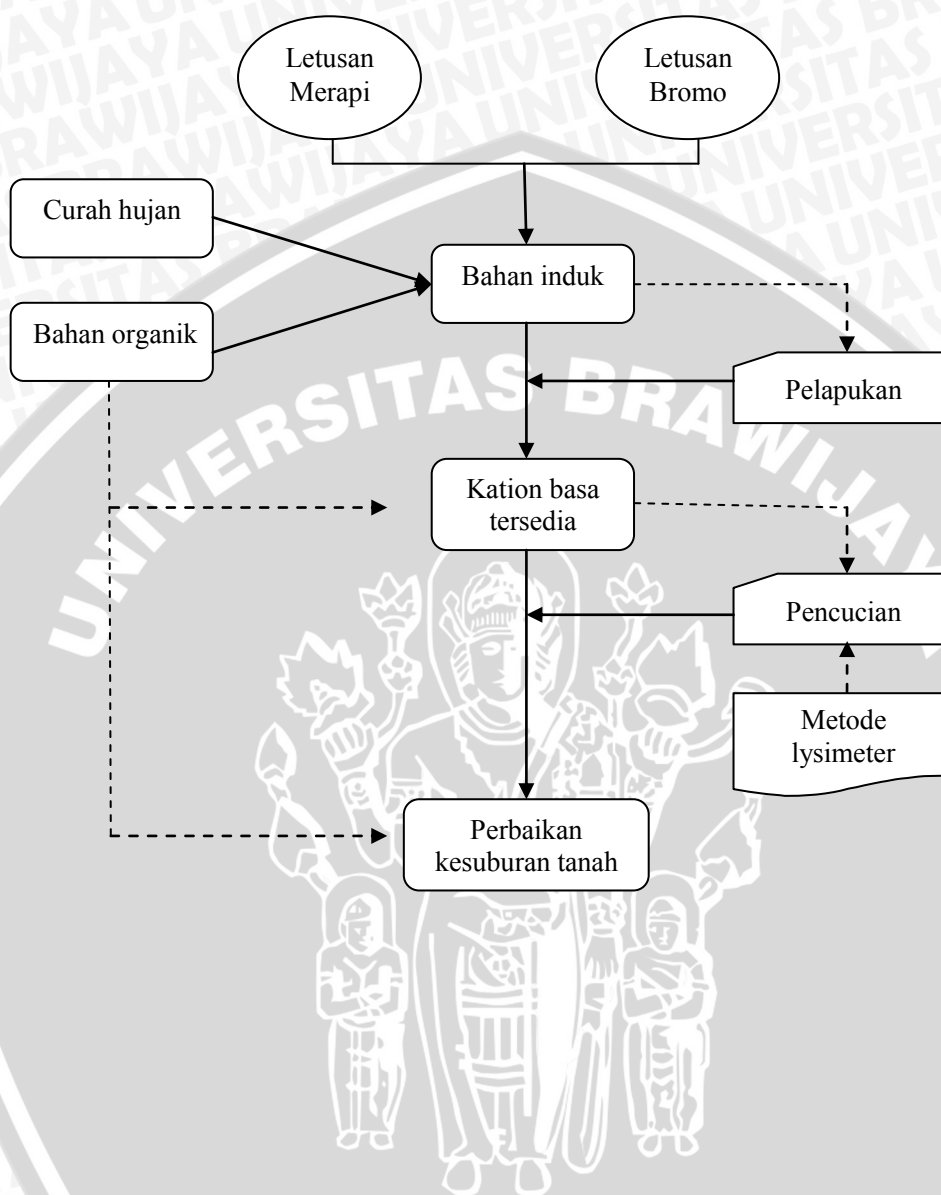
Zaennudin, A. 2011. Perbandingan antara Erupsi Gunung Bromo Tahun 2010 dan 2011 dan Erupsi Kompleks Gunung Tengger. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 2, No.1, hal. 21 – 37.

Zaennudin, A., Kristianto, dan E. Lusy. 2012. Model Erupsi Gunung Bromo di Jawa Timur pada Tahun 2010-2011. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol.3, No.1, hal 41-55

Zakariah, Z. 2004. Kebencanaan Geologi dan Hubungannya dengan Aktivitas Tektonik di Jawa Barat Bagian Selatan. *Jurnal Alami*, No.9, Vol.2, hal. 60-67.



Lampiran 1. Alur pikir penelitian



Lampiran 2. Data intensitas curah hujan tahunan Merapi dan Bromo

Data intensitas curah hujan tahunan Merapi tahun 2009 – 2011

Bulan	2009		2010		2011	
	HH	CH (mm)	HH	CH (mm)	HH	CH (mm)
Januari	17	438	26	478	11	130
Februari	22	623	26	370	25	416
Maret	20	469	17	159	25	605
April	15	147	18	280	22	342
Mei	3	14	18	309	6	49
Juni	10	62	1	9	12	83
Juli	8	90	0	0	0	0
Agustus	3	35	0	0	1	4
September	12	191	0	0	0	0
Oktober	7	100	4	12	4	80
November	16	365	6	130	16	295
Desember	0	0	28	578	29	468

Keterangan: HH=hari hujan (hari); CH=curah hujan (mm)

Data intensitas curah hujan tahunan Bromo tahun 2009 – 2011

Bulan	2009		2010		2011	
	HH	CH (mm)	HH	CH (mm)	HH	CH (mm)
Januari	4	97	25	867	18	303
Februari	16	234	16	389	5	46
Maret	7	120	8	157	10	142
April	10	134	8	297	9	225
Mei	0	0	7	201	10	168
Juni	0	0	5	113	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0
Agustus	0	0	0	0	0	0
September	0	0	7	226	0	0
Oktober	0	0	0	0	0	0
November	0	0	0	0	15	229
Desember	6	104	12	286	16	221

Keterangan: HH=hari hujan (hari); CH=curah hujan (mm)

Lampiran 3. Hasil analisis kimia air hujan dan bahan organik

Hasil analisis kimia air hujan

Unsur	Satuan	Kandungan
NH ₄	ppm	0
NO ₃	ppm	0,242
NO ₂	ppm	< 0,001
Cl ⁻	ppm	2,0
K ⁺	ppm	0
Na ⁺	ppm	1,96
Ca ²⁺	ppm	1,92
Mg ²⁺	ppm	0,14
SO ₄	ppm	0
PO ₄	ppm	0
pH	ppm	7,62

Hasil analisis kimia bahan organik

Unsur	Satuan	Kandungan	
		Kotoran ayam	Seresah lamtoro
Ca ²⁺	%	1.71	2.12
Mg ²⁺	%	0.66	0.88
K ⁺	%	1.44	1.92
Na ⁺	%	0.86	1.36

Lampiran 4. Perhitungan penambahan bahan organik

Perhitungan penambahan bahan organik pada endapan piroklastik Merapi

$$BI = 0,4 \text{ g cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} HLO &= \text{Luas hektar} \times \text{kedalaman} \times BI \\ &= 10.000 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} \times 0,4 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3} \\ &= 2 \times 10^4 \text{ kg ha}^{-1} \\ &= 200.000.000 \text{ g ha}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{Rekomendasi BO} = 20 \text{ ton ha}^{-1}$$

$$\text{Berat sampel} = 300 \text{ g}$$

$$\text{Jumlah BO yang perlu ditambahkan} = \frac{\text{sampel}}{100} \times \text{Rekomendasi}$$

$$= \frac{300}{100} \times 20.000.000$$

$$= 30 \text{ g}$$

Perhitungan penambahan bahan organik pada endapan piroklastik Bromo

$$BI = 0,7 \text{ g cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} HLO &= \text{Luas hektar} \times \text{kedalaman} \times BI \\ &= 10.000 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} \times 0,7 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3} \\ &= 3,5 \times 10^4 \text{ kg ha}^{-1} \\ &= 350.000.000 \text{ g ha}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{Rekomendasi BO} = 20 \text{ ton ha}^{-1}$$

$$\text{Berat sampel} = 300 \text{ g}$$

$$\text{Jumlah BO yang perlu ditambahkan} = \frac{\text{sampel}}{100} \times \text{Rekomendasi}$$

$$= \frac{300}{100} \times 20.000.000$$

$$= 17,1 \text{ g}$$

Lampiran 5. Hasil analisis kandungan kation basa tercuci

Asal	Perlakuan	Ul	Ca (ppm)				Mg (ppm)				K (ppm)				Na (ppm)			
			T1BB	T1BK	T2BB	T2BK	T1BB	T1BK	T2BB	T2BK	T1BB	T1BK	T2BB	T2BK	T1BB	T1BK	T2BB	T2BK
Merapi	A0	1	55.07	59.47	17.21	28.53	31.32	11.40	2.75	6.60	2.14	2.58	1.35	1.52	15.37	19.20	13.87	30.96
		2	52.77	57.33	16.49	27.20	33.56	9.00	3.40	6.20	1.94	2.61	1.07	1.78	17.12	19.68	15.53	30.96
		3	53.92	53.87	13.77	24.00	29.25	3.60	6.02	6.00	2.08	3.39	0.94	1.52	18.09	19.20	16.29	26.45
	A1	1	48.41	50.67	14.91	42.67	30.11	3.60	2.93	9.00	4.99	3.70	2.12	5.82	16.94	21.12	16.75	37.20
		2	52.77	53.33	16.26	44.91	28.39	4.00	1.24	9.68	4.99	2.44	0.71	5.18	17.26	18.66	17.22	34.88
		3	46.63	41.87	12.62	32.00	32.86	14.60	6.52	8.00	3.57	3.16	2.57	2.35	18.51	18.20	19.59	15.84
	A2	1	40.15	42.67	8.49	42.67	30.98	7.60	3.18	9.20	22.21	9.56	4.84	7.52	30.77	24.32	15.62	41.40
		2	52.77	47.20	11.16	47.20	23.23	9.60	1.45	8.80	19.87	8.73	5.56	14.85	31.11	24.44	20.40	45.32
		3	49.33	48.00	11.47	22.67	22.37	6.00	3.09	8.60	22.21	11.32	3.87	14.12	30.56	23.84	19.43	43.12
	B0	1	69.23	74.13	19.85	34.67	29.92	2.40	3.27	7.00	3.53	3.75	2.41	3.74	10.02	23.24	12.92	40.92
		2	72.31	88.00	15.38	41.15	41.54	8.00	6.92	11.24	5.35	3.50	2.69	4.36	8.36	25.71	10.34	43.92
		3	70.77	77.33	18.46	48.00	35.54	8.00	4.27	11.40	4.40	4.04	2.56	3.14	10.12	25.08	7.92	31.64
	B1	1	61.54	65.07	14.00	76.80	31.77	1.40	4.96	10.40	8.89	2.71	0.51	7.84	11.36	29.56	10.33	45.52
		2	56.15	89.87	12.78	76.07	37.77	0.60	5.88	10.56	8.49	3.73	0.52	7.70	10.67	33.99	10.20	44.68
		3	63.85	58.93	18.46	74.00	36.35	3.80	2.81	7.00	10.11	4.31	1.59	7.63	9.71	33.16	9.43	44.25
	B2	1	46.40	26.67	10.77	38.67	32.55	1.40	4.62	6.10	35.24	14.21	6.09	9.36	28.48	35.72	11.03	45.64
		2	46.15	35.20	7.54	34.64	34.19	1.60	3.93	7.82	44.26	12.86	7.92	12.24	31.98	30.30	12.63	46.44
		3	46.15	42.67	20.00	45.33	38.42	4.00	4.42	7.20	34.04	14.85	6.41	11.89	25.38	29.56	11.72	45.12
Bromo	A0	1	33.37	78.40	14.91	26.67	10.88	7.60	9.32	3.40	1.15	0.69	0.28	1.08	11.22	19.44	15.02	43.80
		2	43.27	66.67	19.39	22.68	10.88	13.80	7.96	4.52	1.02	0.50	0.24	0.43	11.54	18.66	18.25	35.68

A1	3	40.04	83.20	17.21	28.00	10.88	11.60	9.33	3.80	1.03	0.47	0.26	0.65	11.63	18.20	15.72	34.72
	1	39.73	85.33	16.06	26.67	10.15	8.00	7.36	6.00	2.79	3.31	0.76	0.91	11.63	20.96	16.85	33.76
	2	40.61	98.67	17.21	30.83	10.61	6.40	7.24	6.14	3.06	2.80	0.78	0.82	10.98	20.62	16.18	39.40
A2	3	38.06	86.13	18.36	46.67	9.80	17.40	7.86	4.00	3.16	3.09	0.73	2.35	12.18	20.12	17.52	37.28
	1	39.47	74.67	17.67	41.47	8.34	9.00	5.11	1.60	13.64	6.12	1.54	2.43	25.52	22.32	17.82	35.16
	2	32.90	66.67	14.91	35.95	9.43	7.20	5.56	0.91	13.73	4.81	2.51	2.26	27.83	22.43	18.25	38.88
B0	3	33.00	64.00	18.36	38.00	12.49	12.00	4.90	5.40	15.49	6.23	2.24	2.22	27.83	21.88	17.56	38.24
	1	66.00	238.67	24.15	93.67	12.48	29.00	5.65	2.00	2.16	1.59	1.32	1.47	6.64	23.40	12.05	37.60
	2	66.42	234.67	24.31	98.48	12.30	32.00	5.57	3.64	2.02	1.67	1.60	1.65	7.88	24.93	10.50	40.20
B1	3	63.62	218.67	27.69	79.20	12.08	34.00	3.00	20.60	2.02	1.89	0.64	1.65	7.09	24.32	11.41	40.00
	1	65.02	173.33	21.54	86.67	8.86	14.00	4.77	7.00	8.47	5.57	3.50	2.87	8.85	22.92	9.89	39.80
	2	62.22	184.00	20.61	92.00	8.50	13.40	4.41	6.70	7.27	5.02	1.68	2.21	8.60	24.32	10.15	39.08
B2	3	62.92	176.00	20.31	83.20	8.77	14.60	4.54	10.60	7.57	5.54	2.49	3.22	8.40	24.24	11.72	38.56
	1	56.63	56.53	16.92	51.73	8.14	7.80	4.96	1.40	40.97	6.52	0.37	6.32	8.78	26.28	7.28	38.08
	2	58.03	58.67	17.23	53.69	7.96	8.00	4.27	1.38	37.65	6.60	0.38	5.93	13.90	26.94	11.84	40.00
	3	55.23	55.47	15.69	55.73	8.19	8.40	4.23	10.20	37.37	8.20	0.37	5.93	13.80	28.56	11.32	40.00

Keterangan: T1 = tahun pertama; T2 = tahun kedua; BB = bulan basah; BK= bulan kering; Ul = ulangan



Lampiran 6. Anova pengaruh perlakuan terhadap Ca tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo

Anova Ca tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Merapi						
Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	1637.446	1	1637.446	15.630**	0.002
	T1 BK	372.645	1	372.645	354.782**	0.000
	T2 BB	219.661	1	219.661	3.305	0.094
	T2 BK	136.070	1	136.070	46.656**	0.000
BO	T1 BB	4540.513	2	2270.256	21.670**	0.000
	T1 BK	31.952	2	15.976	15.210**	0.001
	T2 BB	651.972	2	325.986	4.904**	0.028
	T2 BK	30.290	2	15.145	5.193**	0.024
CH * BO	T1 BB	1109.627	2	554.813	5.296**	0.022
	T1 BK	3.658	2	1.829	1.741	0.217
	T2 BB	47.598	2	23.799	.358	0.706
	T2 BK	7.788	2	3.894	1.335	0.300
Galat	T1 BB	1257.193	12	104.766		
	T1 BK	12.604	12	1.050		
	T2 BB	797.647	12	66.471		
	T2 BK	34.998	12	2.916		
Total	T1 BB	402828.618	18			
	T1 BK	2006.455	18			
	T2 BB	29340.345	18			
	T2 BK	1045.415	18			

Anova Ca tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Bromo						
Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	2520.027	1	2520.027	66.132**	.000
	T1 BK	404.417	1	404.417	186.608**	.000
	T2 BB	100.300	1	100.300	4.905*	.047
	T2 BK	42.843	1	42.843	24.690**	.000
BO	T1 BB	1234.452	2	617.226	16.198**	.000
	T1 BK	241.083	2	120.542	55.621**	.000
	T2 BB	334.541	2	167.270	8.180**	.006
	T2 BK	3.920	2	1.960	1.130	.355
CH * BO	T1 BB	4.229	2	2.114	.055	.946
	T1 BK	103.297	2	51.649	23.832**	.000
	T2 BB	298.316	2	149.158	7.294**	.008
	T2 BK	30.588	2	15.294	8.814**	.004
Galat	T1 BB	457.271	12	38.106		
	T1 BK	26.006	12	2.167		
	T2 BB	245.386	12	20.449		
	T2 BK	20.823	12	1.735		
Total	T1 BB	321443.343	18			
	T1 BK	5879.344	18			
	T2 BB	48458.808	18			
	T2 BK	1127.696	18			

Keterangan: * signifikan pada taraf 5%; ** signifikan pada taraf 1%;

T1 = simulasi tahun pertama; T2 = simulasi tahun kedua

BB = bulan basah; BK = bulan kering

Lampiran 7. Anova pengaruh perlakuan terhadap Mg tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo

Anova Mg tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Merapi

Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	5.746	1	5.746	.036	0.853
	T1 BK	14.779	1	14.779	25.166**	0.000
	T2 BB	5.690	1	5.690	.153	0.702
	T2 BK	5.803	1	5.803	30.700**	0.000
BO	T1 BB	315.884	2	157.942	.991	0.400
	T1 BK	.907	2	.454	.772	0.484
	T2 BB	52.347	2	26.173	.706	0.513
	T2 BK	3.104	2	1.552	8.210**	0.006
CH * BO	T1 BB	849.399	2	424.700	2.665	0.110
	T1 BK	1.225	2	.613	1.043	0.382
	T2 BB	46.811	2	23.405	.631	0.549
	T2 BK	4.076	2	2.038	10.783**	0.002
Galat	T1 BB	1912.620	12	159.385		
	T1 BK	7.047	12	.587		
	T2 BB	445.103	12	37.092		
	T2 BK	2.268	12	.189		
Total	T1 BB	102204.463	18			
	T1 BK	46.694	18			
	T2 BB	1947.745	18			
	T2 BK	38.144	18			

Anova Mg tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Bromo

Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	2.435	1	2.435	1.350	0.268
	T1 BK	6.102	1	6.102	14.561**	0.002
	T2 BB	523.153	1	523.153	8.155*	0.014
	T2 BK	1.042	1	1.042	5.942*	0.031
BO	T1 BB	55.264	2	27.632	15.320**	0.000
	T1 BK	2.581	2	1.290	3.080	0.083
	T2 BB	17.086	2	8.543	.133	0.877
	T2 BK	1.521	2	.761	4.338*	0.038
CH * BO	T1 BB	75.657	2	37.828	20.973	0.000
	T1 BK	1.146	2	.573	1.368	0.292
	T2 BB	370.555	2	185.277	2.888	0.095
	T2 BK	.736	2	.368	2.099	0.165
Galat	T1 BB	21.644	12	1.804		
	T1 BK	5.028	12	.419		
	T2 BB	769.772	12	64.148		
	T2 BK	2.104	12	.175		
Total	T1 BB	5846.733	18			
	T1 BK	66.877	18			
	T2 BB	9835.063	18			
	T2 BK	14.490	18			

Keterangan: * signifikan pada taraf 5%; ** signifikan pada taraf 1%;

T1 = simulasi tahun pertama; T2 = simulasi tahun kedua

BB = bulan basah; BK = bulan kering

Lampiran 8. Anova pengaruh perlakuan terhadap K tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo

Anova K tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Merapi						
Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	528.667	1	528.667	15.568**	.002
	T1 BK	3.672	1	3.672	113.354**	.000
	T2 BB	.010	1	.010	.003	.961
	T2 BK	5.336	1	5.336	20.898**	.001
BO	T1 BB	17060.076	2	8530.038	251.187**	.000
	T1 BK	7.346	2	3.673	113.387**	.000
	T2 BB	498.383	2	249.191	61.915**	.000
	T2 BK	9.595	2	4.797	18.790**	.000
CH * BO	T1 BB	255.762	2	127.881	3.766	.054
	T1 BK	1.214	2	.607	18.738**	.000
	T2 BB	30.211	2	15.105	3.753	.054
	T2 BK	4.545	2	2.273	8.902**	.004
Galat	T1 BB	407.507	12	33.959		
	T1 BK	.389	12	.032		
	T2 BB	48.297	12	4.025		
	T2 BK	3.064	12	.255		
Total	T1 BB	39930.490	18			
	T1 BK	30.802	18			
	T2 BB	1730.341	18			
	T2 BK	45.614	18			

Anova K tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Bromo						
Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	1562.778	1	1562.778	265.468**	.000
	T1 BK	1.085	1	1.085	109.509**	.000
	T2 BB	.009	1	.009	.006	.938
	T2 BK	.081	1	.081	7.216**	.020
BO	T1 BB	14067.960	2	7033.980	1195**	.000
	T1 BK	2.560	2	1.280	129.155**	.000
	T2 BB	19.250	2	9.625	6.895**	.010
	T2 BK	.472	2	.236	20.915**	.000
CH * BO	T1 BB	1680.986	2	840.493	142.774**	.000
	T1 BK	.769	2	.385	38.814**	.000
	T2 BB	73.908	2	36.954	26.472**	.000
	T2 BK	.008	2	.004	.333	.723
Galat	T1 BB	70.643	12	5.887		
	T1 BK	.119	12	.010		
	T2 BB	16.752	12	1.396		
	T2 BK	.135	12	.011		
Total	T1 BB	32019.972	18			
	T1 BK	11.305	18			
	T2 BB	297.969	18			
	T2 BK	2.729	18			

Keterangan: * signifikan pada taraf 5%; ** signifikan pada taraf 1%;

T1 = simulasi tahun pertama; T2 = simulasi tahun kedua

BB = bulan basah; BK = bulan kering

Lampiran 9. Anova pengaruh perlakuan terhadap Na tercuci pada material piroklastik Merapi dan Bromo

Anova Na tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Merapi

Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	4121.715	1	4121.715	260.185**	.000
	T1 BK	54.323	1	54.323	1033**	.000
	T2 BB	3744.586	1	3744.586	160.551**	.000
	T2 BK	163.262	1	163.262	84.873**	.000
BO	T1 BB	7436.998	2	3718.499	234.732**	.000
	T1 BK	2.823	2	1.411	26.843**	.000
	T2 BB	136.702	2	68.351	2.931	.092
	T2 BK	17.292	2	8.646	4.495	.035
CH * BO	T1 BB	.702	2	.351	.022	.978
	T1 BK	1.422	2	.711	13.522**	.001
	T2 BB	68.657	2	34.329	1.472	.268
	T2 BK	12.686	2	6.343	3.298	.072
Galat	T1 BB	190.098	12	15.841		
	T1 BK	.631	12	.053		
	T2 BB	279.880	12	23.323		
	T2 BK	23.083	12	1.924		
Total	T1 BB	62527.983	18			
	T1 BK	354.039	18			
	T2 BB	32341.192	18			
	T2 BK	948.110	18			

Anova Na tercuci berbagai perlakuan pada material piroklastik Bromo

Sumber ragam	Simulasi	JK	dB	KT	F	Sig.
CH	T1 BB	434.437	1	434.437	25.822**	.000
	T1 BK	61.679	1	61.679	5568**	.000
	T2 BB	178.227	1	178.227	11.147**	.006
	T2 BK	237.765	1	237.765	502.793**	.000
BO	T1 BB	2480.275	2	1240.137	73.711**	.000
	T1 BK	1.073	2	.537	48.432**	.000
	T2 BB	1.105	2	.552	.035	.966
	T2 BK	.095	2	.048	.101	.905
CH * BO	T1 BB	546.046	2	273.023	16.228**	.000
	T1 BK	.409	2	.205	18.479**	.000
	T2 BB	39.917	2	19.959	1.248	.322
	T2 BK	.085	2	.043	.090	.914
Galat	T1 BB	201.893	12	16.824		
	T1 BK	.133	12	.011		
	T2 BB	191.865	12	15.989		
	T2 BK	5.675	12	.473		
Total	T1 BB	24693.605	18			
	T1 BK	324.584	18			
	T2 BB	24619.914	18			
	T2 BK	1050.837	18			

Keterangan: * signifikan pada taraf 5%; ** signifikan pada taraf 1%;

T1 = simulasi tahun pertama; T2 = simulasi tahun kedua

BB = bulan basah; BK = bulan kering