

PERAN MIKROBA STARTER DALAM DEKOMPOSISI KOTORAN TERNAK DAN PERBAIKAN KUALITAS PUPUK KANDANG
(*The Role of Microbial Starter in Animal Dung Decomposition and Manure Quality Improvement*)

Cahyono Agus^{1,2*}, Eny Faridah¹, Dewi Wulandari¹ dan Benito Heru Purwanto⁴

¹Fakultas Kehutanan UGM, Jalan Agro Bulaksumur Yogyakarta 55281

²KP4 UGM, Jl Kalitirto, Sleman, Yogyakarta 55573

³SEAMEO BIOTROP, Jl Raya Tajur km 6, Bogor 16134

⁴Fakultas Pertanian UGM, Jalan Agro Bulaksumur Yogyakarta 55281

*Penulis korespondensi. Telp./ Fax.: 0274-497717. Email: cahyonoagus@gadjahmada.edu

Diterima: 7 Februari 2014

Disetujui: 21 Mei 2014

Abstrak

Pupuk organik perlu didekomposisi oleh mikroba dan memerlukan lingkungan yang sesuai agar cepat matang sempurna dan tidak memberikan dampak negatif pada aspek sosial, estetika maupun kesehatan pada makhluk hidup dan lingkungan. Dekomposisi bahan pupuk organik dilakukan dengan menggunakan kotoran sapi, dengan 2 perlakuan mikroba (tanpa dan dengan mikroba starter) dan 3 variasi waktu, yaitu 0, 6 dan 24 jam setelah diberi mikroba starter. Analisis meliputi uji fisik bahan pupuk yang meliputi pH, warna, aroma, lengas, dan DHL, uji mikroba patogen (*Eschericia. coli* dan *Salmonella*) pada pupuk, pengujian kandungan hara pupuk total (C, N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Cd, Cr, B, Fe, Cu, Zn) dan $N_{tersedia}$ (NH_4 dan NO_3), serta analisis emisi gas amonia (NH_3), oksigen (O_2), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), NO_x , NO, dan SO_2 . Mikroba starter mengandung mikrobia dan unsur hara yang sangat diperlukan dalam proses dekomposisi bahan organik. Pupuk kandang sapi setelah aplikasi mikroba starter masih mengandung *E. coli* dan *Salmonella sp.* yang cenderung menurun seiring dengan lama waktu inkubasi. Terjadi dinamika kandungan unsur-unsur hara seperti P, K, Mg, Fe dan Cu serta logam berat Cr selama proses inkubasi baik pada pupuk kandang ayam maupun sapi. Dengan perlakuan mikroba starter, bagian senyawa sulfur dari bahan organik banyak yang terombak menjadi gas SO_2 yang relatif tidak berbau, dan sebaliknya H_2S serta senyawa reduktif sulfida lainnya menjadi terhambat pembentukannya. Perombakan dengan mikroba starter sebaiknya diupayakan dalam suasana aerobik atau dengan suasana lembab tetapi tidak sampai anaerobik sehingga kehadiran senyawa H_2S dan senyawa sulfur reduktif lainnya dapat dikurangi atau tidak terbentuk. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya penggunaan mikroba starter optimal dan benar untuk memperbaiki kandungan nutrisi dan kualitas pupuk kandang.

Kata kunci: dekomposisi, emisi gas, hara tanaman, mikroba starter, pupuk organik, dekomposisi.

Abstract

Process of decomposition of organic fertilizer relies on the microbial decomposer population and requires a condusive environment. Those two factors influence on the rate of organic material decomposition and limites the negative impact of this organic fertilizer on the aspect of social, ethic, and health of living organism. Cow dung was used as the material for decomposition of organic fertilizer. Two treatments were applied: with or without microbial decomposer (microbial starter) followed by incubation in the dark condition under room temperature. The cow dung was sampled in 0, 6, and 24 hours after microbial starter application. The cow dung pH, color, smell, water content, and electrical conductivity were analyzed. Furthermore, microbial pathogen (Eschericia coli and Salmonella), cow dung total nutrition (C,N,P,K,Ca,Mg,Na,S,Cd,Cr,B,Fe,Cu,Zn), and available N (NH_4 dan NO_3) were also determined. Amonia emision (NH_3), oxygen (O_2), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), NO_x , NO, and SO_2 were analyzed as well. The result showed that microbial starter contained of important microbial for the process of cow dung decomposition. Application of microbial starter in cow dung reduced E. coli dan Salmonella sp. by the length of incubation time. Variation of nutrition, i.a. P, K, Mg, Fe, Cu, and heavy metal, i.a. Cr was found during incubation, both in chicken and cow manure. Application of microbial starter reduced sulfur in organic matter to be SO_2 without smell, and inhibited H_2S production. Decomposition by application of microbial starter should be conducted in aerob condition to reduce H_2S production. This research implied that application of microbial starter is crucially important in improving manure nutrition and quality.

Keywords: decomposition, gas emission, plant nutrition, microbial starter, organic fertilizer, decomposition

PENDAHULUAN

Pertanian di Indonesia secara intensif dimulai tahun 1969 pada saat dimulainya program

intesifikasi massal (INMAS) untuk petani sebagai dampak revolusi hijau di tingkat dunia. Pada tahun itu petani mulai dikenalkan dengan berbagai jenis pupuk buatan (bersifat kimiawi), obat-obatan

pembasmi hama-penyakit dan gulma (pestisida dan herbisida) serta benih-benih yang berdaya hasil tinggi. Pemakaian kembali pupuk organik berkualitas kepada petani dan mengurangi penggunaan pupuk kimia menjadi sangat penting agar diperoleh peningkatan produktivitas lahan yang berkelanjutan.

Bahan organik tanah berada pada kondisi yang dinamik sebagai akibat adanya mikroorganisme tanah yang memanfaatkannya sebagai sumber energi dan karbon (Buckman and Brady, 1982; Schnitzer, 1989). Pupuk organik mampu membantu mengemburkan struktur tanah, hara tersedia bagi tanaman, dan ramah lingkungan. Pemberian sejumlah pupuk untuk mencapai tingkat ketersediaan hara esensial yang seimbang dan optimum dalam tanah bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan mutu hasil tanaman, meningkatkan efisiensi pemupukan, meningkatkan kesuburan tanah yang lestari, dan menghindari pencemaran lingkungan.

Anasir air, udara, mineral dan bahan organik yang terkandung dalam tanah menjadikan media tanah merupakan lingkungan kehidupan yang memfasilitasi kehidupan seluruh makhluk hidup, baik secara langsung maupun tidak langsung. Agus (2012) mengungkapkan bahwa siklus bahan organik dan hidrologi yang berkelanjutan merupakan kunci keberlanjutan lingkungan dan kehidupan bagi seluruh makhluk hidup di bumi ini. Untuk tetap hidup, maka hewan, tanaman dan manusia memerlukan oksigen, air dan bahan organik secara kontinyu sebagai energi kehidupan.

Silver and Nkwiine (2007) mengatakan bahwa mikroflora dan fauna tanah berpartisipasi aktif dalam dekomposisi bahan organik dan siklus hara, sehingga secara signifikan mengendalikan alam dan produktivitas agro-ekosistem. Lindedam dkk. (2009) menunjukkan hubungan positif antara keanekaragaman mikroba dan stres yang mengakibatkan keragaman yang lebih tinggi pada akar dan tanah subur. Pengomposan vermicomposting menggunakan cacing yang dilakukan oleh Haiba dkk. (2014) menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen, fosfor dan kalium meningkat selama percobaan, berat kering kompos menurun dan nilai pH meningkat. Vermicomposting skala kecil dari kedua limbah dapur rumah tangga dan lumpur limbah relatif menjadi efisien.

Proses pematangan pupuk organik memakan waktu yang cukup lama, sementara itu pemakaian pupuk organik yang belum matang sempurna akan memberikan dampak negatif pada aspek sosial, estetika maupun kesehatan pada manusia, hewan dan bahkan tanaman. Penelitian ini menganalisis

peran bahan mikroba starter dalam proses pematangan kotoran ternak dan kualitas pupuk kompos, berupa kandungan nutrisi (hara makro dan mikro), maupun mikroba dekomposer, sifat fisik dan kualitas pupuk organik sebelum dan setelah perlakuan.

METODE PENELITIAN

Analisis bahan mikroba starter (tanpa pencampuran dengan air kapur serta vitamin B-kompleks) meliputi kandungan hara total (C, N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Cd, Cr, B, Fe, Cu, Zn), dan $N_{tersedia}$ (NH_4 dan NO_3), pH, dan DHL, serta kandungan mikroba (dekomposer), dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM dan kandungan mikroba dekomposer dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian UGM. Dekomposisi bahan pupuk organik dilakukan dengan menggunakan kotoran sapi, dengan 2 perlakuan mikroba (tanpa dan dengan mikroba starter) dan 3 variasi waktu, yaitu 0 jam (sebagai kontrol, berupa murni kotoran segar, tanpa tambahan mikroba starter), serta 6 dan 24 jam setelah kotoran diperlakukan dengan cairan mikroba

Analisis sampel pupuk organik meliputi uji laboratorium bahan pupuk yang meliputi pH, warna, aroma, lengas, dan DHL (daya hantar listrik, atau EC); uji mikroba patogen (*Salmonella* dan *E. coli*) pada pupuk; kandungan nutrisi total bahan pupuk, berupa C total dengan metode Walkey & Black, N-total dengan metode Kjeldahl, P-total dengan metode spektrofotometri, sedangkan K-total, Ca-total, Mg-total, Na-total, S-total, Cd-total, Cr-total, B-total, Fe-total, Cu-total, dan Zn-total menggunakan Atomic Absorption Spektrofotometri, dan N-tersedia (NH_4 dan NO_3) dengan metode Kjeldahl (Page dkk., 1982). Pengambilan sampel masing-masing sebanyak 3 ulangan, sehingga total sampel yang diuji adalah $2 \times 3 \times 3 = 18$ sampel untuk analisis nutrisi, dan 18 sampel untuk analisis mikroba.

Emisi gas pada dekomposisi bahan pupuk organik dilakukan dengan menggunakan sampel perlakuan yang sama dengan penelitian sebelumnya selanjutnya diletakkan dalam tabung ruang hampa (*vacumed chamber*) sesuai waktu inkubasi. Pada akhir masa inkubasi, gas yang ada dalam tabung disedot sebanyak 100 mL, dan gas yang diambil kemudian diinjeksikan ke dalam botol vakum kecil untuk dianalisis ke LPPT UGM, meliputi perubahan volume gas-gas yang dihasilkan, termasuk amonia (NH_3), oksigen (O_2), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), NO_x , NO, dan SO_2 (Page dkk.,

1982), untuk mengetahui mekanisme kerja mikroba starter dalam penurunan bau pupuk kandang melalui kemungkinan fungsi sebagai dekomposer, penjerap, atau zat pengubah/*transformer*. Dilakukan pengambilan sampel masing-masing sebanyak 3 ulangan, sehingga total sampel yang diuji adalah $2 \times 3 \times 3 = 18$ sampel untuk analisis nutrisi, dan 18 sampel untuk analisis mikroba.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimiawi dan Mikrobiologi Bahan Mikroba Starter

Komposisi kimiawi formula mikroba starter mengandung N dalam jumlah sedang (2,73%) dan S yang cukup tinggi (11,54%). Kandungan hara lainnya adalah P sebanyak 0,45%, K sebanyak 0,3%, ammonium sebanyak 128 ppm, nitrat sebanyak 16,08, Mg sebanyak 0,07%, sedangkan kandungan unsur hara mikro seperti Cu, Fe, Mn dan Zn secara berurutan adalah sebanyak 18,86; 113,57; 20,47 dan 43,49 ppm. Kandungan mikrobia pada mikroba starter cukup banyak dan merupakan mikrobia yang mampu mendekomposisi bahan organik dalam pupuk kandang, baik yang terbuat dari kotoran ayam maupun sapi. Kandungan jamur selulolitik dalam mikroba starter adalah $1,0 \times 10^2$ cfu (*colony forming units*), kandungan bakteri selulolitik adalah $6,5 \times 10^2$ cfu, kandungan bakteri proteolitik adalah $4,45 \times 10^4$ cfu, sedangkan kandungan *actinomycetes* selulolitik tidak terdeteksi (Tabel 1).

Kandungan jamur dan bakteri selulolitik ini dapat merombak bahan-bahan selulolitik yang terkandung di dalam pupuk kandang, sedangkan bakteri proteolitik dapat merombak protein-protein yang terkandung di dalam pupuk kandang. Hal ini menunjukkan bahwa mikrobia dekomposer selulolitik cukup banyak dan mempunyai kemampuan yang tinggi untuk mendegradasi kandungan selulosa dalam bahan organik. Bakteri yang mampu mendekomposisi protein juga cukup tersedia di dalam mikroba starter, sehingga diharapkan mampu mempercepat dekomposisi bahan organik. Tidak adanya *actinomycetes* selulolitik tidak mempengaruhi kemampuan mikroba starter dalam proses pendekomposian bahan organik. Hal ini disebabkan mikrobia pendekomposisi selulolitik telah dapat dilakukan oleh jamur selulolitik dan bakteri selulolitik. Pemberian mikroba starter dalam proses dekomposisi bahan organik berupa kotoran sapi dan ayam diharapkan mampu mempercepat proses dekomposisi dan pematangan pupuk kompos. Percepatan dekomposisi bahan organik ini diharapkan

mempersingkat waktu pengomposan dan meningkatkan kualitas pupuk organik dengan berkurangnya aroma. Dengan demikian, pupuk organik yang distimulir oleh mikroba starter ini dapat dijadikan alternatif pemupukan organik yang cepat dan berkualitas bagi petani.

Sifat Fisik, Komposisi Mikrobiologi, dan Kimiawi Pupuk Kandang

Nilai pH kotoran sapi sekitar 6,47 sehingga cenderung bersifat asam lemah sampai netral (Tabel 2). Namun dengan pemberian larutan mikroba starter yang bersifat basa (pH 11,7), maka pH pupuk kompos cenderung akan naik menjadi sekitar 7,32-7,76 (netral sampai agak basa) setelah 24 jam masa inkubasi. Hal ini sangat positif dan mendorong perbaikan kualitas lingkungan hidup sehingga aktivitas mikroorganisme pendekomposisi akan lebih tinggi dan dekomposisi bahan organik diharapkan akan lebih cepat.

Daya hantar listrik pupuk kompos ayam cenderung naik dari semula 3,85 menjadi 4,67 setelah diperlakukan dengan mikroba starter selama 24 jam. Ini berarti terjadi pelepasan kation-kation hara yang bermuatan listrik lemah, yang sangat bagus untuk proses pertukaran kation dan hara yang dibutuhkan tanaman (Tabel 3). Percobaan pupuk kompos sapi juga mempunyai kecenderungan yang sama untuk melepaskan unsur-unsur hara yang dapat dipertukarkan untuk kebutuhan tanaman.

Nilai redoks potensial pupuk kompos cenderung menurun dengan adanya perlakuan mikroba starter selama 24 jam pada seluruh perlakuan dan percobaan pupuk kompos ayam maupun sapi. Ini berarti kondisi pupuk kompos cenderung menjadi bersifat reduktif dengan perlakuan pengomposan selama 6-24 jam tersebut. Pupuk kompos sapi cenderung bersifat reduktif dibanding dengan pupuk kompos ayam. Warna pupuk kompos cenderung semakin gelap (*dark brown*) dengan perlakuan inkubasi menggunakan mikroba starter. Ini menunjukkan bahwa proses mineralisasi dan humifikasi bahan organik berjalan cukup cepat.

Aroma menyengat pupuk kompos yang berasal dari kotoran sapi sangat berkurang dengan perlakuan larutan mikroba starter. Dalam waktu 24 jam terjadi pengurangan aroma yang sangat

Tabel 1. Kandungan mikrobia pada sampel mikroba starter

Mikrobia	Jumlah (cfu)
Jamur selulolitik	$1,0 \times 10^2$
Bakteri selulolitik	$6,5 \times 10^2$
Actinomycetes selulolitik	Ttd
Bakteri proteolitik	$4,45 \times 10^4$

Tabel 2. Sifat fisika dan kimia pupuk organik dengan mikroba starter

Waktu pengamatan (jam)	pH	DHL	Redoks (mV)	Suhu (°C)	Warna	Bau
0	6,47	2,6	76	27,0	2,5 YR 3/2	+++++
6	6,8	2,32	54	27,1	2,5 YR 3/2	++
24	7,76	1,26	-7	27,6	2,5 YR 3/2	+

Tabel 3. Rerata jumlah *E. coli* dan *Salmonella* dalam sampel sapi

Waktu pengamatan (jam)	<i>E. coli</i> (cfu)			<i>Salmonella</i> (cfu)		
	I	II	III	I	II	III
0	$3,3 \times 10^5$	$2,03 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$	$5,7 \times 10^2$	$4,85 \times 10^2$
6	$7,5 \times 10^4$	$1,95 \times 10^3$	$0,7 \times 10^3$	$3,5 \times 10^2$	$6,5 \times 10$	2×10
24	$1,0 \times 10^4$	$8,4 \times 10$	$7,15 \times 10$	$1,50 \times 10$	1,6	1,55

Catatan: cfu = *colony forming unit* (satuan pembentukan koloni)

drastis, dari berbau sangat menyengat (+++++) menjadi kurang berbau (+). Ini dapat disebabkan gas-gas berbau yang dikeluarkan dalam proses pengomposan dapat ditekan dengan perlakuan mikroba starter.

Pada Tabel 3 tampak bahwa pupuk kandang sapi setelah aplikasi mikroba starter masih mengandung *E. coli* dan *Salmonella sp.* Jumlah *E. coli* dan *Salmonella* pada pupuk kandang ayam jauh lebih rendah daripada pupuk kandang sapi. Peningkatan jumlah kedua mikrobia tersebut terlihat pada pupuk kandang sapi setelah aplikasi mikroba starter baik pada 6 jam maupun 24 jam. Di dalam proses pengomposan secara natural, maka mikrobia pathogen termasuk *E. coli* dan *Salmonella sp.* mengalami penurunan jumlah atau kematian akibat panas termofilik yang terjadi pada saat proses pengomposan. Kandungan *E. coli* dan *Salmonella sp.* yang ada tersebut menandakan bahwa proses termofilik pada pengomposan dengan mikroba starter tidak mengalami fase termofilik.

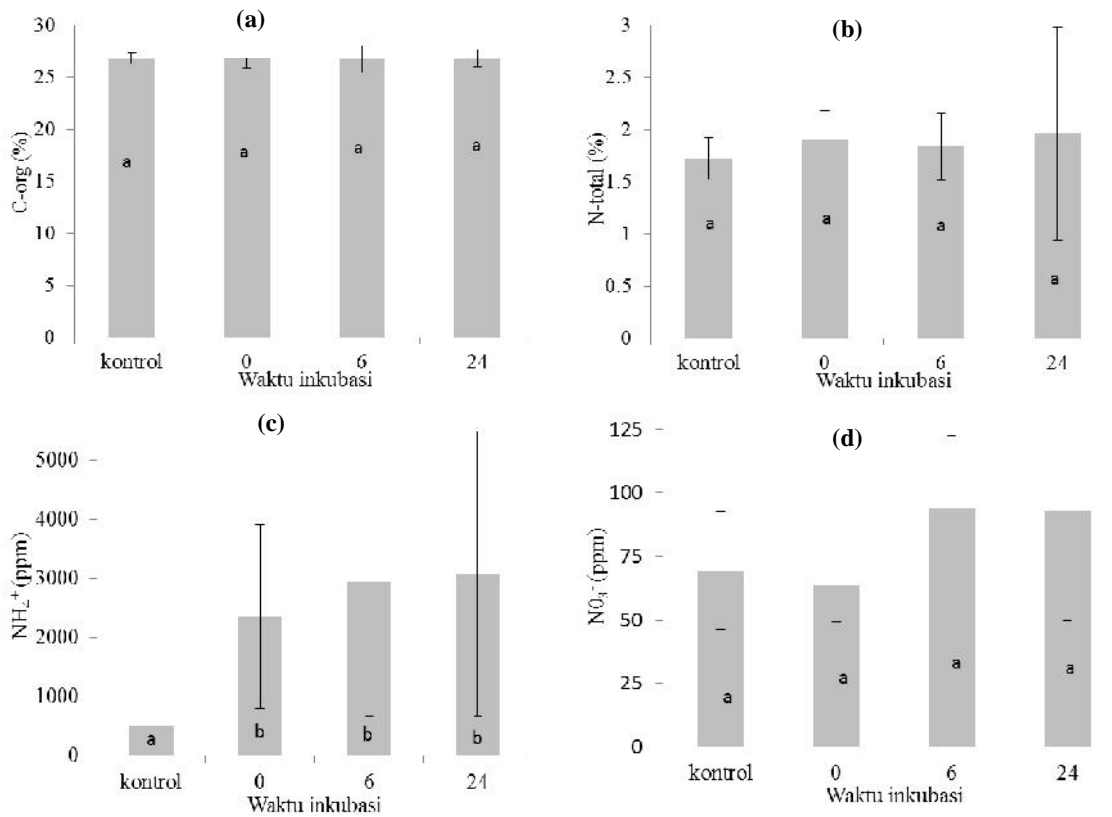
Pada proses pengomposan secara alamiah peningkatan suhu meningkatkan germinasi spora pathogen tetapi kemudian pathogen tersebut sepenuhnya akan mati bersamaan dengan peningkatan suhu menjadi termofilik. Pada suhu 60 – 70 °C sebagian besar pathogen akan mati. Walaupun suhu pada saat pengomposan meningkat hingga dapat membunuh kebanyakan pathogen, tetapi bagian luar pengomposan (20 cm dari permukaan) akan mengalami pemanasan yang cukup, sehingga pencampuran/ pembalikan 2-3 kali tumpukan pada periode pengomposan dapat menjamin bahwa semua bagian kompos telah mengalami suhu termofilik. Kompos yang terdekomposisi dengan baik akan bebas patogen.

Kandungan mikrobia *E. coli* dan *Salmonella sp* dalam pupuk organik yang diberi larutan mikroba starter cenderung menurun seiring

dengan lama waktu inkubasi. Pada kondisi kontrol (0 jam), jumlah *E. coli* pada percobaan kompos I yang terbuat dari kotoran ternak ayam adalah $1,34 \times 10^8$ cfu, menjadi $3,5 \times 10^5$ cfu setelah 24 jam masa inkubasi. Sementara itu, kandungan *Salmonella* awal adalah $5,50 \times 10^8$ cfu dan menurun menjadi $1,51 \times 10^7$ cfu. Kedua jenis mikrobia tersebut memiliki dampak yang buruk terhadap kesehatan jika berada di atas ambang batas dalam lingkungan. *E. coli* berdampak pada kesehatan pencernaan mengakibatkan diare, sedangkan *Salmonella* mengakibatkan penyakit *typhus*. Kandungan mikrobia berbahaya pada kotoran sapi relatif sedikit dibandingkan pada kotoran ayam. Penurunan ini menunjukkan bahwa mikrobia berbahaya dapat ditekan aktivitas dan kuantitasnya hingga sampai pada batas yang tidak membahayakan. Keduanya juga menunjukkan bahwa pada masa inkubasi setelah 24 jam, kandungan mikrobia berbahaya pada pupuk kompos relatif sangat rendah atau sudah hilang. Dengan demikian, dampak mikrobia berbahaya terhadap lingkungan menjadi minimal.

Ketimpangan hara (*nutrient imbalances*) muncul akibat pola tanam monokultur dan pemupukan yang tidak berimbang. Pemerintah menggalakkan penggunaan pupuk berimbang dengan meningkatkan produksi pupuk NPK. Jadi petani tidak hanya memberikan hara N dan P, tetapi juga sekaligus K. Penggunaan pupuk organik, bentuk padat atau cair, telah dilaporkan mampu meningkatkan hasil panen per hektar. Hal ini disebabkan di dalam pupuk organik tersebut terkandung hara yang selama ini menjadi faktor pembatas kesuburan tanah. Pupuk organik telah menjadi kebutuhan mutlak bagi peningkatan produksi tanaman.

Bahan organik sebaiknya dikomposkan lebih dahulu sebelum diaplikasikan ke dalam lahan pertanian. Proses pengomposan dapat pula



Gambar 1. Kadar hara pada dekomposisi kotoran sapi. (a) C-organik, (b) N-total, (c) NH₄⁺, (d) NO₃⁻

dibantu atau dipercepat dengan “special starters” atau mikrobia inokulan, yang sudah tersedia luas di lapangan. Jika faktor lingkungan untuk tumbuh mikrobia dalam inokulan tersebut dipenuhi maka mikrobia dapat tumbuh berganda diri secara pesat. Perubahan yang penting pada pengomposan adalah penurunan nisbah C/N, meningkatkan persentase hara dan ketersediaan hara serta bau yang baik. Kompos yang matang mempunyai warna coklat hingga hitam coklat dan bau seperti tanah atau berbau pengap (disebabkan oleh aktinomisetes yang merajai akhir proses dekomposisi). Kompos yang matang dapat disimpan dalam waktu lama tanpa terjadinya perubahan biokimia yang signifikan, menjadi asam ataupun mengalami pemanasan kembali. Agus (2012) menyebutkan bahwa Sistem Pertanian Siklus-bio Terpadu (*Sustainable Integrated Bio-cycle Farming System / IBFS*) adalah model pendekatan yang bagus untuk mengintegrasikan siklus bahan organik yang berasal dari sector pertanian maupun non pertanian, untuk menghasilkan pangan, pakan, pakan, pupuk, energi dan sebagainya. Agus dan Wulandari (2012) menyebutkan bahwa keberadaan bahan organik, vegetasi pionir dan endomikorisa adaptif dapat menstimulasi pemulihan kualitas lahan paska erupsi Merapi dengan perbaikan sifat

fisika, kimia dan biologi tanah, yang selanjutnya meningkatkan pertumbuhan dan biodiversitas tanaman.

Gambar 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kandungan C setelah aplikasi mikroba starter pada pupuk kandang ayam, sedangkan pada pupuk kandang sapi penurunan tersebut tidak terjadi. Penurunan kandungan C pada segera setelah aplikasi mikroba starter (0 jam) ini dapat disebabkan perombakan bahan-bahan organik sehingga menjadi lebih tersedia dan dilepaskan dalam bentuk CO₂, tetapi kemudian kandungan C tidak mengalami peningkatan setelah 6 jam hingga 24 jam. Untuk kandungan Nitrogen (N) mengalami peningkatan setelah aplikasi mikroba starter, tetapi kemudian mengalami penurunan pada pupuk kandang ayam, tetapi penurunan kandungan N total tersebut tidak terjadi pada pupuk kandang sapi. Untuk nisbah C/N baik pada pupuk kandang sapi mengalami peningkatan sedikit dari kondisi awal sebelum aplikasi mikroba starter.

Perubahan kandungan ammonium dan nitrat pada pupuk kandang ayam serupa dengan perubahan yang terjadi pada kandungan N total, dengan demikian penurunan kandungan total nitrogen tersebut adalah disebabkan oleh volatilisasi nitrogen dalam bentuk ammonia

(Gambar 1). Kehilangan nitrogen dalam bentuk ammonia inilah yang menjadi penyebab nisbah C/N pupuk kandang yang meningkat lagi pada saat 24 jam setelah aplikasi mikroba starter. Nisbah C/N dapat menjadi indikator yang baik bagi kematangan kompos dari bahan selulitik seperti jerami padi. Perubahan-perubahan di atas menunjukkan bahwa kehilangan N dalam bentuk ammonia sangat menonjol pada pupuk kandang ayam, dibandingkan dengan pupuk kandang sapi. Dalam keadaan anaerobik, maka proses perombakan menjadi tidak sempurna, karbon dioksida kurang terbentuk dan sebaliknya, ammonia lebih banyak yang terbentuk serta disertai dengan bau yang menyengat dari hidrogen sulfida dan senyawa yang mengandung sulfur yang tereduksi. Dalam Gambar 2 terlihat penurunan yang nyata dari kandungan S organik (%) dari kondisi sebelum aplikasi mikroba starter dibandingkan dengan setelah aplikasi hingga 6 jam, tetapi kemudian mendekati konstan setelah 24 jam

Gambar 2 menunjukkan perubahan-perubahan kandungan hara P, kation-kation seperti K dan Mg serta logam-logam seperti Fe, Cu, Mn, Zn dan logam berat Cr setelah aplikasi mikroba starter baik pada pupuk kandang ayam maupun pupuk kandang sapi. Kandungan P dan K mengalami penurunan pada pupuk kandang ayam, sedangkan kandungan P pada pupuk kandang sapi relatif tidak berubah. Kandungan K pada pupuk kandang sapi mengalami peningkatan setelah aplikasi mikroba starter sampai pada 24 jam setelah aplikasi. Pada Gambar 2 terlihat bahwa kation-kation seperti Mg, Fe dan Cu mengalami peningkatan pada pupuk kandang ayam setelah aplikasi mikroba starter, tetapi kemudian kandungan tersebut relatif tetap dari 6 jam hingga 24 jam setelah aplikasi. Pada pupuk kandang sapi, kandungan-kandungan Mg, Fe, dan Cu relatif tidak berubah hingga mengalami penurunan pada 24 jam setelah aplikasi. Kandungan Zn dan Mn menurun baik pada pupuk kandang ayam maupun sapi, sedangkan kandungan logam berat Cr mengalami penurunan baik pada pupuk kandang ayam maupun pupuk kandang sapi dari kondisi awal sampai 24 jam setelah aplikasi mikroba starter.

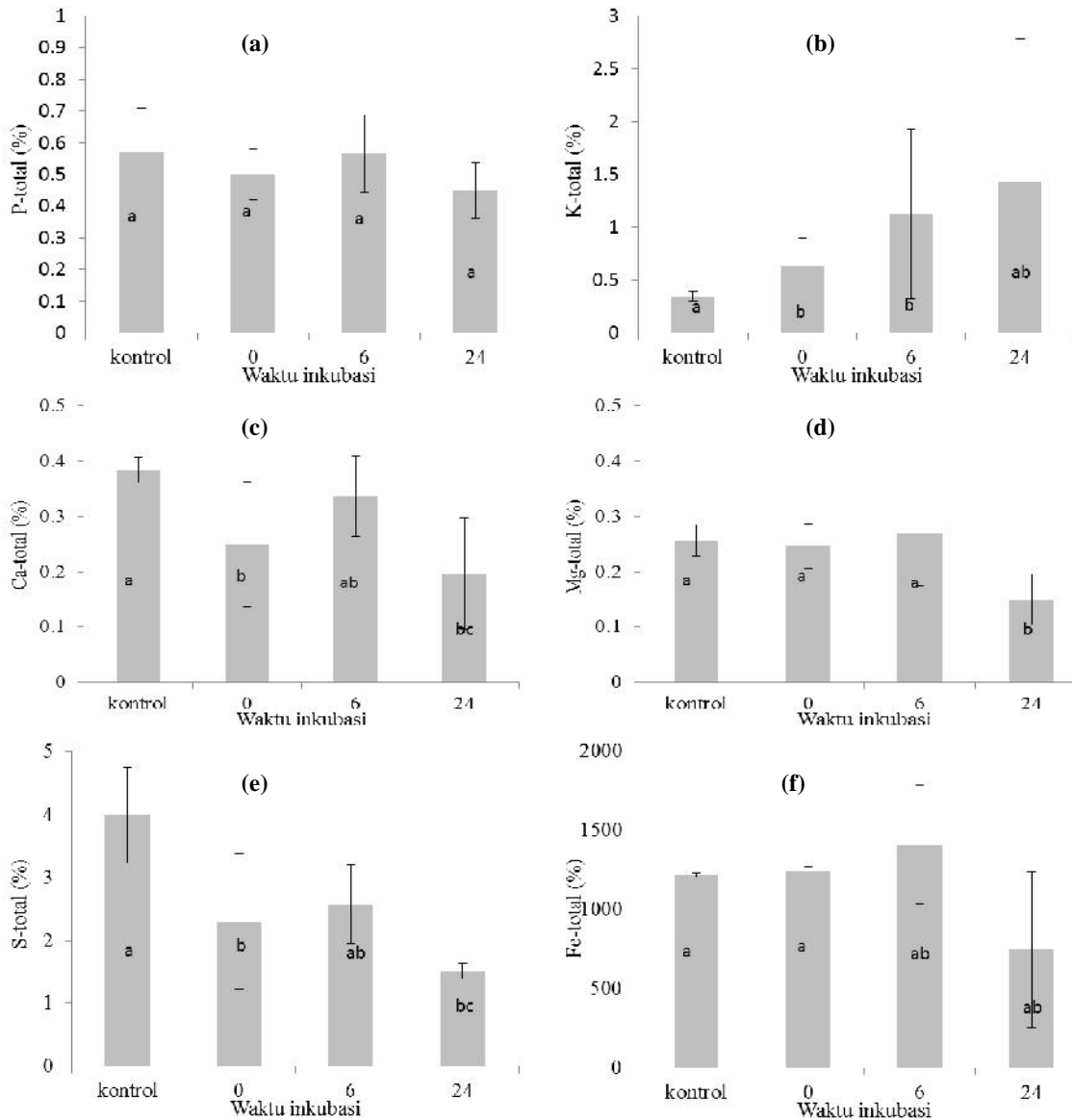
Emisi Gas (Berbau dan Beracun)

Perilaku emisi gas metana (CH_4) yang berasal dari kotoran sapi ternyata jauh berbeda dengan emisi gas metana yang berasal dari kotoran ayam (Tabel 4). Emisi gas metana pada inkubasi kotoran sapi ternyata meningkat drastis dengan masa inkubasi. Pada awal inkubasi kotoran sapi, jumlah emisi metana yang terlepas ke udara

sangat kecil ($<6,5 \times 10^{-6} \%$), namun dengan makin lamanya inkubasi, maka emisi gas metana yang terlepas meningkat 100 kalinya setelah inkubasi 6 jam, dan meningkat 100.000 kalinya setelah inkubasi selama 24 jam. Emisi gas metana pada kotoran ayam relatif stabil pada level $1 \times 10^{-4} \%$ atau 1 ppm. Fenomena ini berbeda dengan emisi CO_2 dari kotoran sapi yang relatif stabil. Dengan demikian, hal ini membuktikan bahwa kebanyakan hasil dekomposisi bahan organik ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ternyata lebih banyak berubah menjadi metana dibanding menjadi CO_2 . Ini berarti suasana perombakan bersifat lebih anaerobik daripada aerobik. Dengan demikian, proses perombakan sebaiknya dilakukan dalam keadaan aerobik, yaitu dengan menghindari kelembaban yang tinggi.

Kandungan amoniak dalam pupuk kandang sapi yang didekomposisikan secara alami ternyata mengandung amoniak yang lebih sedikit dibanding apabila didekomposisikan dengan menggunakan Mikroba starter (Tabel 5). Kandungan amoniak pada awal dekomposisi (0 jam) pada pupuk kandang alami adalah 33 ppm, namun apabila didekomposisikan dengan Mikroba starter maka justru mengandung 21.071 ppm. Ini semakin menguatkan dugaan bahwa volatilisasi ammonia berlangsung dalam waktu cepat sehingga pelepasan ammonia ini dapat berlangsung dalam waktu awal aplikasi mikroba starter. Setelah dekomposisi berlangsung 6 jam, maka kandungan amoniak kontrol justru naik menjadi 292 ppm, sedang yang diberi Mikroba starter dapat menurun drastis menjadi 406 ppm. Namun demikian, pada inkubasi selama 24 jam, kandungan amoniak pada kontrol dan perlakuan dengan Mikroba starter dapat naik lagi. Dengan demikian, karena kandungan amoniak relatif bersifat meracun dan tidak mudah dimanfaatkan oleh tanaman, maka penggunaan Mikroba starter justru telah menaikkan kadar meracun dan bau menyengat yang ditimbulkan oleh amoniak pada pupuk kandang sapi. Kadar gas meracun dan bau menyengat yang ditimbulkan oleh ammonia pada pupuk kandang ayam ternyata jauh lebih tinggi, namun penggunaan mikroba starter telah mampu menurunkannya.

Emisi O_2 yang berasal dari dekomposisi awal pupuk kandang relatif sama pada kadar sekitar 20%, baik yang berasal dari kotoran ayam maupun sapi (Tabel 5). Inkubasi selama 24 jam telah mengakibatkan penurunan drastis kadar O_2 yang tertangkap pada kotak respirasi menjadi hanya sekitar 4-5%. Hal ini terjadi karena jumlah emisi gas lain (terutama CO_2 yang berasal dari dekomposisi bahan organik) ternyata meningkat cukup tajam, sehingga menurunkan kadar O_2 .



Gambar 2. Kadar hara total pada dekomposisi kotoran sapi. (a) P-total, (b) K-total, (c) Ca-total, (d) Mg-total, (e) S-total, dan (f) Fe-total

Tabel 4. Emisi gas metana (CH₄, %) dari pupuk kandang sapi yang diinkubasikan dengan perlakuan mikroba starter

Waktu pengan- matan (jam)	Mikroba starter (%)			
	1	2	3	Rerata
0	<6,5 X 10 ⁻⁶	<6,5 X 10 ⁻⁶	<6,5 X 10 ⁻⁶	<6,5 X 10 ⁻⁶
6	1,3 X 10 ⁻³	5,1 X 10 ⁻⁴	5,9 X 10 ⁻⁴	8 X 10 ⁻⁴
24	28 X 10 ⁻²	4 X 10 ⁻²	21 X 10 ⁻²	29 X 10 ⁻²

Tabel 5. Emisi gas amoniak, O₂, CO dan CO₂ dari pupuk kandang sapi yang diinkubasikan dengan perlakuan mikroba starter

Waktu pengan- matan (jam)	Amoniak		O ₂ (%)		CO (ppm)		CO ₂ (%)	
	Kontrol	Starter	Kontrol	Starter	Kontrol	Starter	Kontrol	Starter
0	33,69	21071,25	20,8	20,8	0	0	0	0
6	292,15	406,72	19,9	20,1	2,5	1,5	0,4	0,5
24	481,92	561,76	15,1	4,9	1,5	25	3,1	9,1

Perlakuan pemberian mikroba starter tidak mempengaruhi jumlah emisi O_2 yang berasal dari inkubasi pupuk kandang tersebut, baik pada kotoran ayam maupun sapi. Kadar O_2 yang menurun drastis ini mengakibatkan kondisi lingkungan tersebut menjadi kurang baik untuk respirasi dan pertumbuhan maupun aktivitas mikroorganisme. Gas oksigen ini sangat diperlukan bagi seluruh makhluk hidup untuk proses kehidupan melalui respirasi.

Emisi gas CO yang berasal dari kotoran sapi relatif tidak berubah dengan perlakuan mikroba starter sampai inkubasi selama 6 jam (Tabel 5). Namun, pada inkubasi setelah 24 jam, ternyata emisi gas CO meningkat menjadi 25 ppm. Jumlah emisi ini masih lebih sedikit dibandingkan dengan emisi CO yang berasal dari kotoran ayam. Jumlah emisi CO yang berbeda ini berkaitan dengan kecepatan dekomposisi bahan organik yang berasal dari kotoran sapi dan ayam. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan jenis makanan kedua ternak tersebut sehingga mempengaruhi kualitas bahan organik kotoran yang didekomposisikan menjadi pupuk organik ini.

Emisi gas CO_2 yang berasal dari hasil dekomposisi kotoran sapi dan ayam relatif tidak berbeda. Perlakuan dengan mikroba starter juga relatif tidak mempengaruhi jumlah gas CO_2 yang teremisikan ke udara. Pada awal dekomposisi pupuk kandang (0 jam) relatif tidak terdapat emisi CO_2 , baik pada kotoran sapi maupun ayam, baik dengan ataupun tanpa pemberian mikroba starter (Tabel 5). Selanjutnya, dengan inkubasi selama 6 jam, maka terjadi peningkatan emisi CO_2 dari kotoran sapi dan ayam, disebabkan karena adanya peningkatan laju dekomposisi bahan organik. Demikian juga pada perlakuan mikroba starter pada ayam setelah inkubasi 24 jam. Hanya saja, pemberian mikroba starter pada inkubasi kotoran sapi selama 24 telah sedikit meningkatkan emisi CO_2 . Gas CO_2 yang terbebas ke udara ini dapat berasal dari hasil pelepasan bahan organik ($C_6H_{12}O_6$) maupun hasil respirasi mikroorganisme tanah. Dengan demikian, peningkatan emisi CO_2 ke udara dapat dijadikan indikasi peningkatan aktivitas mikroorganisme dan laju dekomposisi bahan organik yang berasal dari kotoran sapi dan ayam tersebut.

Emisi gas NO tidak terdeteksi dalam dekomposisi pupuk kandang yang berasal dari kotoran ayam maupun sapi, baik diberi maupun yang tidak diberi mikroba starter (Tabel 6). Gas mempunyai efek meracuni dan cukup berbahaya, sehingga dengan tidak adanya emisi gas NO ini, maka dekomposisi bahan organik ini tidak berbahaya bagi lingkungan juga. Emisi gas NO_x yang berasal dari kotoran sapi dan ayam sedikit meningkat setelah masa inkubasi 24 jam (Tabel 6). Perlakuan dengan pemberian mikroba starter, ternyata dapat menghilangkan emisi gas NO_x setelah inkubasi 24 jam menjadi tetap 0 ppm, dibandingkan dengan kontrol yang telah mengakibatkan emisi NO_x sebesar 0,5 - 0,7 ppm. Gas NO_x ini juga bersifat meracuni dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Pemakaian mikroba starter ternyata telah mampu menghilangkan emisi gas NO_x sehingga tidak terlepas ke udara.

Perilaku emisi gas nitrit (NO_2) relatif sama dengan perilaku emisi NO_x . Emisi gas NO_2 yang berasal dari kotoran sapi dan ayam sedikit meningkat setelah masa inkubasi 24 jam (Tabel 6). Perlakuan dengan pemberian mikroba starter, ternyata dapat menghilangkan emisi gas NO_x setelah inkubasi 24 jam menjadi tetap 0 ppm, dibandingkan dengan kontrol yang telah mengakibatkan emisi NO_x sebesar 0,5-0,7 ppm. Gas NO_2 ini juga bersifat meracuni dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Dengan demikian pemakaian mikroba starter ternyata telah mampu menghilangkan emisi gas NO_x sehingga tidak terlepas ke udara.

Pemberian perlakuan mikroba starter terhadap kotoran ayam ternyata telah mengakibatkan peningkatan laju emisi SO_2 yang sangat drastis, sedangkan pada kotoran sapi hanya meningkat sedikit (Tabel 6). Pada awal dekomposisi (inkubasi 0 jam), jumlah emisi SO_2 relatif tidak ada (0 ppm), namun dengan makin lamanya waktu inkubasi maka jumlah emisi SO_2 meningkat. Dekomposisi kotoran ayam tanpa pemberian mikroba starter hanya meningkatkan emisi SO_2 menjadi sekitar 2-3 ppm saja. Namun dengan perlakuan pemberian mikroba starter telah meningkatkan emisi SO_2 menjadi 25 ppm setelah 6 jam, dan meningkat drastis lagi menjadi 1000 ppm setelah inkubasi selama 24 jam.

Tabel 6. Emisi gas NO, NO_x , dan SO_2 dari pupuk kandang sapi yang diinkubasikan dengan perlakuan mikroba starter

Waktu pengamatan (jam)	NO (ppm)		NO_x (ppm)		SO_2 (ppm)	
	Kontrol	Starter	Kontrol	Starter	Kontrol	Starter
0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0.5	0.5	1	3.5

Diperkirakan, dengan perlakuan mikroba starter ini, bagian senyawa sulfur dari bahan organik banyak yang terombak menjadi gas SO_2 yang relatif tidak berbau, dan sebaliknya H_2S serta senyawa reduktif sulfida lainnya menjadi terhambat pembentukannya. Hal ini nampaknya juga dapat menjelaskan kenapa bau menyengat dari kotoran ayam yang diberi perlakuan mikroba starter dapat dikurangi dengan cepat. Perombakan dengan mikroba starter sebaiknya diupayakan dalam suasana aerobik atau dengan suasana lembab tetapi tidak sampai anaerobik sehingga kehadiran senyawa H_2S dan senyawa sulfur reduktif lainnya dapat dikurangi atau tidak terbentuk. Namun demikian, perlu pengujian langsung terhadap emisi gas H_2S yang bersifat berbau dan meracun.

Emisi gas SO_2 yang berasal dari hasil dekomposisi pupuk kandang yang terbuat dari kotoran sapi, ternyata jauh lebih sedikit dibanding dengan yang keluar dari hasil dekomposisi kotoran ayam. Perlakuan pemberian mikroba starter nampaknya juga telah meningkatkan jumlah gas SO_2 yang keluar dari pupuk kandang sapi dibandingkan dengan kontrolnya, walaupun tidak terlihat perbedaan yang nyata.

KESIMPULAN

Mikroba starter mengandung mikrobia unsur hara yang sangat diperlukan dalam proses dekomposisi bahan organik. Pupuk kandang sapi setelah aplikasi mikroba starter masih mengandung *Eschericia coli* dan *Salmonella sp.* Jumlah *E. coli* dan *Salmonella sp* namun cenderung menurun seiring dengan lama waktu inkubasi. Terjadi dinamika kandungan unsur-unsur hara seperti P, K, Mg, Fe dan Cu serta logam berat Cr selama proses inkubasi baik pada pupuk kandang ayam maupun sapi.

Bau menyengat yang terjadi pada pupuk kandang sapi terjadi sebagai akibat suasana perombakan yang cenderung anaerob sehingga proses perombakan menjadi tidak sempurna, karbon dioksida (CO_2) kurang terbentuk dan sebaliknya, ammonia (NH_3) lebih banyak terbentuk disertai dengan bau yang menyengat dari hidrogen sulfida (H_2S) dan senyawa yang mengandung sulfur yang tereduksi. Dengan perlakuan mikroba starter, bagian senyawa sulfur dari bahan organik banyak yang terombak menjadi gas SO_2 yang relatif tidak berbau, dan sebaliknya H_2S serta senyawa reduktif sulfida lainnya menjadi terhambat pembentukannya. Perombakan dengan mikroba

starter sebaiknya diupayakan dalam suasana aerobik atau dengan suasana lembab tetapi tidak sampai anaerobik sehingga kehadiran senyawa H_2S dan senyawa sulfur reduktif lainnya dapat dikurangi atau tidak terbentuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya KPWN Jakarta dan LPPM UGM Yogyakarta atas pembiayaan penelitian dan publikasi karya ilmiah ini. Kepada penelaah karya ilmiah ini juga disampaikan penghargaan yang mendalam atas segala koreksi, komentar, saran-saran dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C. 2012. *Pengelolaan Bahan Organik: Peran dalam Kehidupan dan Lingkungan*. KP4 dan BPFE Press. Yogyakarta. 230 hal.
- Agus, C., dan Wulandari, D. 2012. The Abundance of Pioneer Vegetation and Their Interaction with Endomycorrhizae at Different Land Qualities after Merapi Eruption. *JMHT* 18(3): 145-154.
- Buckman, H. O. and N. C. Brady. 1982. *The Natural and Properties of Soils*. The Macmillan Company. New York.
- Haiba, E., Ivask, M., Olle, L., Peda, J., dan Kuu, A. 2014. Transformation of Nutrients and Organic Matter in Vermicomposting of Sewage Sludge and Kitchen Wastes. *Journal of Agricultural Science* 6(2) : 114-118.
- Lindedam, J., Magid, J., Poulsen, P. dan J. Luxhoi. 2009. Tissue architecture and soil fertility controls on decomposer communities and decomposition of roots. *Soil Biology and Biochemistry*. 41(6): 1040–1049.
- Page, A.L., Miller, R.H. dan Keeney, D.R. (Eds). 1982. *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Second edition. Am. Soc. of Agronomi, Inc. and Soil Sc. Soc. of Am. Madison. pp. 1043-1069
- Schnitzer, M. 1989. Humic Substances: Chemistry and Reactions. In M. Schnitzer and S.U. Khan. 1989. *Developments in Soil Science 8: Soil Organic Matter* Fourth edition. Elsevier Sci. Pub. Co. Amsterdam. 310 pp.
- Silver, M. C. R. dan C. Nkwiine. 2007. A review of studies on decomposer microbiota in Uganda. *African Journal of Ecology*, 45(2): 36–44