

Pencucian dan Pemupukan Tanah Sulfat Masam untuk Perbaikan Sifat Kimia dan Pertumbuhan Padi

Leaching and Fertilization of Acid Sulphate Soil for Improvement of Chemical Properties and Rice Growth

Jelly Amalia Santri^{1,2*}, Azwar Maas², Sri Nuryani Hidayah Utami², Wahida Annisa Yusuf³

¹Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

²Balai Penelitian Tanah, Ciwaringin, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16114

³Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Kota Banjar Baru, Kalimantan Selatan 70714

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 17 Februari 2021

Disetujui: 27 Mei 2021

Dipublikasi online: 11 Juni 2021

Kata Kunci:

Kompos
Pencucian
Pertumbuhan padi
Tanah sulfat masam

Keywords:

Acid sulphate soil
Compost
Leaching
Rice growth

Direview oleh:

Wiwik Hartatik, Muhammad Hikmat

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pencucian dan pemupukan terhadap sifat kimia tanah dan air dalam menunjang pertumbuhan tanaman padi di lahan sulfat masam. Penelitian ini meliputi pembuatan pupuk organik (kompos) yang digunakan sebagai amelioran, berbahan dasar tanaman lokal, dilanjutkan dengan percobaan pot di rumah kaca, Kalimantan Selatan pada bulan Februari sampai Mei 2019. Rancangan penelitian adalah faktorial; faktor pertama pemupukan (P), yaitu: P0 = tanpa dipupuk, P1 = pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi, P2 = pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman, P3 = pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dengan kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, dan P4 = pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi. Faktor kedua adalah pencucian (D) dengan sistem, yaitu: D0 = air hasil pencucian tidak dikembalikan, D1 = air hasil pencucian dikembalikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan (D0) membuat nilai Eh, daya hantar listrik serta kandungan Fe dan SO₄ tanah lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan air hasil pencucian dikembalikan (D1). Perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan (D0) dapat memperbaiki sifat-sifat tanah dan mengurangi pengaruh unsur-unsur beracun. Produksi biomassa tertinggi terdapat pada perlakuan D0P2. Untuk menopang pertumbuhan padi pada tanah sulfat masam dengan sifat seperti di lokasi penelitian ini, disarankan menerapkan perlakuan D0P2, yaitu pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi disertai dengan pemberian 1 ton ha⁻¹ kompos.

Abstract. This research aims to determine the effects of leaching and fertilization on the chemical properties of soil and water for supporting rice growth on acid sulphate soil. The research began with composting of local plant residues as ameliorant, followed with pot experiments in a greenhouse, in South Kalimantan from February to May 2019. Randomized complete design was set with two factors and three replications. The first factor was fertilization (P), namely: P0 = no additional fertilizer, P1 = 50% of recommended NPK fertilizer, P2 = 50% of recommended NPK fertilizer + 1 ton ha⁻¹ compost, P3 = 100% of recommended NPK fertilizer + N fertilizer with N content equivalent with that of the 1 ton ha⁻¹ compost, and P4 = 100% recommended NPK fertilizer. The second factor was leaching (D), namely: D0 = leaching with fresh water, D1 = reuse of leaching water. The results showed that leaching with fresh water lowered the Eh, electrical conductivity, and soil Fe and SO₄ contents relative to reuse of leaching water treatments. Leaching with fresh water treatment (D0) improved soil properties and reduced the influence of toxic elements. The highest biomass production was found in the D0P2 treatment. To support the growth of rice plants on acid sulphate soil, treatment D0P2, i.e. leaching with fresh water and fertilizing with 50% of recommended NPK fertilizer, plus adding 1 ton ha⁻¹ compost is recommendable.

Pendahuluan

Populasi penduduk Indonesia yang terus berkembang, membuat meningkatnya kebutuhan pangan. Pangan merupakan kebutuhan yang mendasar dan berdampak

besar pada semua aspek kehidupan. Di Indonesia, pangan sering diartikan sebagai beras karena mayoritas penduduknya mengkonsumsi beras sebagai makanan pokok. Permintaan beras yang terus menerus meningkat membuat pemerintah mengembangkan lahan rawa yang tersedia sangat luas di Indonesia.

* Corresponding author: jellyamaliasantri@gmail.com

Ekosistem rawa terdiri dari berbagai jenis tanah, salah satunya adalah tanah sulfat masam. Tanah jenis ini termasuk dalam ordo Entisols dan Inceptisols (Soil Survey Staff 2014). Luas lahan rawa dengan jenis tanah sulfat masam di Indonesia sekitar 6,7 juta ha (Badan Litbang Pertanian 2009). Pemanfaatan tanah sulfat masam sebenarnya sudah dilakukan puluhan tahun lalu, namun pengelolaannya belum optimal sehingga hasil pertaniannya masih rendah.

Tanah sulfat masam adalah tanah yang mengandung bahan sulfidik, yang apabila teroksidasi berpotensi membentuk asam sulfat dalam jumlah yang meracuni tanaman dan berdampak signifikan pada karakteristik tanah. Hal ini menjadi masalah internal sifat tanah inherent yang tidak menguntungkan karena jika telah terbentuk asam sulfat, maka pH tanah akan menjadi sangat masam dan mendorong pembentukan besi sulfat dan aluminium sulfat sehingga tanah menjadi tidak subur, karena diikuti juga dengan kekahatan hara-hara penting yang dibutuhkan tanaman (Soil Survey Staff 2014).

Perbaikan tanah sulfat masam menggunakan amelioran dapat meningkatkan kesuburan tanah sulfat masam. Vieira *et al.* (2008) menjelaskan bahwa kriteria amelioran yang baik untuk lahan rawa pasang surut adalah mempunyai kejenuhan basa tinggi, dapat meningkatkan pH, memperbaiki struktur tanah, mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman serta mampu menghilangkan pengaruh senyawa beracun. Selain kapur, penambahan bahan organik pada tanah sulfat masam mampu memperbaiki kesuburan tanah.

Bahan organik sangat berperan dalam memperbaiki karakteristik tanah tidak hanya secara kimia namun secara fisik dan biologi. Shamsuddin *et al.* (2004) membandingkan efek kapur dengan penambahan berbagai amandemen organik pada produktivitas kakao di tanah bereaksi masam dan menemukan bahwa bahan organik sama efektifnya dengan aplikasi kapur, baik dengan meningkatkan pH tanah atau dengan mengurangi ketersediaan ion aluminium bebas, yang sangat toksik pada akar tanaman.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penggunaan bahan organik, perlu diperhatikan cara pengelolaan dan jumlahnya. Sebagian masyarakat di Kalimantan Selatan memanfaatkan bahan organik sisa panen dengan pembakaran. Hasil penelitian Husnain (2010) menyebutkan bahwa dengan pembakaran terjadi kehilangan C dan N. Pembakaran juga akan mengganggu ekosistem biota tanah. Menurut Maksimova dan Abakumov (2014), kebakaran lahan menjadi penyebab

utama menurunnya aktivitas mikroorganisme tanah.

Agar unsur yang terkandung dari sisa panen tidak terbuang, pemanfaatan sisa panen dapat dilakukan dengan pengomposan. Hasil penelitian Annisa (2014) menunjukkan bahwa penggunaan kompos yang berasal dari jerami, purun tikus dan kotoran sapi dengan perbandingan 30:30:40 terbukti mampu memperbaiki sifat-sifat tanah sulfat masam sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman padi.

Perbaikan sifat kimia tanah sulfat masam tidak hanya terbatas pada pemberian amelioran dan pemupukan, diperlukan juga tata kelola air. Pencucian merupakan salah satu alternatif dalam memanfaatkan lahan sulfat masam. Melalui pencucian, diharapkan terjadi pembuangan bahan-bahan beracun dan mengurangi penggunaan kapur untuk menetralkan kemasaman tanah.

Hasil penelitian Ma'as (1989) menunjukkan bahwa pencucian dengan sistem tertutup (tanpa pembuangan air genangan) dengan pembasahan memanfaatkan air hujan selama 14 bulan menurunkan kadar pirit dari 1,55% menjadi 0,44% yang diiringi dengan peningkatan kejenuhan Al dari 47% menjadi 65% dan penurunan kation-kation Na, Ca, dan Mg. Sementara itu, pemanfaatan dengan pencucian terbuka (tanah mendapat pengaruh dari air tanah dan air hujan secara bersamaan) dapat menurunkan pirit dari 1,00% menjadi 0,30% yang diikuti oleh penurunan kejenuhan Al dari 53% menjadi 45% dan penurunan K, Mg, sedikit Ca dan Na. Selain pencucian, penggenangan merupakan langkah pilihan untuk mengamankan pirit agar tidak teroksidasi.

Jika dikelola dengan menggunakan teknologi tepat guna berdasarkan karakteristik lahannya, lahan sulfat masam dapat dikembangkan sebagai lahan pertanian yang produktif. Peningkatan produktivitas lahan dan produksi tanaman dapat dicapai melalui pengelolaan air dikombinasikan dengan pengelolaan tanah melalui pengapuran, pemupukan dan pemberian kompos. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pencucian, pemberian amelioran dan pemupukan terhadap pertumbuhan tanaman Padi (*Oryza sativa L.*) pada tanah sulfat masam skala rumah kaca.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan dari bulan Februari – Mei 2019 di rumah kaca Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Kabupaten Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

Pembuatan Kompos

Kompos dibuat dari jerami padi, tanaman purun dan kotoran sapi yang diambil dari daerah sekitar kebun percobaan Belandean (50 km dari Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa). Bahan segar dikeringkan, dan dicacah sampai berukuran 2-3 cm, serta ditimbang dengan perbandingan 30:30:40. Bahan yang sudah siap kemudian disusun menjadi 3 lapisan. Pada tiap susunan bahan, diberi kapur dan disiram air sampai basah. Dosis kapur yang digunakan adalah 15 kg dan air yang digunakan telah diberi biakan *Trichoderma sp.* dengan dosis 20 L untuk 1 ton bahan kompos. Setelah diinkubasi selama 40 hari, kompos dipanen.

Penyiapan Tanah di Dalam Pot

Tanah yang dijadikan media tanam diambil pada kedalaman 0 – 20 cm dari lahan sulfat masam di kebun percobaan Belandean, Desa Tanjung Harapan, Kecamatan Alalak, Kabupaten Barito Kuala. Tanah diambil berdasarkan kedalaman tersebut karena pada uji pendahuluan, pirit berada pada kedalaman >25 cm. Selanjutnya, tanah dicampurkan dalam kondisi basah (tidak dikeringkan) untuk menghindari terjadinya pemasaman tanah (oksidasi bahan sulfidik). Setelah tercampur rata, tanah kemudian ditimbang sebanyak 15 kg dan dimasukkan ke dalam pot dengan diameter 29 cm dan tinggi 37 cm. Amelioran berupa kapur pertanian diberikan saat tanah sudah siap, dan diinkubasi selama 2 minggu. Saat inkubasi kapur berjalan 1 minggu, diberikan kompos untuk perlakuan dengan kombinasi pupuk anorganik dan kompos, lalu inkubasi dilanjutkan sampai mencukupi

waktu 2 minggu. Hasil analisis menunjukkan bahwa kompos yang digunakan memiliki kandungan N total sebesar 4,326%. Dosis kompos disesuaikan dengan kebutuhan N sisa dari pemenuhan kebutuhan N dengan pupuk anorganik. Dosis pupuk anorganik yang diberikan adalah urea sebanyak 165 kg ha⁻¹, SP-36 sebanyak 125 kg ha⁻¹ dan KCl sebanyak 112 kg ha⁻¹. Dosis ini ditetapkan menggunakan *Decision Support System* (DSS) pemupukan padi lahan rawa pasang surut.

Penanaman dan Pemeliharaan

Benih padi yang digunakan adalah varietas Inpara 2. Penyemaian benih diawali dengan perendaman selama 24 jam dengan air, kemudian ditiriskan, lalu benih ditaburkan pada media semai. Setelah benih berumur 21 hari, dilakukan pemindahan ke pot.

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dengan dua faktor, yaitu: 1) pencucian, dan 2) pemupukan, dengan tiga ulangan. Sumber keragaman penelitian dengan tiap faktor diatur berdasarkan Tabel 1.

Pupuk urea diberikan dua tahap, yaitu 1 minggu setelah tanam dan pada saat tanaman berumur 4 minggu. Pupuk SP-36 dan KCl diberikan satu kali pada saat tanam.

Penyiraman dilakukan dengan menggunakan air sungai Barito pada saat pasang besar, dengan volume air penyiraman mempertahankan genangan 0 – 3 cm. Pencucian dilakukan setiap 2 hari sekali. Pencucian dilakukan dengan cara dibukanya kran air pada pot yang digunakan untuk tempat penanaman (Gambar 1), dan air yang keluar ditampung pada ember kecil dengan ukuran

Tabel 1. Perlakuan yang diterapkan

Table 1. Treatments applied

Perlakuan	Pemupukan
D0: Pencucian dengan air tidak dikembalikan	P0: Tanpa pupuk
	P1: Pemupukan N, P, K 50% dosis rekomendasi
	P2: Pemupukan N, P, K 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha ⁻¹ kompos
	P3: Pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha ⁻¹ kompos
D1: Pencucian dengan air dikembalikan	P4: Pemupukan N, P, K 100% dosis rekomendasi
	P0: Tanpa pupuk
	P1: Pemupukan N, P, K 50% dosis rekomendasi
	P2: Pemupukan N, P, K 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha ⁻¹ kompos
	P3: Pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha ⁻¹ kompos
	P4: Pemupukan N, P, K 100% dosis rekomendasi

diameter atas 31 cm, diameter bawah 22,5 cm dan tinggi 23 cm.

Untuk perlakuan D1, setelah pencucian dilakukan, air tampungan hasil pencucian langsung dimasukkan kembali ke dalam pot. Sementara untuk perlakuan D0, setelah pencucian dilakukan, air hasil pencucian dibuang, dan pot disiram dengan air yang diambil dari sungai Barito. Pencucian dilakukan setiap 2 hari sekali. Perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan menggambarkan keadaan lahan saat tidak terjadi pasang besar. Sementara perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan menggambarkan keadaan saat terjadi pasang besar sehingga lahan tercuci dengan air baru dari sungai Barito.

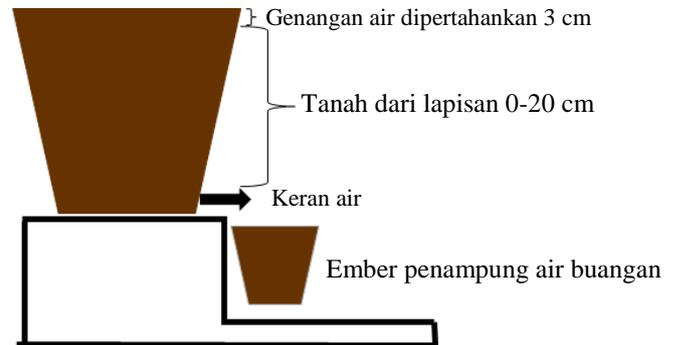
Pengamatan tanah dan air dilakukan pada parameter pH, DHL dan EH tanah dan air setiap 2 hari sekali. Sample untuk pengamatan tanah diambil secara hati-hati sehingga tidak merusak tanaman, dan untuk pengamatan air, dilakukan saat air berada pada ember tampungan. Pengamatan agronomi dilakukan setiap satu minggu sekali. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman dan jumlah anakan selama fase pertumbuhan vegetatif.

Analisis tanah dilakukan pada kondisi awal sebelum perlakuan dan pada fase vegetatif maksimum (panen brangkas). Analisis tanah meliputi; penetapan tekstur dengan metode pipet; pH dengan pH meter; K dapat ditukar (K-dd) menggunakan NH_4OAc 1 M pH7; C-organik dengan metode pengabuan; N-total dengan metode Kjeldahl; P tersedia diukur dengan metode P-Bray; Al dapat ditukar (Al-dd) dan H dapat ditukar (H-dd) diukur dengan menghitung konsentrasi ion H^+ dan konsentrasi ion Al^{3+} dengan titrasi ganda NaOH 0,01 N dan HCl 0,01 N; Fe dan SO_4 diukur dengan NH_4OAc 1M pH 4.8; kapasitas tukar kation (KTK) tanah pH 7 dengan ammonium asetat netral (Balai Penelitian Tanah 2005); daya hantar listrik (DHL) menggunakan *electrical conductivity meter* (metode potensiometrik).

Analisis Jaringan yang dilakukan meliputi: jaringan tanaman yang diambil pada saat berumur 60 hari setelah tanam (HST) pada parameter Fe dan SO_4 .

Air pencucian diamati dengan selang waktu 2 hari selama masa pertumbuhan sampai vegetatif optimal. Analisis yang dilakukan meliputi: pH (metode potensiometrik, menggunakan pH meter); DHL menggunakan *electrical conductivity meter* (metode potensiometrik); kemasaman tertitrasi, diukur dengan menghitung konsentrasi ion H^+ dan konsentrasi ion Al^{3+} , ditentukan dengan titrasi ganda NaOH 0,01 N dan HCl

0,01 N (Sudjadi dan Widijk 1972), Fe^{3+} diukur dengan *atomic absorption* spektrometer; dan sulfat terlarutkan diukur dengan metode gravimetri (endapan dari air ditimbang, diberi BaCl_2 10 %).



Gambar 1. Ilustrasi bentuk pot yang digunakan

Figure 1. Illustration of pot used

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Tanah Sebelum Perlakuan

Data dari Tabel 2 menunjukkan bahwa tanah sulfat masam yang digunakan memiliki tekstur liat berdebu, sehingga kemampuan menahan air cukup baik. Nilai pH tanah termasuk kelas sangat masam, sehingga menyebabkan kelarutan senyawa – senyawa racun seperti Al, Fe dan Mn tinggi. Dampak lain dari rendahnya pH adalah rendahnya kejenuhan basa tanah.

Nilai DHL Tanah

Pengukuran daya hantar listrik mempunyai peran penting dalam melihat proses-proses kimia yang terjadi. Daya hantar listrik berbanding lurus dengan jumlah unsur hara yang ada dalam tanah. Bohn *et al.* (2001) menjelaskan bahwa terdapat tiga sumber daya alam yang mempengaruhi nilai DHL tanah, yaitu pelapukan bahan mineral, curah hujan dan garam-garam dari fosil, serta aktivitas manusia yang menambahkan garam melalui irigasi atau pupuk. Hasil pengamatan nilai DHL (Tabel 3) menunjukkan bahwa faktor pencucian dan faktor pemupukan berpengaruh nyata terhadap nilai DHL tanah, serta terdapat interaksi antar faktor.

Perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan (D0) dan dikembalikan (D1), diikuti dengan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos sisa tanaman memiliki nilai DHL tertinggi, sedangkan perlakuan tanpa pemupukan (D0P0) memiliki nilai DHL terendah.

Tabel 2. Sifat-sifat tanah sulfat masam yang digunakan untuk penelitian ini

Table 2. Soil properties of the acid sulfate soils used in this experiment

Sifat Tanah	Satuan	Nilai	Kelas (Balittan 2005)
Tekstur			Liat berdebu
- Fraksi Pasir	%	4,24	-
- Fraksi Debu	%	48,93	-
- Fraksi Liat	%	46,83	-
- pH H ₂ O		3,79	Sangat masam
- C-organik	%	7,02	Sangat tinggi
- N-total	%	0,29	Sedang
- P tersedia	mg kg ⁻¹	9,97	Sangat rendah
- K-dd	cmol(+)kg ⁻¹	0,20	Sangat rendah
- Al-dd	cmol(+) kg ⁻¹	8,03	Sedang
- Fe-dd	mg kg ⁻¹	248,85	Sangat tinggi
- H	cmol(+).kg ⁻¹	1,56	-
- SO ₄	mg kg ⁻¹	295,38	Sangat tinggi

Sumber : Santri *et al.* 2019

Tabel 3. Nilai daya hantar listrik (DHL) tanah (μS)

Table 3. The value of soil electrical conductivity (μS)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	105,33 ^g	135,93 ^f	428,33 ^a	376,00 ^c	343,33 ^d	277,78 ^B
D1	123,03 ^f	204,40 ^e	419,33 ^a	396,33 ^b	400,33 ^b	308,68 ^A
Rerata	114,18 ^E	170,17 ^D	423,83 ^A	386,17 ^B	371,83 ^C	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

Pemberian pupuk anorganik dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman, sementara itu pemberian kompos sebagai bahan organik menurut Stevenson (1994) dapat mengurangi pengaruh unsur-unsur beracun karena bahan organik mengandung asam-asam organik yang mampu mengkelat unsur beracun.

Potential Redoks (Eh) Tanah

Pada saat suatu tanah tergenang, pergerakan oksigen dan gas-gas lainnya dari atmosfer ke lapisan permukaan tanah dibatasi oleh air yang tergenang. Oksigen terlarut dengan cepat dikonsumsi oleh organisme tanah dan akar tanaman, sehingga kondisi tanah menjadi anaerob (Kyuma 2004). Untuk lapisan tanah bawah, permukaan air tanah merupakan pengendali utama potensial redoks (Eh) tanah. Ponnampuruma (1972) mencatat bahwa pada tahap awal

reduksi, Eh tanah mungkin lebih tinggi daripada Eh larutan tanah karena efek CO₂.

Hasil pengamatan (Tabel 4) menunjukkan bahwa faktor pencucian dan faktor pemupukan berpengaruh nyata terhadap potensial redoks (Eh) tanah. Terdapat interaksi pada setiap faktor terhadap nilai potensial redoks tanah. Nilai Eh tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan tanpa pemupukan NPK (D0P0), sedangkan nilai Eh terendah terdapat pada perlakuan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman (P2), baik dengan air hasil pencucian dikembalikan atau tidak dikembalikan.

Hal ini diduga karena pengaruh kompos sebagai pupuk organik yang diberikan pada perlakuan ini. Potensial

Tabel 4. Nilai potensial redoks (Eh) tanah (dalam mV)

Table 4. The value of Soil redox potential (Eh) (in mV)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	-175,70 ^a	-210,37 ^c	-270,27 ^e	-245,60 ^d	-210,97 ^c	-222,58 ^B
D1	-183,43 ^{ab}	-197,93 ^{bc}	-272,63 ^e	-196,20 ^{bc}	-191,83 ^{ab}	-208,41 ^A
Rerata	-179,57 ^A	-204,15 ^B	-271,45 ^D	-220,90 ^B	-201,40 ^B	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

redoks tanah dipengaruhi oleh konsentrasi dari oksidan dan reduktan. Jika elektron penerima lebih banyak dari pada elektron pendonor, maka potensial redoks cenderung menurun (negatif). Selain itu, potensial redoks juga dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme (Yoshida 1978). Menurut hasil penelitian Annisa (2010) pemberian jerami padi dan purun tikus dapat menurunkan dan mempertahankan kondisi reduksi tanah, sehingga oksidasi pirit dapat ditekan.

Menurut Ponnampurna (1972), variasi tingkat dan besarnya nilai Eh dipengaruhi jenis dan jumlah bahan organik, elektron penerima, suhu, dan durasi perendaman. Selain itu, tingkat perubahan oksidasi dan kondisi reduksi dalam tanah juga mencerminkan proses kimia dan biologi tanah yang terkait (Kyuma 2004).

Namun, nilai Eh saja tidak dapat dijadikan alat untuk mengkarakterisasi tanah, harus dilihat juga nilai pH. Sebagai contoh, stabilitas dan perubahan mineral Fe sangat bergantung pada pH dan Eh. Mineral Fe²⁺ akan stabil dibawah kondisi reduksi, sedangkan mineral Fe³⁺ lebih

stabil secara termodinamika dalam kondisi oksidasi (Lin & Herbert 1997).

Dinamika pH dan DHL Air Hasil Pencucian Nilai pH Air

Interaksi kompleks antara hidrologi, kondisi reduksi-oksidasi serta mineralogi besi dan sulfur menyebabkan keberagaman reaksi yang mempengaruhi kualitas air di tanah sulfat masam. Hasil pengamatan nilai pH air (Tabel 5) menunjukkan faktor pencucian tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH air, sedangkan faktor pemupukan berpengaruh nyata. Terdapat interaksi antar perlakuan. Nilai pH terendah terdapat pada perlakuan dengan air pencucian tidak dikembalikan tanpa pemupukan (D0P0), sedangkan nilai pH air tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman (D0P2).

Kualitas air lindian pada lahan sulfat masam dipengaruhi oleh proses biogeokimia yang terjadi di dalam tanah. Menurut Ariyanto (2011), proses dekomposisi

Tabel 5. pH Air

Table 5. Water pH

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	4,63 ^c	5,07 ^b	5,32 ^a	5,10 ^b	5,12 ^b	5,05 ^A
D1	5,02 ^b	5,07 ^b	5,08 ^b	5,05 ^b	5,11 ^b	5,07 ^A
Rerata	4,83 ^C	5,07 ^B	5,20 ^A	5,08 ^B	5,12 ^B	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹

kompos dapat menyebabkan pelepasan ion OH⁻ dari kompleks jerapannya, sehingga dapat menaikkan pH. Selain itu, pencucian tanpa pengembalian air hasil pencucian dapat menyebabkan berkurangnya sumber-sumber kemasaman tanah seperti Al, Fe dan SO₄⁻.

Nilai DHL Air

Hasil pengamatan nilai DHL air (Tabel 6) menunjukkan bahwa faktor pencucian dan faktor pemupukan berpengaruh nyata terhadap nilai DHL air, dan terdapat interaksi antar perlakuan. Nilai DHL tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman (D0P2). Nilai DHL terendah terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian dikembalikan dan tanpa pemupukan (D1P0). Tingginya nilai DHL air pada perlakuan D0P2 karena adanya mobilisasi Fe²⁺ sebagai pengaruh pencucian

dan pemberian air sungai serta bahan organik. Menurut hasil penelitian Annisa (2010) tingginya nilai DHL dengan penggunaan bahan organik yang dikomposkan merupakan dampak dari mobilisasi Fe²⁺, pembentukan NH⁴⁺, HCO³⁻, dan RCOO, serta adanya penggantian kation-kation dalam koloid oleh Fe²⁺ dan NH⁴⁺.

Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman padi pada setiap minggu pengamatan mengalami peningkatan. Peningkatan ini disebabkan tersedianya unsur hara bagi tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Dari hasil pengamatan (Gambar 2), terlihat bahwa faktor pencucian tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, sedangkan faktor pemupukan berpengaruh nyata. Perlakuan tanpa pemupukan (P0) memiliki pertumbuhan terendah, sedangkan tanaman tinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman (D0P2). Pencucian dapat

Tabel 6. Nilai daya hantar listrik (DHL) air (μS)

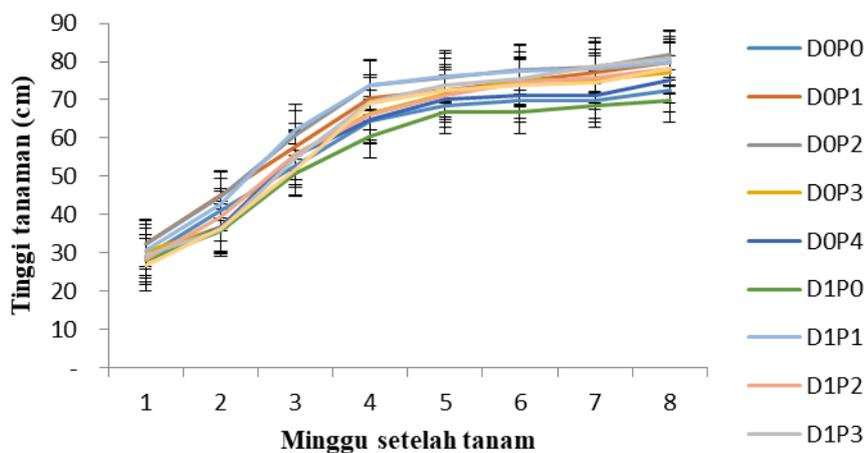
Table 6. The value of water electrical conductivity (EC) (μS)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	266,00 ^e	305,33 ^d	531,67 ^a	422,33 ^b	413,33 ^b	379,73 ^A
D1	227,33 ^e	247,33 ^e	331,67 ^{cd}	365,33 ^{bc}	387,33 ^{bc}	311,80 ^B
Rerata	246,67 ^C	276,33 ^B	431,67 ^A	393,83 ^A	400,33 ^A	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).



Gambar 2. Tinggi tanaman padi satu sampai delapan minggu setelah tanam

Figure 2. Rice plant height one to eight weeks after transplanting

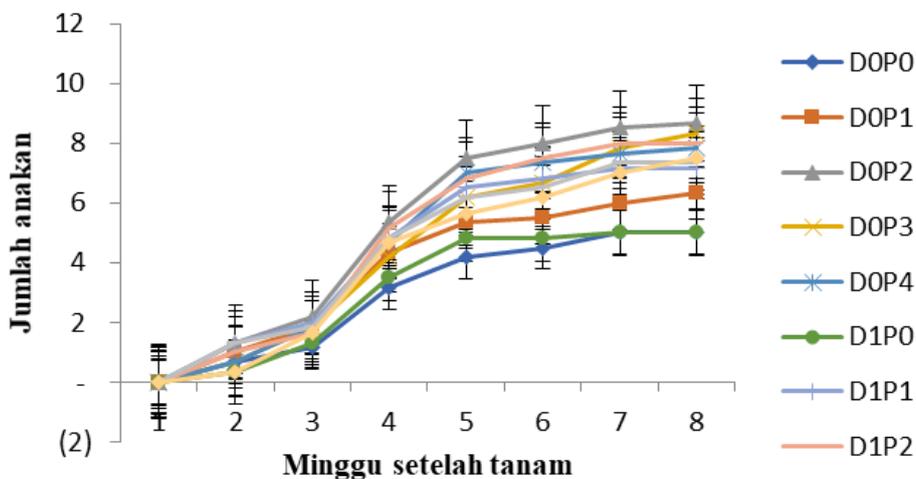
menyebabkan menurunnya kandungan besi dan SO_4^- tanah, sedangkan pemupukan dan pemberian kompos dapat meningkatkan pH dan menyediakan hara bagi tanaman. Tinggi tanaman terbaik juga terjadi pada perlakuan pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha^{-1} kompos (P3) dan pemupukan 100% dosis rekomendasi (P4), baik dengan pencucian dengan air pencucian dikembalikan ataupun tidak.

Pada pengamatan jumlah anakan maksimum (Gambar 3), terlihat bahwa jumlah anakan terbanyak terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos sisa tanaman (D0P2). Hal ini terjadi karena adanya perbaikan sifat tanah seperti meningkatnya pH tanah, menurunnya kandungan besi dan SO_4^- . Sementara itu, jumlah anakan yang paling rendah terdapat pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan tanpa pemupukan (D0P0), pencucian dengan air pencucian dikembalikan dan tanpa pemupukan (D1P0) dan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi (D0P1). Tanpa pencucian dan dengan pencucian yang tidak diikuti pemberian nutrisi tanaman tidak dapat menunjang pertumbuhan tanaman, karena proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman memerlukan nutrisi. Selain itu, pencucian diduga dapat memberikan dampak negatif terhadap hilangnya unsur hara. Rachim *et al.* (2000) melaporkan bahwa air drainase pada tanah sulfat masam dapat mencuci unsur hara seperti Nitrogen, Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K dari tanah. Hal ini terlihat dari perlakuan D0P1 yang walau telah diberi pupuk NPK 50% dosis rekomendasi, tanaman tetap memiliki jumlah anakan

terendah. Kehilangan hara dapat dihindari dengan pemberian bahan organik. Peran bahan organik dalam menunjang pertumbuhan tanaman telah banyak diketahui. Bahan organik dapat menyumbang sedikit hara bagi tanaman. Selain itu, bahan organik dapat berperan sebagai penyangga tanah dan mengkhelat unsur beracun. Manfaat bahan organik untuk produktivitas tanaman tergantung pada karakteristik tanah seperti tekstur, kondisi lingkungan, dan aktivitas mikroba (Olk *et al.* 2000).

Hasil pengamatan berat kering tanaman (Tabel 7) menunjukkan bahwa faktor pencucian tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering tanaman, sedangkan faktor pemupukan berpengaruh nyata. Terdapat interaksi antar faktor. Perlakuan dengan berat tanaman tertinggi adalah pada perlakuan pencucian dengan air pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos sisa tanaman (D0P2). Perlakuan dengan berat kering terendah terdapat pada perlakuan pencucian baik dengan air dikembalikan atau tidak serta tanpa pemupukan (D0P0 dan D1P0). Pada perlakuan D0P2 diduga tersedianya nutrisi yang cukup bagi tanaman serta berkurangnya pengaruh senyawa beracun dari tanah.

Unsur hara nitrogen adalah elemen yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman, karena nitrogen dibutuhkan dalam jumlah yang banyak sebagai bagian penyusun tumbuh tanaman. Perombakan bahan organik dengan proses mineralisasi yang mengarah ke pelepasan ion amonium ke solusi tanah berlangsung lebih lambat pada kondisi tergenang daripada kondisi kering (Ponnamperuma 1972). Kehilangan nitrogen dari tanah



Gambar 3. Jumlah anakan tanaman padi
 Figure 3. The number of tillers per plant

Tabel 7. Berat kering tanaman per rumpun (gr)

Table 7. Dry weight per clump (gr)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	8,27 ^d	10,33 ^{cd}	20,50 ^a	10,97 ^{cd}	15,87 ^{abc}	13,19 ^A
D1	7,50 ^d	11,45 ^{bcd}	17,48 ^{ab}	12,33 ^{bcd}	11,32 ^{bcd}	12,02 ^A
Rerata	7,88 ^C	10,89 ^{CB}	18,99 ^A	11,65 ^{CB}	13,59 ^B	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

yang terendam air terjadi oleh beberapa jalur seperti denitrifikasi, penguapan amonia, pencucian, dan limpasan permukaan. Perombakan bahan organik yang menghasilkan nitrogen saat tergenang dinilai menguntungkan untuk mencegah hilangnya N dari tanah dan menyediakan N bagi tanaman. Ponnampuruma (1977) menjelaskan bahwa peningkatan pH tanah asam dan penurunan pH tanah berkapur dan sodik karena perendaman meningkatkan ketersediaan fosfor. Pada kondisi tergenang, konsentrasi K dapat meningkat karena pada kondisi ini terjadi peningkatan konsentrasi Fe, Mn, dan kation lain, yang memindahkan K dari lokasi pertukaran kation ke dalam larutan tanah (Dobermann dan Fairhurst 2000).

Perubahan Sifat Tanah dan Air Hasil Pencucian setelah Panen

Sifat Tanah pada Akhir Pengamatan

Hasil sidik ragam (Tabel 8) menunjukkan bahwa faktor pencucian dan pemupukan pada saat yang sama tidak

memberikan respon yang berbeda terhadap kandungan C-organik tanah. Bila dilihat dari tabel, tanah yang mengalami pencucian air yang dikembalikan atau yang tidak dikembalikan menunjukkan nilai C-organik tanah yang tidak berbeda. Hal yang sama terjadi pada perlakuan pemupukan, baik NPK 50% dosis rekomendasi, NPK 50% dosis rekomendasi dengan kombinasi bahan organik dan NPK 100% dosis rekomendasi. Menurut Reddy & Delaune (2008), ekosistem lahan basah memiliki laju dekomposisi lebih rendah daripada laju penambahan bahan organik segar, sehingga menyebabkan tanah tergenang memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi. Kandungan bahan organik tanah rawa biasanya terdiri dari senyawa hasil dekomposisi yang terakumulasi dengan senyawa lignin.

Hasil pengamatan kandungan Al-dd tanah (Tabel 9) menunjukkan bahwa faktor pencucian dan pemupukan berpengaruh nyata terhadap kandungan Al-dd tanah, terdapat interaksi antara faktor pencucian dan pemupukan. Namun, pada pengamatan nilai H-dd tanah (Tabel 10),

Tabel 8. Kandungan C-Organik tanah (%)

Table 8. The soil organic carbon content (%)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	7,97 ^a	7,72 ^a	8,13 ^a	7,83 ^a	7,98 ^a	7,93 ^A
D1	7,61 ^a	7,65 ^a	8,12 ^a	7,81 ^a	7,62 ^a	7,76 ^A
Rerata	7,79 ^A	7,69 ^A	8,13 ^A	7,82 ^A	7,80 ^A	-

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

Tabel 9. Kandungan Al-dapat ditukar (Al-dd) tanah (cmol(+) kg⁻¹)

Table 9. The soil exchangeable Al content (cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	2,23 ^a	2,49 ^a	0,02 ^b	0,28 ^b	0,73 ^b	1,15 ^A
D1	0,42 ^b	0,21 ^b	0,00 ^b	0,03 ^b	0,23 ^b	0,18 ^B
Rerata	1,33 ^A	1,35 ^A	0,01 ^B	0,16 ^B	0,48 ^{AB}	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

Tabel 10. Kandungan H-dd tanah (cmol(+) kg⁻¹)

Table 10. The soil exchangeable H content (cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	3,05 ^{ab}	3,07 ^{ab}	2,32 ^{ab}	2,46 ^{ab}	3,54 ^a	2,89 ^A
D1	1,29 ^{ab}	0,89 ^b	0,87 ^b	0,89 ^b	1,44 ^{ab}	1,08 ^B
Rerata	2,17 ^A	1,97 ^A	1,59 ^A	1,68 ^A	2,49 ^A	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

hanya faktor pencucian yang berpengaruh nyata, sedangkan faktor pemupukan tidak berpengaruh nyata. Perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan memiliki nilai Al-dd dan H-dd yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan. Faktor pencucian menyebabkan kehilangan basa-basa tanah sehingga pH air kembali turun (Damanik *et al.* 2011). Selain itu, dalam kondisi tergenang peningkatan pH tanah masam bergantung pada aktivitas elektron pendonor. Selain itu, dalam kondisi tergenang peningkatan pH tanah masam bergantung pada aktivitas elektron pendonor (seperti nitrat, besi dan mangan oksida, serta sulfat) dan konsumsi proton selama proses reduksi (Reddy & Delaune 2008).

Hasil pengamatan kandungan Fe tanah (Tabel 11) menunjukkan bahwa faktor pencucian berpengaruh nyata terhadap kandungan Fe tanah. Kandungan Fe tanah tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan pengembalian air hasil pencucian, sedangkan kandungan Fe tanah terendah terdapat pada perlakuan pencucian

dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan. Sementara itu, faktor pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan Fe tanah. Tidak terdapat interaksi antara faktor pencucian dan pemupukan. Pencucian dapat membuang senyawa beracun dalam tanah. Jika air hasil pencucian tidak dikembalikan, akan menyebabkan penurunan jumlah konsentrasi unsur beracun. Tingginya nilai besi pada faktor pencucian dengan air dikembalikan karena diduga saat pencucian kelarutan Fe meningkat. Dalam kondisi anaerobik, Fe³⁺ tereduksi menjadi Fe²⁺ yang larut selama dekomposisi bahan organik (Dobermann & Fairhurst 2000). Pencucian dengan air dikembalikan mengakibatkan bertambahnya kandungan besi tanah. Kondisi pH dan Eh tanah yang rendah, diikuti konsentrasi Fe²⁺ yang tinggi dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman (Ponnamperuma 1972). Kandungan besi pada tanah sulfat masam umumnya cukup tinggi, sehingga mempengaruhi stabilitas dan kelarutan mineral logam dalam larutan tanah dan genangan air pada permukaan tanah (Ponnamperuma 1977). Mineral Fe pada kondisi oksidasi maupun reduksi terlibat dalam keseimbangan redoks tanah. Secara

Tabel 11. Kandungan Fe tanah (mg kg^{-1}) setelah panen

Table 11. The Soil Fe content (mg kg^{-1}) after harvest

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	468,6 ^a	498,0 ^a	462,0 ^a	405,7 ^a	594,0 ^a	485,65 ^B
D1	706,9 ^a	628,3 ^a	664,6 ^a	572,0 ^a	649,8 ^a	644,34 ^A
Rerata	587,74 ^A	563,14 ^A	563,30 ^A	488,87 ^A	621,92 ^A	-

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha^{-1} kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

Tabel 12. Kandungan SO_4 tanah (mg kg^{-1}) setelah panen

Table 12. The soil SO_4 content (mg kg^{-1}) after harvest

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	213,53 ^{ab}	238,68 ^{ab}	193,62 ^b	197,24 ^{ab}	243,85 ^{ab}	217,38 ^B
D1	235,23 ^{ab}	243,89 ^{ab}	282,17 ^a	246,98 ^{ab}	264,83 ^{ab}	254,62 ^A
Rerata	224,38 ^A	241,29 ^A	237,89 ^A	222,11 ^A	254,34 ^A	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha^{-1} kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

geokimia, dampak dari reduksi Fe^{3+} pada tanah sulfat masam adalah meningkatkan pH, KTK dan menstimulasi pembentukan mineral baru (Ponnamperuma 1972).

Hasil pengamatan kandungan SO_4 tanah (Tabel 12) menunjukkan bahwa faktor pencucian berpengaruh nyata terhadap kandungan SO_4 tanah, sedangkan faktor pemupukan tidak berpengaruh nyata. Terdapat interaksi antara faktor pencucian dan pemupukan terhadap kandungan SO_4 tanah. Kandungan SO_4 tanah tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos sisa tanaman (D1P2), sedangkan kandungan SO_4 tanah terendah terdapat pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha^{-1} kompos sisa tanaman (D0P2). Hal ini karena pada saat pencucian, unsur S yang ada di tanah teroksidasi menjadi SO_4 . Saat air hasil pencucian dikembalikan, terjadi akumulasi SO_4 , dan senyawa SO_4 direduksi kembali menjadi H_2S oleh bakteri pereduksi

sulfat. Bakteri pereduksi sulfat memperoleh energi dengan mengoksidasi bahan organik menjadi CO_2 bersamaan mereduksi sulfat terlarut menjadi H_2S . Sementara itu, pada faktor pencucian dengan air tidak dikembalikan, unsur SO_4 yang terbentuk terbuang secara berkala, sehingga tidak terjadi akumulasi S dalam tanah.

Kualitas Air Hasil Pencucian pada Akhir Pengamatan

Hasil pengamatan (Tabel 13) menunjukkan bahwa faktor pencucian tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan SO_4 air, sedangkan faktor pemupukan berpengaruh nyata. Terdapat interaksi antara faktor pencucian dan pemupukan pada kandungan SO_4 air hasil pencucian. Nilai kandungan SO_4 terendah terdapat pada perlakuan pencucian dengan air tidak dikembalikan dan tanpa pemupukan (D0P0), pencucian dengan air tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi (D0P4) dan pencucian dengan air dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi (D1P1). Sementara nilai tertinggi pada

Tabel 13. Kandungan SO₄ air hasil pencucian (mg kg⁻¹)

Table 13. The water SO₄ content of leaching result (mg kg⁻¹)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	23,50 ^c	33,69 ^{abc}	26,37 ^{bc}	41,42 ^a	21,29 ^c	29,26 ^A
D1	27,96 ^{bc}	24,84 ^c	38,38 ^{ab}	31,09 ^{abc}	32,36 ^{abc}	30,93 ^A
Rerata	25,73 ^B	29,27 ^{AB}	32,38 ^{AB}	36,26 ^A	26,83 ^B	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

Tabel 14. Kandungan Fe air hasil pencucian (mg kg⁻¹)

Table 14. Fe content of the leachate (mg kg⁻¹)

Perlakuan	Pemupukan					Rerata
	P0	P1	P2	P3	P4	
D0	3,54abc	0,85c	1.63bc	4.70ab	4.07abc	4.02A
D1	5,34a	3,87abc	5.05a	1.43bc	4.40ab	2.96A
Rerata	4,44A	2,36A	3.34A	3.06A	4.24A	+

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%. Tanda (+) menunjukkan bahwa ada interaksi antar faktor.

D: pencucian (D0: pencucian tanpa air dikembalikan, D1: pencucian dengan air dikembalikan).

P: pemupukan (P0: tanpa NPK, P1: NPK 50% dosis rekomendasi, P2: NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos, P3: NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos, P4 : 100% NPK rekomendasi).

perlakuan pencucian dengan air tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 100% dosis rekomendasi + N anorganik yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos (D0P3). Rendahnya kandungan SO₄ pada ketiga perlakuan tersebut diduga karena proses pencucian berkala tanpa yang disesuaikan dari kandungan N 1 ton ha⁻¹ kompos (D0P3).

Rendahnya kandungan SO₄ pada ketiga perlakuan tersebut diduga karena proses pencucian berkala tanpa pengembalian air hasil cucian dan terjadi penyerapan unsur S oleh tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Rachim *et al.* (2000) yang menyebutkan bahwa air drainase pada tanah sulfat masam mengandung unsur hara seperti Ca²⁺, Mg²⁺, dan K⁺ serta hasil oksidasi reduksi seperti H⁺, SO₄²⁻, Al³⁺ dan Fe³⁺. Sementara tingginya nilai SO₄ pada perlakuan D0P3 diduga karena tingginya kadar pupuk NPK yang diberikan. Reddy & Delaune (2008) menyebutkan bahwa kehadiran SO₄ terkait erat dengan siklus karbon dan nitrogen. Selain itu, transformasi sulfur bersifat kompleks dan cepat.

Hasil pengamatan kandungan Fe air (Tabel 14) menunjukkan bahwa kedua faktor baik pencucian atau pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan Fe air. Namun, terdapat interaksi antara faktor pencucian dan pemupukan. Kandungan Fe air tertinggi terdapat pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi + 1 ton ha⁻¹ kompos sisa tanaman (D1P2) dan pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan dan tanpa pemupukan (D1P0). Kandungan Fe air terendah terdapat pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan NPK 50% dosis rekomendasi (D0P1). Perubahan Fe³⁺ menjadi Fe²⁺ dan sebaliknya terjadi sangat cepat. Besi (II) yang dihasilkan dari pelarutan mineral saat kondisi reduktif, dapat berubah menjadi Besi (III) saat pencucian (oksidasi). Pengembalian air hasil pencucian (D1) menyebabkan terjadinya akumulasi besi. Sementara itu, pada perlakuan pencucian tanpa air hasil pencucian dikembalikan, nilai kandungan Fe air rendah diduga terjadi

penyerapan hara oleh tanaman dan Fe terikat liat tanah dan bahan organik, mengingat pada perlakuan tersebut tidak disertai pemupukan.

Kesimpulan

Proses pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan pada tanah sulfat masam membuat nilai Eh tanah, DHL tanah serta kandungan Fe dan SO_4 tanah lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan. Pada perlakuan pencucian, terjadi perbaikan sifat-sifat tanah sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman padi yang dibudidayakan di lahan sulfat masam.

Pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan membuat rendahnya nilai Al-dd dan H-dd tanah karena tidak terjadinya kehilangan basa-basa tanah. Namun, kandungan Fe dan SO_4^- masih tinggi sehingga pemanfaatan lahan sulfat masam dengan perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian dikembalikan tidak dapat mendukung pertumbuhan tanaman padi.

Pemberian pupuk NPK 50% dosis rekomendasi disertai dengan pemberian 1 ton ha^{-1} kompos dari jerami, purun dan kotoran sapi memiliki nilai DHL tertinggi, Eh terendah serta pH air terbaik.

Kombinasi faktor pencucian dan pemupukan pada perlakuan pencucian dengan air hasil pencucian tidak dikembalikan dan pemupukan urea sebanyak $82,5 \text{ kg ha}^{-1}$, SP-36 sebanyak $62,5 \text{ kg ha}^{-1}$, KCl sebanyak 56 kg ha^{-1} disertai dengan pemberian 1 ton ha^{-1} kompos dari jerami, tanaman purun tikus dan kotoran sapi mempunyai hasil biomassa tanaman tertinggi.

Daftar Pustaka

- Annisa W. 2010. Pemberian Jerami Padi dan Purun Tikus pada Berbagai Tingkat Dekomposisi terhadap Konsentrasi Besi dalam Tanah dan Serapan Besi oleh Padi di Tanah Sulfat Masam. Tesis. Program Pascasarjana Faperta Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Annisa W. 2014. Peran Bahan Organik dan Tata Air Mikro terhadap Kelarutan Besi, Emisi CH_4 , Emisi CO_2 dan Produktivitas Padi di Lahan Sulfat Masam. Disertasi. Program Pascasarjana Faperta Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ariyanto S E. 2011. Perbaikan kualitas pupuk kandang sapi dan aplikasinya pada tanaman jagung manis (*Zea mays saccharate* Strut). *Jurnal Sains dan Teknologi* 4 (2): 168
- Balai Penelitian Tanah. 2005. Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Badan Litbang Pertanian. 2009. Model Penerapan PSDS. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Jakarta.
- Bohn H L, McNeal B L, O'Connor G A. 2001. Soil Chemistry. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Damanik M M B, Hasibuan B E, Fauzi, Sarifuddin, Hanum H. 2011. Kesuburan Tanah dan Pemupukan. USU Press. Medan.
- Dobermann A, Fairhurst T. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI. Makati City, The Phillipines. 191 p.
- Husnain. 2010. Kehilangan unsur hara akibat pembakaran Jerami padi dan potensi pencemaran lingkungan. Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku II: Konservasi Lahan, Pemupukan, dan Biologi Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Kyuma K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University and Trans Pacific Press. Printed in Melbourne by BPA Print Group. 380 pp.
- Lin Z, Herbert J R B. 1997. Heavy metal retention in secondary precipitates from a mine rock dump and underlying soil, Dalarna, Sweden. *Environ. Geol.* 33, 1-12.
- Ma'as A. 1989. Properties, Classification, and Management of Acid Sulphate Soils from South Kalimantan, Indonesia. Ph. D. Thesis. State University of Gent. Belgium. 197 p.
- Maksimova E, Abakumov E. 2014. Wildfire effects on biological properties of soils in forest-steppe ecosystems of Russia. *Solid Earth Discussion* 6: 71-90.
- Olk D C, Kessel V, Bronson K F. 2000. Managing soil organic matter in rice and non-rice soils: agronomic questions. In: Kirk G.J.D, and D.C. Olk (editors). Carbon and nitrogen dynamics in flooded soils. Proceeding of the workshop on carbon and nitrogen dynamics in floode soils, 19-22 April 1999, Los Banos, Philippines. International Rice Research Institute. 188p.
- Ponnamperuma F N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv.Agron.* 24: 29-96.
- Ponnamperuma F N. 1977. Screening rice for tolerance to mineral stress. IRRI Res. Paper Series. No.6. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. 21 p.
- Rachim A, Murti Laksono K, Sastiono A, Sudradjad. 2000. Peningkatan produktivitas tanah sulfat masam untuk budidaya tanaman palawija melalui pencucian dan penggunaan ameliorant. Laporan Akhir Hibah Bersaing perguruan Tinggi TA 1997/98-1999/00.

Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Reddy K R, Delaune R D. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands: Science and applications*. CRC Press. New York, USA. 779 hlm.

Santri J A, Maas A, Utami S N H, Annisa W A. 2019. Application of lime and compost on the newly established field with acid sulfate soil type in the Belandean experimental field, South Kalimantan for agricultural cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 393(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/393/1/012002>.

Shamshuddin J, Muhrizal S, Fauziah I, Husni M H A. 2004. Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. 323: 33–45.

Soil Survey Staff. 2014. *Kunci Taksonomi Tanah*. Edisi Ketiga, 2015. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.

Stevenson F J. 1994. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley and Son Inc. New York.

Sudjadi M, Widijk I M. 1972. *Penuntun Analisis Tanah. Bag. Kesuburan Tanah*. LPT. Bogor.

Vieira F C B, He Z L, Bayer C, Stoffe`lla P J, Baligar V C. 2008. Organic amendment effects on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(17–18), 2678–2694.

Yoshida T. 1978. *Microbial Metabolism In Rice Soil*. In: E. A. Paul and A.D Maclaen (eds). *Soil and Rice*. Los Banos, Laguna: The Internasional Rice Institute. 445-465p.