



Peningkatan Ketersediaan dan Serapan P pada Tanaman Jagung Di Lahan Tercemar Limbah Padat Kapur (*Lime Mud*) Melalui Penambahan Bahan Organik

The Increasing Availability and Uptake of P in Maize Crops on Polluted Solid Lime Waste Soil (Lime Mud) Through Addition of Organic Matter

Tiara Rizky Oceananda Suharto, Tri Candra Setiawati, Sugeng Winarso

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember. 68121

Email : rizkyoceanandatiara@gmail.com

ABSTRACT

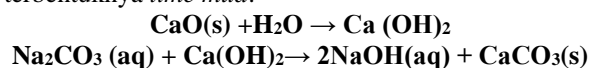
The soil contaminated by lime mud has a high content of Ca and Na. It affects the availability of nutrients within the soil. Calcareous soil conditions tend to disperse, sensitive to washing and erosion. Meanwhile, the availability of P nutrients is also low due to the binding of P by Ca in the form of $(Ca_3PO_4)_2$ that leads the soil productivity to be low. Organic material is a soil enhancer which has complete function, easily available, abundant and can increase P nutrients especially for the plants in the long-term. Hence, the objective of this research was to observe the response of increasing level of soil P contaminated by lime mud and P uptake in maize plant tissues toward the treatment of adding organic material. The research design used in this study was factorial randomized block design comprising of two factors and three replications. The first factor was the source of fertilizer (1) no fertilizer (P0), (2) animal waste bokashi (P1), (3) straw bokashi (P2), (4) guano organic (P3), and (5) NPK inorganic (P4). The second factor was (1) polluted soil (T1) and (2) unpolluted soil (T2). The results revealed that combination of fertilizer types and planting media could significantly increase soil Ca and wet weight of maize crops, additionally gave impact indirectly toward soil pH, P and C-Organic content in the soil, P uptake, plant height, root volume, and dry weight of maize crops. By doing a treatment of giving animal waste bokashi fertilizer combined with contaminated soil media, it apparently produced better results than controlling, and resulted better product than treating them with straw bokashi fertilizer and guano organic fertilizer.

Keywords: Bokashi, Guano, Lime Mud, Maize, Organic Material, P Available

PENDAHULUAN

Limbah padat kapur (*lime mud*) merupakan salah satu limbah pencemar yang telah terbukti menurunkan sifat-sifat tanah (Tadalukdar, 2015) dan produktifitas pertanian sekitar pabrik kertas Leces (Cahyono, 2007). Limbah padat kapur (*lime mud*) merupakan hasil proses pembuatan kertas sebagai pelarut lignin (NaOH dan Na_2S) dan bahan pemutih yaitu $CaCO_3$ dan CaO. Kapur yang digunakan dalam proses tersebut diatas mengandung 95% kalsium karbonat ($CaCO_3$), memiliki pH tanah alkalis (Mao *et al.*, 2015). Selain itu penggunaan pelarut lignin tersebut akan menghasilkan limbah Na.

Said *et al.*, (2014) menyatakan bahwa senyawa Na pada *lime mud* merupakan hasil pencucian lignin yang berupa Na_2CO_3 yang selanjutnya diubah menjadi NaOH dengan penambahan bahan pemutih CaO pada proses kaustisasi. Berikut ini merupakan reaksi terbentuknya *lime mud*:



Lahan yang telah tercemar oleh adanya limbah padat kapur (*lime mud*) yang dihasilkan dalam proses proses pembuatan kertas mengakibatkan kerusakan lingkungan dan menurunkan beberapa variabel yang mempengaruhi kesuburan tanah, apabila lahan tersebut yang secara terus menerus mendapatkan limbah padat kapur (*lime mud*) (Modolo, *et al.*, 2014).

Fosfor merupakan unsur hara makro yang memiliki peran utama dalam proses fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, penyimpanan dan transfer energi, pembelahan dan perbesaran sel serta jaringan meristematik (Ahmad, *et al.*, 2013). Demikian juga Naeem *et al.*, (2013) menyebutkan bahwa fosfor pada tanah *calcareous* mengalami retensi dan mobilisasi akibat terjadinya pengendapan dan adsorpsi oleh Ca. Proses adsorpsi diduga karena ion Ca^{2+} menjadi ion dominan dalam larutan tanah pembentukan kompleks anion asam lemah seperti ortofosfat yang kurang larut sehingga dinamika fosfor kemudian terjerap oleh kalsit.

Moradi *et al.*, (2012) melaporkan bahwa tanah *calcareous* memiliki jumlah P total yang besar akan



tetapi jumlah P-tersedia untuk tanaman sangat terbatas dimana tanaman yang tumbuh pada tanah *calcareous* cenderung mengalami defisiensi unsur hara P. Rendahnya kandungan P-tersedia diakibatkan oleh fosfat yang diserap ke permukaan CaCO_3 dan diendapkan dalam bentuk mineral Ca-fosfat atau $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Kondisi tersebut menjadi kendala utama dalam kegiatan budidaya pertanian di lahan tercemar di sekitar pabrik kertas Lecees Probolinggo. Berdasarkan karakteristik tanah tersebut maka diperlukan alternatif perbaikan untuk mengembalikan fosfor dalam tanah agar tersedia bagi tanaman. Alternatif perbaikan lahan yang perlu dilakukan adalah menambah kandungan bahan organik.

Menurut Hafiz *et al.*, (2016) bahan organik dapat meningkatkan ketersediaan P dimana bentuk organik pada pupuk diubah ke bentuk anorganik dengan bantuan mikroba selama proses dekomposisi serta menghasilkan asam organik yang berperan pelepasan P yang terfiksasi oleh Ca menjadi P-tersedia yang dapat diserap tanaman. Demikian juga Saleh *et al.*, (2015) juga menyatakan bahwa karbon organik memiliki peran penting dalam menghambat proses adsorpsi pada permukaan koloid tanah dengan membentuk kompleks stabil sebagai ligan organik. Karbon organik terlarut ini kemudian menggunakan pertukaran dan khelasi oleh senyawa pengkhelat yakni asam organik sehingga mampu melepaskan P yang terikat oleh Ca dengan menakar ikatan dengan CO_3 yang dihasilkan senyawa pengkhelat.

Berdasarkan uraian diatas maka diharapkan adanya pengaruh penambahan bahan organik dapat menjadi alternatif dalam peningkatan C-organik pada tanah tercemar limbah padat kapur sehingga dapat memperbaiki sifat kimia tanah yang awalnya tercemar. Penambahan pupuk sebagai bahan organik juga diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan fosfat didalam tanah sehingga dapat diserap oleh tanaman sebagai bahan dalam rangka untuk membantu pertumbuhan serta peningkatan produksi dari tanaman. Oleh karenanya penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui respon peningkatan kadar P tanah tercemar *lime mud* dan serapan P pada jaringan tanaman jagung akibat adanya perlakuan kombinasi jenis pupuk dengan jenis media tanam.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai Juni 2018 di Lahan Penelitian dan Laboratorium Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Bahan dan Alat

Alat meliputi polybag 35,36 liter, peralatan laboratorium seperti tabung digest, AAS, oven, penggojok, alat destruksi, spektrofotometer UV-VIS, pH meter, neraca analitik. Bahan meliputi benih jagung varietas lokal talango, pupuk bokashi kotoran hewan, pupuk bokashi jerami, pupuk organik guano, pupuk anorganik NPK Phonska, air aquadest dan bahan-bahan lainnya yang digunakan dalam proses analisis kimia yang terdiri dari analisis pH, Ca, C-Organik, P-tersedia tanah, dan P-jaringan.

Prosedur Penelitian

Percobaan ini menggunakan Rancangan acak kelompok (RAK) faktorial yang terdiri dari dua faktor dengan tiga ulangan. Faktor pertama (P): Jenis Pupuk yang terdiri dari lima taraf yaitu: 1. Kontrol (P0), 2. Bokashi Kotoran Hewan 150 g/tanaman (P1), 3. Bokashi Jerami 150 g/tanaman (P2), 4. Organik Guano 150 g/tanaman (P3), 5. Anorganik NPK Phonska 1,875 g/tanaman dan faktor kedua (T): Media Tanam yang terdiri dari dua taraf yaitu: 1. Tanah Tercemar (T1), 2. Tanah Tidak Tercemar (T2). Selanjutnya data dianalisis dengan uji sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* dengan taraf 5%.

Pelaksanaan penelitian mengikuti tahapan sebagai berikut:

Analisis Pendahuluan. Sebelum kegiatan penelitian dimulai terlebih dahulu melakukan analisis pendahuluan yaitu menganalisis kondisi awal media tanam yang digunakan saat penelitian. Unsur hara yang dianalisis yaitu unsur fosfor, uji pH tanah dengan menggunakan pH meter dan uji kandungan Ca, yang mana analisis pH ini akan menentukan metode yang akan digunakan untuk mengukur kadar P-tersedia tanah sedangkan analisis Ca ini akan mengetahui kandungan Ca sebagai limbah pencemar tanah.

Persiapan Media Tanam. tanah terlebih dahulu dikering-anginkan dan digemburkan, kemudian diayak. Media tanam yang telah disiapkan tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam polybag berukuran 35,36 liter dengan berat tanah pada setiap polybag adalah 15 kg dalam kondisi tanah kering angin.

Aplikasi Perlakuan. Bahan organik yakni pupuk bokashi kotoran hewan, pupuk bokashi jerami dan pupuk organik guano yang diberikan kedalam media yakni sejumlah 150 gr/tanaman sedangkan pupuk anorganik NPK Phonska diberikan kedalam media yakni sejumlah 1,875 gr/tanaman. Pemberian bahan organik adalah satu minggu sebelum tanam. Pupuk anorganik NPK Phonska diaplikasikan media tanam bersamaan dengan penanaman jagung.

Penanaman Bibit. Penanaman pada media masing – masing sejumlah 3 benih dengan kedalaman tanam 3 cm dari permukaan.



Pemeliharaan. Pemeliharaan tanaman meliputi kegiatan penyiraman, penyulaman, penyiangan dan penjarangan.

Analisis Tanah. Analisis pH tanah menggunakan larutan H₂O dan diukur dengan metode pH meter dengan perbandingan 1:5. Hasil pengamatan terhadap pH tanah ini akan menentukan metode yang akan digunakan untuk mengukur kadar P-tersedia dalam tanah, untuk pH tanah >5,5 menggunakan metode analisis P Olsen. Analisis Ca tanah menggunakan metode pereaksi ammonium asetat 1M sedangkan analisis C-Organik tanah menggunakan metode Kurmis.

Analisis Tanaman. Analisis pada jaringan tanaman ini dilakukan pada tanaman yang telah dipanen dengan mengambil contoh kering tanaman. contoh tanaman yang diambil sebagai sampel adalah pada bagian 2 daun teratas yang telah tumbuh sempurna (*young and mature leaves*). Contoh kering tanaman diperoleh dari sampel tanaman yang telah dioven selama 3x24 jam dengan suhu 60-80 °C untuk masing – masing perlakuan. Selanjutnya dilakukan destruksi untuk analisis kadar P jaringan dan serapan dengan metode pengabuan basah menggunakan larutan H₂SO₄ 98% dan H₂O₂ 30%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis pupuk sebagai penambah bahan organik adalah pupuk bokashi kotoran hewan, pupuk bokashi jerami dan pupuk organik guano.

Tabel 1. Karakteristik Tanah Tercemar Lime Mud

Variabel	Tanah	Perlakuan			
	Tercemar Awal	P1	P2	P3	P4
pH Tanah	8,64	8,18	8,16	7,96	8,06
P tersedia (ppm P ₂ O ₅)	3,46	4,30	1,91	3,11	0,42

Berdasarkan Tabel 1. menjelaskan bahwa pemberian bahan organik dari beberapa jenis pupuk mampu menurunkan nilai pH tanah yang selanjutnya mampu melarutkan unsur fosfor yang terfiksasi oleh Ca. Pernyataan tersebut sesuai dengan Purba, dkk (2017) pupuk organik diaplikasikan ke media tanam dengan waktu inkubasi selama dua minggu sebelum tanam, dimana waktu inkubasi dua minggu sebelum tanam dapat menghasilkan proses dekomposisi yang mampu memperbaiki pH tanah sehingga mampu melarutkan unsur fosfor menjadi bentuk tersedia.

Tabel 2. Karakteristik Macam Bahan Organik

Jenis Analisis	Pupuk B.	Pupuk	Pupuk
	Kotoran Hewan	Bokashi Jerami	Organik Guano
pH H ₂ O	6,79	6,91	7,2
C-Organik (%)	18,92	12,84	5,49
N-Total (%)	1,15	2,25	5,7

P tersedia (ppm	2,82	0,37	8,6
P ₂ O ₅)	16,45	5,97	0,96
C/N ratio			
C/P ratio	67092	3470	6384

Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui bahwa pupuk yang digunakan sebagai penambahan bahan organik memiliki kandungan C/N Ratio dengan nilai < 20. Kualitas bokashi yang baik adalah memiliki kandungan C/N ratio antara 12-15, apabila nilai C/N ratio lebih tinggi maka artinya bahan penyusun pupuk organik belum terurai secara sempurna (Tamtomo dkk., 2015).

Selain adanya pengaruh C/N pada kualitas bokashi, terdapat pula pengaruh C/P pada kualitas pupuk organik yang digunakan. Menurut Leyten *et al.*, (2005) pada tanah berkapur (*Calcareous*) semiarid yang cenderung memiliki konsentrasi C-organik rendah, C/P rasio dari pupuk organik yang ditambahkan merupakan pengatur utama kelarutan P dalam tanah. Hubungan dari rasio C/P yang larut ini diduga disebabkan oleh penyerapan mikroba P setelah stimulasi mikroba akibat penambahan C yang kemudian terurai. Pupuk organik dengan kandungan C/P rasio yang luas diduga mampu menghasilkan konsentrasi P dengan biomassa mikroba yang lebih besar dalam mengatur kelarutan P dalam tanah.

Perlakuan berupa kombinasi antara penambahan jenis pupuk sebagai bahan organik dengan jenis media tanam ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara fosfat pada tanah serta peningkatan serapannya pada tanaman jagung. Hasil pengamatan dari beberapa variabel tersebut di uji dengan menggunakan *analisis of varians* (ANOVA). Berikut adalah rangkuman nilai F-hitung hasil analisis sidik ragam terhadap variabel pengamatan yang di sajikan dalam Tabel 2.

Tabel 3. Rangkuman Nilai F-hitung Hasil Analisis Ragam dari Variabel Pengamatan

No	Variabel Pengamatan	Nilai F-Hitung		
		Jenis Pupuk (P)	Media Tanam (B)	Interaksi P x B
1	pH Tanah	2,68 ^{tn}	71,73 ^{**}	1,16 ^{tn}
2	P tersedia (ppm P ₂ O ₅)	7,64 ^{**}	543,46 ^{**}	0,22 ^{tn}
3	Ca dd Tanah	12,27 ^{**}	5,79 [*]	11,20 ^{**}
4	C-Organik Tanah	2,46 ^{tn}	284,11 ^{**}	0,53 ^{tn}
5	Serapan P Jaringan	4,65 ^{**}	45,30 ^{**}	1,24 ^{tn}
6	Kadar P Jaringan	0,88 ^{tn}	3,81 ^{tn}	2,84 ^{tn}
7	Tinggi Tanaman	8,93 ^{**}	69,56 ^{**}	0,73 ^{tn}
8	Jumlah Daun	2,63 ^{tn}	0,75 ^{tn}	0,86 ^{tn}
9	Panjang Akar	0,64 ^{tn}	2,62 ^{tn}	0,30 ^{tn}
10	Volume Akar	2,60 ^{tn}	16,61 ^{**}	0,01 ^{tn}

11 Berat Basah	4,87**	27,22**	3,47*
12 Berat Kering	5,49**	44,17**	1,19 ^m

keterangan: (tn) tidak berbeda nyata; (*) berbeda nyata; (**) berbeda sangat nyata.

Berdasarkan Tabel 3. dapat diketahui bahwa beberapa perlakuan yang diberikan memiliki pengaruh terhadap variabel pengamatan. Interaksi dari kombinasi jenis pupuk sebagai penambah bahan organik dengan jenis media tanam memberikan pengaruh nyata terhadap variabel berat basah tanaman atas dan variabel Ca dd tanah. Selain itu interaksi dari kombinasi dua faktor berbeda tidak nyata pada beberapa variabel pengamatan yakni pH H₂O tanah, P-tersedia tanah, C-Organik tanah, serapan P jaringan, tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, volume akar dan berat kering tanaman atas.

1. pH Tanah

Penambahan bahan organik berupa pupuk organik memberikan hasil yang berpengaruh terhadap peningkatan dan penurunan nilai pH pada tanah tercemar dan tidak tercemar.



Gambar 1 Pengaruh Media Tanam terhadap pH Tanah

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa tanah tercemar sebelum dan setelah diberi perlakuan memiliki pH yaitu 8,64 dan 8,14 yang tergolong alkalis sedangkan tanah tidak tercemar memiliki pH 6,61 yang tergolong netral dan 7,67 yang tergolong agak alkalis. Hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa jenis pupuk baik organik maupun anorganik seperti NPK mampu menurunkan nilai pH pada tanah tercemar dan meningkatkan nilai pH pada tanah tidak tercemar walaupun tidak secara signifikan apabila dibandingkan dengan hasil analisis tanah sebelum diberi perlakuan.

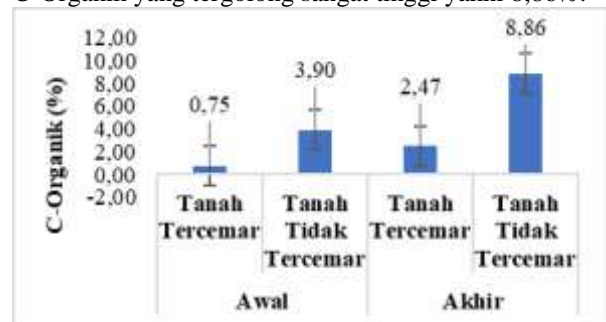
Irawan, dkk (2016) menyebutkan bahwa penurunan pH akibat perlakuan diduga karena adanya proses penguraian bahan organik yang menghasilkan asam-asam organik. Selain itu penambahan bahan organik ternyata dapat meningkatkan atau malah menurunkan pH tanah, tergantung pada jenis bahan organik yang ditambahkan.

2. Kandungan C-Organik Tanah

Penambahan bahan organik berupa pupuk organik pada tanah tercemar maupun tanah tidak tercemar

memiliki pengaruh dalam peningkatan kandungan C-Organik tanah tersebut sebagai media tanam.

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa tanah tercemar sebelum diberi perlakuan memiliki kandungan C-Organik yang tergolong sangat rendah yakni 0,75% sedangkan setelah diberi perlakuan mengalami peningkatan dengan kandungan C-Organik yang tergolong sedang yakni 2,47%. Demikian juga pada tanah tidak tercemar dimana sebelum diberi perlakuan memiliki kandungan C-Organik yang tergolong tinggi yakni 3,90% sedangkan setelah diberi perlakuan mengalami peningkatan dengan kandungan C-Organik yang tergolong sangat tinggi yakni 8,86%.

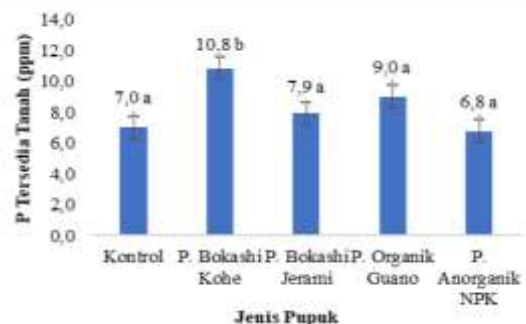


Gambar 2 Pengaruh Media Tanam terhadap C-Organik

Supriyadi, dkk (2014) melaporkan bahwa penambahan bahan organik mampu mengaktifkan proses penguraian bahan organik asli tanah tersebut sehingga menghasilkan kandungan bahan organik lebih tinggi dari kandungan awal yang dimiliki tanah sebelumnya. Selain itu Suliasih, dkk (2010) juga menyebutkan bahwa bahan organik mengandung asam-asam organik untuk meningkatkan ketersediaan P melalui mekanisme kimiawi.

3. Kandungan P Tersedia Tanah

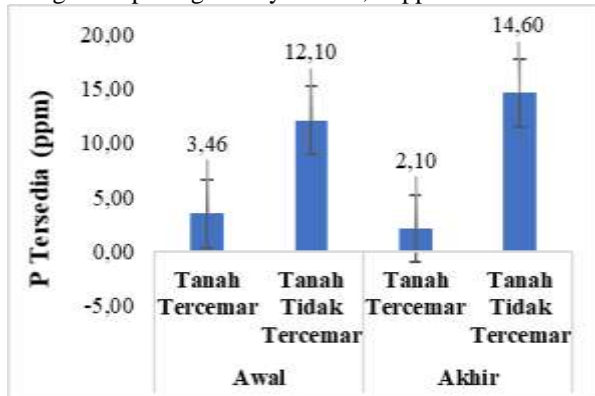
Ketersediaan P dalam tanah bersifat sangat stabil (*imobile*), sehingga kehilangan hara oleh pencucian relatif tidak terjadi. Keadaan fosfor yang bisa diserap tanaman pada pH 5,5 – 7,0 di tanah masam ion orthofosfat primer (HPO²⁻₄) dan pada tanah basah diserap oleh ion orthofosfat sekunder (H₂PO³⁻₄). Keadaan pH tersebut mempengaruhi ketersediaan hara P yang diserap tanaman atau terfiksasi oleh liat tanah (Al, Fe, Ca, dan Mg) (Budi dan Sari, 2015).



Gambar 3 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap P-Tersedia.

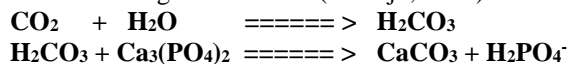
Perlakuan faktor tunggal berupa penambahan jenis pupuk yang ditunjukkan dalam Gambar 3 menjelaskan bahwa perlakuan kontrol (P0) berbeda tidak nyata dengan pupuk bokashi jerami (P2) dan pupuk organik guano (P3), namun berbeda nyata dengan perlakuan pupuk bokashi kotoran hewan (P1) dan pupuk anorganik NPK (P4) yang berbeda tidak nyata. Kandungan hara P tertinggi terdapat pada tanah yang diberi perlakuan pupuk bokashi kotoran hewan (P1) dengan nilai kandungan P-tersedia sebesar 10,8 ppm dan respon terendah terdapat pada perlakuan pupuk anorganik NPK (P4) dengan kandungan P-tersedia tanah sebesar 6,8 ppm.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa tanah tercemar sebelum diberi perlakuan memiliki kandungan P-tersedia yang tergolong sangat rendah yakni 3,46 ppm sedangkan setelah diberi perlakuan mengalami penurunan yakni 2,10 ppm. Sedangkan tanah tidak tercemar sebelum diberi perlakuan memiliki kandungan P-tersedia yang tergolong rendah yakni 12,10 ppm dan setelah diberi perlakuan mengalami peningkatan yakni 14,60 ppm.



Gambar 4 Pengaruh Media Tanam terhadap P-Tersedia

Penurunan kandungan P-tersedia pada tanah tercemar menunjukkan bahwa tanaman jagung menyerap unsur hara P pada tanah tercemar lebih banyak untuk pertumbuhannya. Selain itu tanah tercemar masih memiliki kandungan Ca yang tinggi sehingga P-tersedia kemudian terfiksasi dan menjadi rendah (Suliasih dkk., 2010^a). Berikut merupakan mekanisme pelarutan dan pelepasan ikatan P oleh asam-asam organik menurut (Atmojo, 2003).



Berdasarkan reaksi diatas proses pelepasan P akibat terikat oleh Ca dalam bentuk $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ melalui penambahan bahan organik adalah dengan pembentukan asam karbonat akibat pelepasan CO_2 dalam proses dekomposisi bahan organik. Hal tersebut ternyata mampu mengakibatkan kelarutan P menjadi lebih meningkat dan tersedia bagi tanaman. Hasil proses penguraian dan mineralisasi bahan organik tersebut akan melepaskan fosfor anorganik juga akan melepaskan senyawa fosfor organik seperti *fitine* dan

asam *nucleic*. Selain itu juga melepaskan ion Ca yang mengikat P sehingga ion Ca akan berikatan dengan CO_3 menjadi CaCO_3 yang tak lain adalah limbah padat kapur (*lime mud*) itu sendiri.

4. Kandungan Ca dd Tanah

Berdasarkan Tabel 3, respon tertinggi yang dihasilkan akibat perlakuan kombinasi jenis pupuk dengan jenis media tanam terjadi pada perlakuan pupuk anorganik NPK yang dikombinasikan dengan perlakuan pada tanah tercemar (P4T1) dengan rata-rata kandungan Ca dd dalam tanah sebesar 22,68 me/100g dan respon terendah terdapat pada perlakuan POT1 (kontrol) pada tanah tercemar dengan rata-rata kandungan Ca dd dalam tanah sebesar 15,01 me/100g.

Tabel 3. Interaksi Jenis Pupuk sebagai Bahan Organik dengan Jenis Media Tanam terhadap Kandungan Ca dd Tanah

Jenis Pupuk	Ca dd (me/100g)	
	Jenis Media Tanam	
	T1	T2
Kontrol (P0)	15,01 aA	19,94 bA
Pupuk Bokashi Kotoran Hewan (P1)	17,49 aB	20,00 bA
Pupuk Bokashi Jerami (P2)	20,61 aC	20,49 aA
Pupuk Organik Guano (P3)	20,36 aC	20,75 aA
Pupuk Anorganik NPK (P4)	22,68 aD	19,73 bA

Huruf kapital (horizontal) dan huruf kecil (vertikal). Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut Uji DMRT pada taraf kepercayaan 5%

Tingginya kandungan Ca dd pada semua perlakuan diduga akibat pelepasan ion H^+ oleh asam organik dan anorganik dan pengikatan CO_3 terhadap Ca menjadi CaCO_3 . Adanya proses khelasi akibat senyawa pengkhelat yakni asam organik akibat penambahan bahan organik diduga juga menyebabkan kandungan Ca ditanah menjadi meningkat dimana terjadi pelepasan ion fosfat yang berikatan dengan Ca yang tidak larut menjadi bentuk terlarut. Siklus khelasi Ca diduga juga mendominasi keadaan tanah alkalin sehingga menyebabkan situs pertukaran terblokir untuk melindungi sesquioxida dan ketersediaan logam sebagai *buffer* terhambat sehingga pH tanah bersifat alkalin (McCauley *et al.*, 2009).

5. Kadar P Jaringan Tanaman Jagung

Status hara dalam tanah dapat dilihat dari kandungan unsur hara pada jaringan tanaman yang tumbuh diatasnya. Hal tersebut dikarenakan kandungan unsur hara dalam tanah berkorelasi dengan kandungan hara jaringan tanaman.

Kombinasi perlakuan jenis pupuk sebagai penambah bahan organik dan jenis media tanam atau tanah yang ditunjukkan pada Gambar 5 mengindikasikan

bahwa kombinasi perlakuan terbaik dengan kadar P-jaringan tertinggi adalah P1T1 yaitu perlakuan pupuk bokashi kotoran hewan (P1) pada media tanam tanah tercemar (T1) dengan nilai sebesar 0,028%, sedangkan kombinasi perlakuan yang memiliki kadar P-jaringan terendah adalah P0T2 yaitu perlakuan kontrol (P0) pada tanah tidak tercemar (T2) dengan nilai sebesar 0,021%.



Gambar 5 Pengaruh Kombinasi Perlakuan terhadap Kadar P Jaringan

Keterangan:

P0T1= Kontrol, tanpa pupuk	P0T2= Kontrol, tanpa pupuk
P1T1= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tercemar	P1T2= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tidak Tercemar
P2T1= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tercemar	P2T2= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tidak Tercemar
P3T1= P. Organik Guano dan Tanah Tercemar	P3T2= P. Organik Guano dan Tanah Tidak Tercemar
P4T1= P. Anorganik NPK dan Tanah Tercemar	P4T2= P. Anorganik NPK dan Tanah Tidak Tercemar

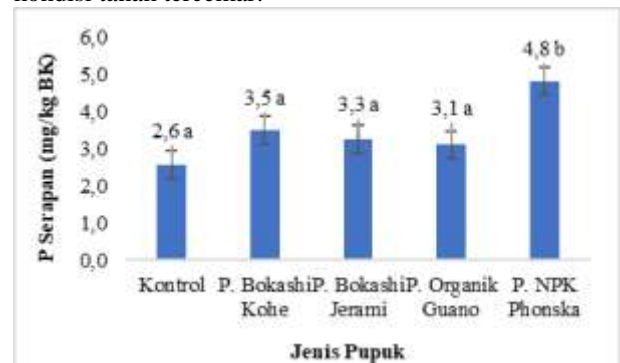
Tanaman akan mudah menyerap unsur hara dan memenuhi kebutuhannya apabila ketersediaannya dalam tanah tinggi begitupun sebaliknya. Hal tersebut membuktikan bahwa terdapat korelasi antara kandungan hara dalam tanah dengan hara pada jaringan tanaman dimana pupuk bokashi kotoran hewan (P1) memberikan sumbangan P-tersedia paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 3). Demikian juga Saraswati dan Husein (2008) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan unsur hara dalam tanah maka akan berbanding lurus dengan kadar hara jaringan tanaman yang tumbuh di atasnya.

6. Serapan P Jaringan Tanaman Jagung

Faktor tunggal berupa penambahan jenis pupuk sebagai penambah bahan organik ditunjukkan dalam Gambar 6 memberikan hasil bahwa penambahan jenis pupuk memiliki pengaruh yang berbeda nyata terhadap serapan P-Jaringan tanaman jagung. Kadar serapan P-Jaringan tanaman jagung tertinggi terdapat pada tanah yang diberi perlakuan pupuk anorganik NPK (P4) dengan nilai serapan P-Jaringan sebesar 4,8 mg/kg BK dan respon terendah terdapat pada perlakuan kontrol (P0) atau tanpa perlakuan dengan serapan P-Jaringan tanaman jagung sebesar 2,6 mg/kg BK.

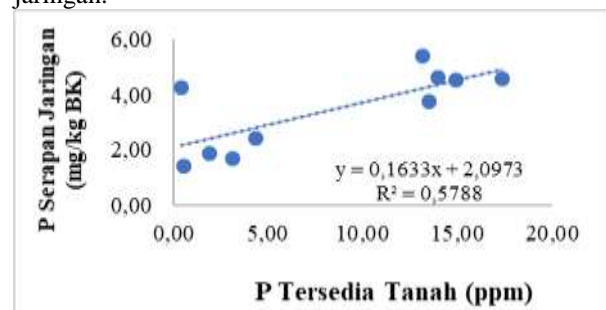
Pemupukan organik tidak menyediakan hara fosfat dalam bentuk tersedia yang dapat secara

langsung diserap oleh tanaman seperti pupuk anorganik. Selaras dengan penelitian dari Gunawan, dkk (2014) bahwa pemupukan organik cenderung memiliki daya serap hara yang rendah dibandingkan pupuk anorganik. Pupuk organik umumnya berfungsi untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aktifitas mikroorganisme tanah. Selain itu pupuk organik juga bersifat *slow release* dengan daya kelarutan yang lambat sehingga tidak mudah tersedia bagi tanaman (Scotti *et al.*, 2015). Terlepas dari sifat pupuk organik yang *slow realease* dalam menyediakan unsur hara, pupuk organik mampu memperbaiki kondisi tanah tercemar.



Gambar 6 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Serapan P-Jaringan.

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan bahwa korelasi kandungan P-tersedia di dalam tanah tidak diimbangi dengan peningkatan kadar serapan P-Jaringan tanaman jagung dimana tingginya kandungan P-tersedia pada tanah yang disumbangkan oleh pupuk organik guano (P3) memberikan kadar serapan P-jaringan terendah antar perlakuan. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai R^2 0,5788 artinya perlakuan memberikan kontribusi sebesar 0,5788 atau 57,88% terhadap peubah P-tersedia tanah dan kadar serapan P-jaringan.



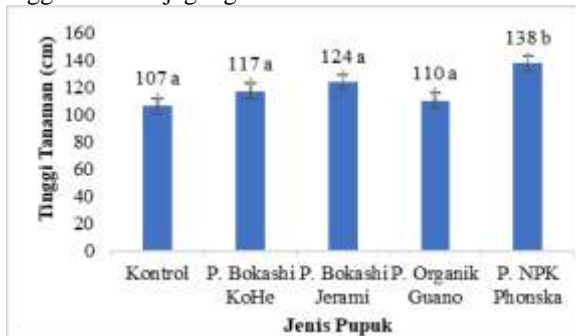
Gambar 7 Korelasi P Serapan dan P Tersedia

Amrizal (2012) menyebutkan dalam penelitiannya mengenai lama inkubasi pupuk organik guano pada tanaman jagung manis disebutkan bahwa pupuk guano memiliki waktu *release* yang lebih lama yakni 90 hari pada tanaman jagung manis untuk memperoleh hasil produksi maksimal. Selain itu adanya peran antara kandungan hara dan jasad renik yang mendukung satu sama lain seperti bakteri pelarut

fosfat yang mampu mendekomposisi dan memineralisasi 20-24% asam fosfat dalam pupuk guano hingga menjadi tersedia dan mampu diserap tanaman.

7. Tinggi Tanaman Jagung

Perlakuan faktor tunggal berupa penambahan jenis pupuk yang ditunjukkan dalam Gambar 8 menjelaskan bahwa penambahan jenis pupuk memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap tinggi tanaman jagung.

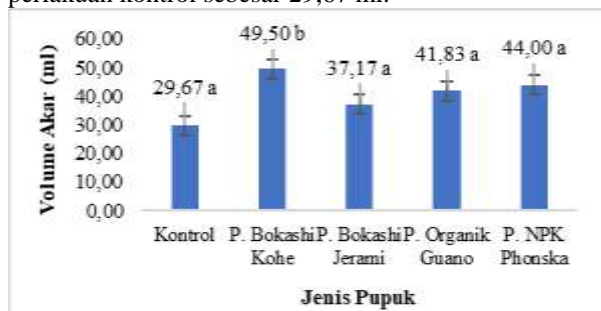


Gambar 8 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Tinggi Tanaman.

Tinggi tanaman jagung tertinggi terdapat pada tanah yang diberi perlakuan pupuk anorganik NPK (P4) dengan tinggi yaitu 138 cm dan respon terendah terdapat pada perlakuan kontrol (P0) atau tanpa perlakuan dengan tinggi yaitu 107 cm. Pasta, dkk (2015) menyebutkan pupuk anorganik NPK memiliki kandungan unsur hara yang tinggi yakni 15% (N:P:K) dibandingkan pupuk organik lainnya (Tabel 1), nitrogen dan fosfor merupakan unsur hara makro yang paling banyak dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman jagung pada fase vegetatif.

8. Volume Akar Tanaman Jagung

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan bahwa faktor tunggal jenis pupuk memiliki pengaruh berbeda nyata terhadap volume akar tanaman jagung. Volume akar tertinggi pada tanaman jagung terdapat pada perlakuan dengan pemberian pupuk bokashi kotoran hewan sebesar 49,50 ml sedangkan volume akar terendah pada tanaman jagung terdapat pada perlakuan kontrol sebesar 29,67 ml.



Gambar 9 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Volume Akar.

Penjelasan mengenai nilai volume akar yang cenderung meningkat pada tanah tercemar dan tanah tidak tercemar diperkuat dengan pernyataan Fernandez and Hoelt (2008) bahwa aplikasi pemupukan dengan upaya peningkatan P dapat meningkatkan sistem perakaran dan meningkatkan serapan hara P. Selain itu upaya pemupukan P diduga juga mempengaruhi kerapatan akar dan konduktansi air akar sehingga mampu menghasilkan kemampuan bagi tegakan tanaman dan bertahan pada kekeringan.

9. Berat Basah Tanaman Jagung

Berdasarkan Tabel 4, respon tertinggi yang dihasilkan akibat perlakuan kombinasi jenis pupuk dengan jenis media tanam terjadi pada perlakuan pupuk anorganik NPK yang dikombinasikan dengan perlakuan pada tanah tercemar (P4T1) dengan rata-rata berat basah tanaman sebesar 105,01 gram dan respon terendah terdapat pada perlakuan P0T1 (kontrol) pada tanah tercemar dengan rata-rata berat basah tanaman sebesar 35,00 gram.

Tabel 4. Interaksi Jenis Pupuk sebagai Bahan Organik dengan Jenis Media Tanam terhadap Berat Basah Tanaman Jagung

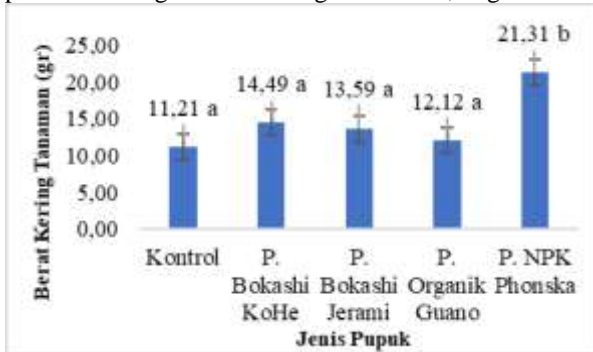
Jenis Pupuk	Berat Basah Tanaman (gr)	
	Jenis Media Tanam	
	T1	T2
Kontrol (P0)	35,00 aA	72,21 bA
Pupuk Bokashi Kotoran Hewan (P1)	44,93 aA	102,27 bA
Pupuk Bokashi Jerami (P2)	39,38 aA	87,96 bA
Pupuk Organik Guano (P3)	41,08 aA	79,33 bA
Pupuk Anorganik NPK (P4)	105,01 aB	88,56 aA

Huruf kapital (horizontal) dan huruf kecil (vertikal). Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut Uji DMRT pada taraf kepercayaan 5%

Berat basah tanaman merupakan perbandingan hara dan air dalam tanaman yang terakumulasi dalam proses pembentukan jaringan dan metabolisme tanaman. Penjelasan diatas selaras dengan pernyataan Zulkifli dan Herman (2012^a) bahwa penambahan bahan organik seperti pupuk kandang sapi dengan dosis 20 ton/Ha pada tanaman jagung menunjukkan hasil tertinggi terhadap beberapa parameter yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah tongkol, berat tongkol, berat basah dan berat pipilan kering serta berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tanah.

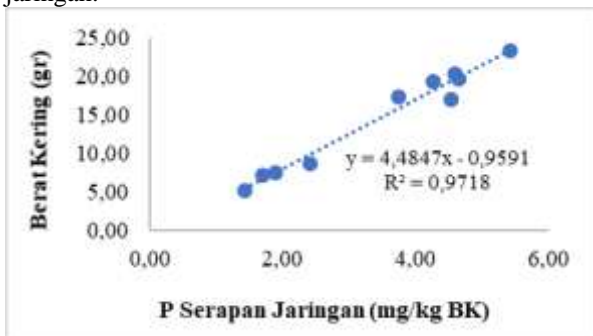
10. Berat Kering Tanaman Jagung

Faktor tunggal berupa penambahan jenis pupuk sebagai penambah bahan organik ditunjukkan dalam Gambar 10 menunjukkan bahwa berat kering tanaman jagung tertinggi terdapat pada tanah yang diberi perlakuan pupuk anorganik NPK (P4) dengan berat kering sebesar 21,31 gram dan respon terendah terdapat pada perlakuan kontrol (P0) atau tanpa perlakuan dengan berat kering sebesar 11,21 gram.



Gambar 10 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Berat Kering Tanaman.

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan bahwa terdapat korelasi antara peningkatan kadar serapan P-jaringan dengan berat kering tanaman jagung. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai R^2 0,9718 artinya perlakuan memberikan kontribusi sebesar 0,9718 atau 97,18% terhadap peubah berat kering dan serapan P-jaringan.

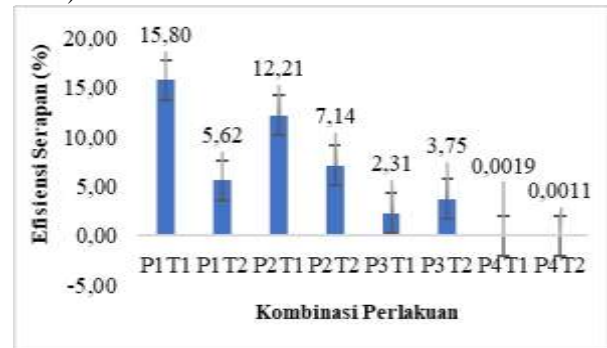


Gambar 11 Korelasi Berat Kering Tanaman dan P Serapan Jaringan

Lindung (2011) menyatakan meningkatnya berat kering tajuk tanaman berkaitan dengan meningkatnya tinggi tanaman yang dipengaruhi oleh meningkatnya ketersediaan hara dalam tanah, khususnya P sehingga pembentukan jaringan tanaman menjadi lebih baik. Berdasarkan teori tersebut dapat diketahui pula korelasi antara berat kering tanaman dengan kadar serapan P jaringan tanaman jagung. Demikian juga proses metabolisme tanaman menjadi lebih baik yang dicirikan dengan meningkatnya berat kering tajuk tanaman (biomassa).

11. Efisiensi Pemupukan

Efisiensi pemupukan diperoleh dari pendekatan efisiensi serapan yang merupakan perbandingan antara hara yang diserap dari pupuk dengan jumlah pupuk yang diberikan dan efisiensi berat kering merupakan pendekatan yang digunakan untuk menilai respon tanaman dalam mengoptimalkan hara yang berasal dari pupuk untuk menghasilkan produk (Tambunan, dkk., 2014).



Gambar 12 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Efisiensi Serapan P

Keterangan:

- | | |
|--|--|
| P0T1= Kontrol, tanpa pupuk | P0T2= Kontrol, tanpa pupuk |
| P1T1= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tercemar | P1T2= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tidak Tercemar |
| P2T1= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tercemar | P2T2= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tidak Tercemar |
| P3T1= P. Organik Guano dan Tanah Tercemar | P3T2= P. Organik Guano dan Tanah Tidak Tercemar |
| P4T1= P. Anorganik NPK dan Tanah Tercemar | P4T2= P. Anorganik NPK dan Tanah Tidak Tercemar |

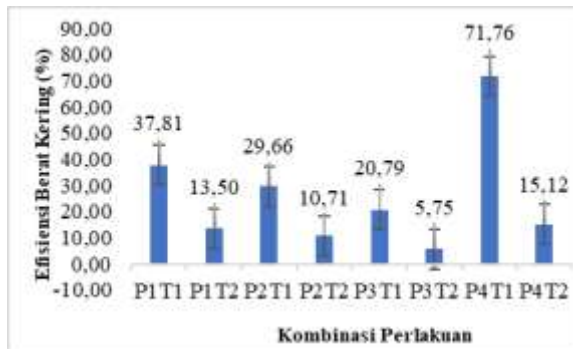
Berdasarkan Gambar 12 menunjukkan bahwa kombinasi beberapa jenis pupuk yang ditambahkan pada jenis media tanam memiliki nilai efisiensi serapan P yang berbeda. Pemupukan dengan menggunakan pupuk bokashi kotoran hewan (P1) yang diberikan pada tanah tercemar memiliki nilai efisiensi paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya yakni 15.80% sedangkan pemupukan anorganik NPK Phonska memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya yakni 0.0011%.

Nilai efisiensi serapan dari kombinasi perlakuan jenis pupuk dan media tanam memiliki korelasi nyata dengan kandungan P-terdapat dalam tanah (Gambar 3) dimana pemberian pupuk bokashi kotoran hewan (P1) merupakan perlakuan dengan kandungan P-terdapat paling tinggi sedangkan pemberian pupuk anorganik NPK Phonska (P4) merupakan perlakuan dengan kandungan P-terdapat terendah. Menurut Tambunan, dkk (2014^a) hal yang paling mempengaruhi efisiensi pemupukan adalah keseimbangan antara kebutuhan tanaman dengan jumlah hara yang dilepaskan dari pupuk. Nilai efisiensi pemupukan P pada kedua jenis media tanam yakni tanah tercemar dan tidak tercemar ini masih tergolong sangat rendah dimana efisiensi pemupukan yang baik berada di kisaran 50-80% (Dobermann ; Tambunan, dkk., 2014^b). Hal tersebut dikarenakan adanya retensi P yang sangat tinggi



sehingga sebagian besar P yang tersedia akan diikat oleh Ca sehingga tanaman tidak dapat menyerap P dalam jumlah optimal.

Berdasarkan Gambar 13 menunjukkan bahwa kombinasi beberapa jenis pupuk yang ditambahkan pada jenis media tanam memiliki nilai efisiensi berat kering yang berbeda dimana pemupukan dengan menggunakan pupuk anorganik NPK Phonska yang diberikan pada tanah tercemar memiliki nilai efisiensi paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya yakni 71.76%.



Gambar 13 Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Efisiensi Berat Kering

Keterangan:

P0T1= Kontrol, tanpa pupuk	P0T2= Kontrol, tanpa pupuk
P1T1= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tercemar	P1T2= P. Bokashi Kohe dan Tanah Tidak Tercemar
P2T1= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tercemar	P2T2= P. Bokashi Jerami dan Tanah Tidak Tercemar
P3T1= P. Organik Guano dan Tanah Tercemar	P3T2= P. Organik Guano dan Tanah Tidak Tercemar
P4T1= P. Anorganik NPK dan Tanah Tercemar	P4T2= P. Anorganik NPK dan Tanah Tidak Tercemar

Peningkatan efisiensi berat kering tanaman jagung pada Gambar 13 mengindikasikan bahwa varietas tanaman jagung Talango yang digunakan sangat respon terhadap pemupukan anorganik NPK Phonska walaupun pada tanah tercemar. Tanaman mampu mengubah unsur hara yang diserap dari pupuk menjadi produk tanaman dalam bentuk berat kering (Tambunan, dkk., 2014^a). IPNI (2017) menyebutkan bahwa peningkatan efisiensi berat kering dipengaruhi oleh faktor pemupukan 5 tepat yakni tepat sumber dengan penyediaan hara yg seimbang dan cocok dengan sifat tanahnya, tepat dosis sesuai evaluasi kebutuhan tanaman, tepat waktu sesuai dinamika penyerapan dan penyediaan hara, tepat tempat dan tepat cara dengan mengenali pola perakaran tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi kombinasi jenis pupuk dan jenis media tanam yang beda memiliki perbedaan pengaruh yang baik terhadap peningkatan P dalam tanah, C-

Organik tanah, perbaikan pH dan serapan P jaringan.

2. Perlakuan pupuk bokashi kotoran hewan memberikan hasil yang lebih baik sebagai penambah bahan organik dibandingkan dengan kontrol dan pupuk bokashi kotoran hewan mampu memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan pupuk lainnya pada beberapa parameter.
3. Tanah tercemar setelah dilakukan penambahan bahan organik dengan dosis setara 20 ton/Ha belum mampu memperbaiki kesuburan tanah utamanya pada peningkatan P-tersedia seperti pada tanah tidak tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., M. J. Khan and D. Muhammad. 2013. Response of maize to different phosphorus levels under calcareous soil conditions. *Sarhad J. Agric.* 29:43-48.
- Amrizal, A. 2012. Effect of the organic fertilizers guano and tithonia (*Tithonia diversifolia*) on the growth and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt). *Tanaman Pangan*, 1:1-15.
- Atmojo, S. W. 2003. Peranan bahan organik terhadap kesuburan tanah dan upaya pengelolaannya. Sebelas Maret University Press: Surakarta.
- Budi, H. S., dan S. Sari. 2015. Ilmu dan implementasi kesuburan tanah. UMM press: Malang.
- Cahyono, R. 2007. Dampak limbah cair pt kertas basuki rachmat banyuwangi terhadap kesehatan masyarakat. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Semarang. [Indonesia].
- Effendi, B. 1983. Pendaftaran tanah di indonesia dan peraturan pelaksanaannya. Bandung: Alumni.
- Fernandez, F. G. and R. G. Hoeft. 2008. Managing soil pH and crop nutrients. *Illinois Agronomy*. [Serial Online]: <http://extension.cropsciences.illinois.edu/handbook/pdfs/chapter08.pdf>
- Gunawan, E., Arini dan M. A. Khoiri. 2014. Pengaruh pemberian pupuk kandang ayam dan berbagai dosis pupuk urea terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Faperta*, 1:1-12.
- Hafiz, N., S. M. Adity, S. F. Mitu and A. Rahman. 2016. Effect of manure type on phosphorus sorption characteristics of an agricultural soil in bangladesh. *Cogent Food & Agriculture*, 2:1-13.
- Irawan, A., Y. Jufri dan Zuraida. 2016. Pengaruh pemberian bahan organik terhadap perubahan sifat kimia andisol, pertumbuhan dan produksi gandum (*Triticum eastivum* L.). *Kawista*, 1:1-9.
- IPNI. 2017. 4T Hara tanaman: pedoman peningkatan manajemen hara tanaman, (T.W. Bruulsema, P.E.



- Fixen, G.D. Sulewski), Penang Malaysia: International Plant Nutrition Institute.
- Leyten, A. B., B. L. Turner, V. Raboy and K. L. Peterson. 2005. Linking manure properties to phosphorus solubility in calcareous soils: importance of the manure carbon to phosphorus ratio. *Soil Science Society America*, 69:1516-1524.
- Lindung. 2011. Kajian pemupukan fosfat terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.). BPP Jambi: Jambi
- Mao, X., W. Ren and H. Tran. 2015. Measurement of free lime content in lime mud. *Tappi*, 14:482-489.
- McCauley, A., C. Jones and J. Jacobsen. 2009. Nutrient management module: soil pH and organic matter. Montana State University: Bozeman.
- Modolo, R. C. E., L. Senff, J. A. Labrincha, V. M. Ferreira and L. A. C. Tarelho. 2014. Lime mud from cellulose industry as raw material in cement mortars. *Materiales de Construccion*, 64:1-9.
- Moradi, N., M. H. R. Sadaghiani, E. Sepehr and B. A. Mandoulakani. 2012. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils. *Turk J Agric*, 36:459-468.
- Naeem, A., M. Akhtar and W. Ahmad. 2013. Optimizing available phosphorus in calcareous soils fertilized with diammonium phosphate and phosphoric acid using freundlich adsorption isotherm. *The Scientific World*, 1:1-5.
- Pasta, I., A. Ette dan H. N. Barus. 2015. Tanggapan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* L. *Saccharata*) pada aplikasi berbagai pupuk organik. *Agrotekbis*, 3:168-177.
- Purba, S. T. Z., M. M. B. Damanik dan K. S. Lubis. 2017. Dampak pemberian pupuk tsp dan pupuk kandang ayam terhadap ketersediaan dan serapan fosfor serta pertumbuhan tanaman jagung pada tanah inceptisol kwala bekala. *Agroekoteknologi*, 5:638-643.
- Said, A. E. A. A., A. A. M. Aly and A. A. E. H. Ahmed. 2014 Utilization of lime mud as a filler in paper making. *AUJC*, 43:41-46.
- Saleh, M. E., E. H. El-Gamal, M. A. Kamh and A. F. Saad. 2015. Adsorption characteristics of phosphorus on calcite, Mg-calcite and calcareous soils: effect of dissolved organic carbon. *Alex J Agric Res*, 60:269-282.
- Saraswati, R. dan E. Husen. 2008. Prospek penggunaan pupuk hayati pada sawah bukaan baru. *Lahan Sawah Bukaan Baru*, 2:151-170.
- Scotti, R., G. Bonanomi, R. Scelza, A. Zoina and M. A. Rao. 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Soil Science and Plant Nutrition*, 15:333-352.
- Suliasih, S. Widawati dan A. Muharam. 2010. Aplikasi pupuk organik dan bakteri pelarut fosfat untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat dan aktivitas mikroba tanah. *Hort*, 20:241-246.
- Supriyadi, S. Hartati dan A. Aminudin. 2014. Kajian pemberian pupuk P, pupuk mikro dan pupuk organik terhadap serapan P dan hasil kedelai (*Glycine Max* L.) varietas kaba di inceptisol gunung gajah Klaten. *Ilmu-ilmu Pertanian*, 29:81-87.
- Tadalukdar, D. K. 2015. A study of paper mill lime sludge for stabilization of village road sub-base. *IJETAE*, 5:389-393.
- Tambunan, A. S., Fauzi dan H. Guchi. 2014. Efisiensi pemupukan P terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada tanah andisol dan ultisol. *Agroekoteknologi*, 2:414-426.
- Tamtomo, F., S. Rahayu dan A. Suyanto. 2015. Pengaruh aplikasi kompos jerami dan abu sekam padi terhadap produksi dan kadar pati ubi jalar. *Agrosains*, 12:1-7.
- Zulkifli dan Herman. 2012. Respon jagung manis (*zea mays saccharata* stut) terhadap dosis dan jenis pupuk organik. *Agroteknologi*, 2:33-36.