

PERTANIAN

PENGARUH PEMBERIAN PUPUK GUANO PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH PABRIK KERTAS TERHADAP POPULASI DAN AKTIVITAS MIKROBA TANAH

The Effect of Guano Fertilizer on Contaminated Soil by Waste of Paper Factory on the Population and Activity of Soil Microbial

Dwi Erwin Kusbianto, Tri Candra Setiawati*, Martinus H. Pandutama³⁾

Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 33, Jember 68121
E-mail : candra.setiawati@gmail.com

ABSTRACT

Attempts to meet the needs of raw materials for paper and pulp industry could not be depending on limited natural fibers. There was an innovation of utilizing used papers after undergoing deinking process. Deinking process produces solid waste such as sludge, biosludge, and pith. Biosludge in this research was used as a soil pollutant containing heavy metals Cd 7.05 mg/kg and Pb 15.45 mg/kg. Guano fertilizer as an organic material containing high phosphorus content is useful to reduce the pollution of paper factory waste. The research was to identify the interaction and impact of guano fertilizer and sludge waste pollution in the deinking process of paper factory on population and activity of soil microbes. The research was conducted using Randomized Block Design (RBD) (3x3) with 3 replications. Factor 1, biosludge, was given as contaminant in 3 kg Inceptisol soil as much as 0 kg/pot equivalent to 0 mg/kg Cd, 0.5 kg/pot equivalent to 1 mg/kg Cd, and 1.2 kg/pot equivalent to 2 mg/kg Cd. Factor 2, dose of guano, was given as much as 0 g/pot, 100 g/pot and 200 g/pot. The research results showed that there were no significant interaction between guano fertilizer and biosludge rate on the population and activity of soil microbes. Guano fertilizer on contaminated soil by paper factory waste proved to increase the population of phosphate solubilizing bacteria and cellulolytic bacteria, but gave non significant effect on the total population of bacteria and fungi. The application of Guano fertilizer on paper factory waste-contaminated soil could increase soil microbial activities by the increase of soil respiration, soil P-available, and C-organic content of soil.

Keywords: Deinking waste, Guano, Microbial, heavy metal.

ABSTRAK

Upaya untuk memenuhi kebutuhan bahan baku produksi industri kertas dan pulp tidak dapat bergantung pada serat alami yang terbatas ketersediaannya. Terdapat suatu inovasi berupa pemanfaatan kertas bekas dengan cara pemisahan antara tinta dengan serat yang terkandung dalam kertas melalui proses *deinking*. Proses *Deinking* menghasilkan limbah padat berupa *sludge*, *biosludge*, dan *pith*. *Biosludge* pada penelitian ini digunakan sebagai pencemar tanah yang mengandung logam berat Cd 7,05 mg/kg dan Pb 15,45 mg/kg. Pemberian pupuk guano sebagai bahan organik dengan kandungan fosfat tinggi berfungsi untuk mengurangi pencemaran limbah pabrik kertas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interaksi dan dampak dari pemberian pupuk guano dengan pencemaran limbah *sludge* pada proses *deinking* pabrik kertas terhadap populasi dan aktifitas mikroba tanah. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) (3x3) dengan 3 ulangan. Faktor 1 yakni *biosludge* yang diberikan sebagai pencemar pada 3 kg tanah inceptisol sebanyak 0 kg/pot setara dengan 0 mg/kg Cd, 0,5 kg/pot setara dengan 1 mg/kg Cd dan 1,2 kg/pot setara dengan 2 mg/kg Cd. Faktor 2 yakni dosis guano yang diberikan sebanyak 0 gr/pot, 100 gr/pot dan 200 gr/pot. Hasil analisis penelitian menunjukkan tidak adanya interaksi antara pemberian pupuk guano dan *biosludge* terhadap populasi dan aktivitas mikroba tanah. Pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas terbukti mampu meningkatkan populasi bakteri pelarut fosfat dan bakteri selulolitik, namun tidak demikian pada total populasi bakteri dan total populasi fungi. Pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas mampu meningkatkan aktivitas mikroba tanah dengan meningkatnya respirasi tanah, kandungan P-tersedia, dan kandungan C-organik tanah.

Kata kunci : Limbah *deinking*, Guano, Mikroba, Logam berat.

Kusbianto D. Erwin, Tri Candra Setiawati, Martinus H. Pandutama. 2014. Pengaruh Pemberian Pupuk Guano pada Tanah Tercemar Limbah Pabrik Kertas Terhadap Populasi dan Aktivitas Mikroba Tanah. *Berkala Ilmiah Pertanian* 1(1): xx-xx

PENDAHULUAN

Pabrik kertas di Indonesia memiliki jumlah yang tidak sedikit, tercatat oleh Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia (APKI) terdapat 83 pabrik kertas yang tersebar diseluruh Indonesia. Wilayah terbanyak ditemukan pabrik kertas berada di pulau Jawa yaitu mencapai 68 yang sebagian besar berada di Jawa Timur, Jawa Barat, dan DKI Jakarta. Perusahaan-perusahaan kertas tersebut menghasilkan produk berupa tisu, berbagai macam kertas, serta produk-produk dari serat lainnya. Selain menghasilkan produk yang berguna, tentunya pabrik kertas juga menghasilkan limbah. Dalam memenuhi kebutuhan bahan baku selama produksi, perusahaan pabrik kertas tidak bisa hanya menggunakan serat-serat alami dari alam. Upaya memenuhi kebutuhan bahan baku ini menghasilkan inovasi berupa Perusahaan-perusahaan kertas

tersebut menghasilkan produk berupa tisu, berbagai macam kertas, serta produk-produk dari serat lainnya. Selain menghasilkan produk yang berguna, tentunya pabrik kertas juga menghasilkan limbah. Dalam memenuhi kebutuhan bahan baku selama produksi, perusahaan pabrik kertas tidak bisa hanya menggunakan serat-serat alami dari alam. Upaya memenuhi kebutuhan bahan baku ini menghasilkan inovasi berupa pemanfaatan kertas bekas dengan cara pemisahan antara tinta dengan serat yang terkandung dalam kertas, proses pemisahan ini dikenal dengan proses *deinking*. Proses *deinking* selain berupa inovasi yang berguna namun menghasilkan limbah-limbah yang kemudian berdampak buruk pada lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik kertas ini dapat berupa cair, padat serta gas. Limbah padat pabrik kertas dapat berupa *sludge*, *pith*, dan

biosludge. *Sludge* merupakan limbah padat pabrik berasal dari pengendapan IPAL yang terdiri dari 90% padatan dan 10% cair.

Menurut Fauzi dan Ferry (2008), produksi limbah *sludge* pada pengolahan limbah industri kertas PT. Adiprima mencapai 350 ton/hari. Limbah yang dihasilkan dari proses produksi ini secara lingkungan kurang baik karena mempengaruhi kualitas air, udara serta kesuburan tanah setempat. Pith adalah limbah dari proses pemisahan secara mekanik antara bahan serat yang merupakan bahan baku pulp dan bahan non serat. *Biosludge* merupakan hasil samping dari pengendapan air limbah, yaitu dengan pemberian mikroorganisme pada limbah sebelum dialirkan dengan tujuan untuk menurunkan tingkat pencemaran limbah. Pencemaran oleh limbah pabrik kertas pada proses *deinking* ini berdampak buruk terhadap lingkungan tanah dengan adanya logam-logam berat yang dikandungnya. Logam berat akan berpengaruh pada keberadaan mikroba dalam tanah secara langsung maupun tidak langsung. Mikroba dalam tanah memiliki ketahanan yang berbeda-beda terhadap logam berat, hal ini dipengaruhi oleh mekanisme yang dimiliki masing-masing mikroba untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang tercemar. Pengaruh logam pada mikroba dapat terlihat dari beberapa fase hidupnya. Pada fungi, terlihat pada pembentukan miselium serta perkecambahan spora. Sedangkan pada bakteri dapat dilihat dari aktivitasnya berupa penurunan dan perpanjangan laju pertumbuhan koloninya (Sutedjo, Kartasapoetra dan Sastroadmojo, 1991). Logam berat dapat berperan sebagai anti mikroba yang dapat mempresipitaskan enzim-enzim protein ensial dalam sel. Daya anti mikroba dari logam berat pada konsentrasi kecil saja dapat membunuh mikroba yang dinamakan daya oligodinamik (Waluyo, 2004). Sedangkan pada bakteri ion dari logam berat dalam konsentrasi rendah dapat meracuni bakteri.

Logam berat yang mencemari tanah berpotensi dalam proses degradasi kesuburan tanah. Apabila kesuburan tanah menurun, tentunya secara biologi akan berpengaruh pada keberadaan mikroba tanah. Setelah tanah tercemar populasi mikroba tanah akan berkurang, aktivitas mikroba akan terganggu, serta populasi mikroba spesifik mikroba akan menurun. Menurut Pujiastuti (2006), konsentrasi logam berat yang tinggi mampu mempengaruhi aktifitas mikroorganisme, sehingga biomassa mikroba, ATP-tanah, aktivitas dehidrogenase tanah, nitrifikasidan fiksasi N heterotrofik lebih rendah pada tanah tercemar logam berat, selain itu penambahan Cu, Ni, Zn, dan Cd pada media tanam berpengaruh terhadap perubahan respirasi tanah dengan penurunan evolusi C-CO₂ sebanyak 30 %. Pemberian logam Cd dapat menekan respirasi mikroorganisme, menghambat aktivitas enzim, fosforilasi oksidatif, dan laju fotosintesa. Dampak limbah padat pabrik kertas terhadap mikroba tanah ini perlu diperbaiki atau diminimalkan salah satunya dengan menggunakan pupuk guano. Pupuk guano termasuk dalam pupuk organik yang diperoleh dari kotoran kelelawar dan burung liar yang menempel pada dinding gua (Widiyanti dan Maya, 2009). Menurut Isrun (2009) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pupuk guano pada setiap peningkatan taraf pupuk P secara nyata mampu meningkatkan kandungan P-tersedia tanah. Guano yang berada lama dalam jaringan tanah dapat meningkatkan produktivitas tanah dan menyediakan makanan bagi tanaman lebih lama dibandingkan pada pupuk kimia buatan (Kristanto, 2009). Pemberian pupuk guano merupakan salah satu teknik untuk mengurangi pencemaran limbah dengan cara mengkhelat logam-logam berat yang terdapat pada tanah yang tercemar limbah pabrik kertas. Bahan organik dari pupuk guano ini yang diharapkan dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba pada tanah yang tercemar limbah padat pabrik kertas.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui interaksi antara dosis pemberian pupuk guano dan konsentrasi pencemaran limbah

pabrik kertas, serta mengetahui populasi dan aktivitas mikroba tanah pada tanah tercemar limbah pabrik kertas setelah dilakukan pemupuan dengan menggunakan pupuk guano.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biologi Tanah, Laboratorium Kesuburan Tanah dan lahan Agrotechnopark – Fakultas Pertanian – Universitas Jember pada bulan Oktober 2013- Maret 2014. Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu tahap pertama adalah tahap analisis pendahuluan atau H0 (analisis kimia tanah dan populasi mikroba pada tanah, guano, dan limbah sebelum diperlakukan). Tahap kedua adalah tahap aplikasi pupuk guano pada tanah tercemar limbah *sludge* pabrik kertas pada proses *deinking* serta penanaman tanaman sawi sebagai zona perakaran tempat pengambilan sampel. Tahap yang ketiga adalah tahap analisis hasil penelitian.

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan dua faktorial 3x3 dengan pola dasar Rancangan Acak Kelompok (RAK) yaitu antara konsentrasi limbah pabrik kertas dan dosis pupuk guano, masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali ulangan. Faktor pertama adalah dosis limbah pabrik kertas (L), terdiri atas 3 taraf yaitu: L1: Dosis 0 mg/kg, L2: Dosis 1 mg/kg dan L3: Dosis 2 mg/kg. Faktor kedua adalah dosis pupuk guano (G), terdiri atas 3 taraf yaitu G1: Dosis 0 gram/pot, G2: Dosis 100 gram/pot dan G3: Dosis 200 gram/pot.

Tanah yang digunakan sebanyak 3 kg (tiap pot percobaan) x 54 pot percobaan (hasil dari masing – masing kombinasi diulang sebanyak 3 kali dan 2 kali pengambilan sampel). Sebelum digunakan, tanah dikering anginkan lalu disiram hingga kapasitas lapang. Tanah tercemar limbah pabrik kertas dibuat dengan mencampurkan tanah inceptisol (tidak tercemar) dengan pencemar berupa limbah *sludge* pada proses *deinking* limbah pabrik kertas. Media tanam dengan pencemaran limbah 1 dan 2 mg/kg dibuat dengan menggunakan acuan kandungan logam Cd dalam limbah yaitu berkisar 7,05 mg/kg. Limbah dicampur dengan tanah dengan tujuan untuk mengurangi kandungan logam Cd dalam limbah menjadi 1 mg/kg dan 2 mg/kg. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk mendapatkan tingkat pencemaran logam Cd yang mencapai 1 mg/kg dibutuhkan 0,5 kg/pot limbah, sedangkan untuk mendapatkan konsentrasi 2 mg/kg dengan memberikan limbah 1,2 kg/pot. Kemudian dilakukan pemberian pupuk guano pada media dengan dosis 0 gr/pot, 100 gr/pot, dan 200 gr/pot, sesuai dengan perlakuan. Tanah inceptisol, pupuk guano, dan limbah pabrik kertas pada pot percobaan diinkubasi selama 2 minggu. Selanjutnya dilakukan *transplanting* bahan tanam yaitu sawi hijau (*Brassica juncea*) pada media. Bibit tanaman sawi yang digunakan ditanam dengan sistem pembibitan sosis dengan umur pembibitan 12 hari. Pengambilan sampel tanah dilakukan 2 kali yaitu pada 15 hst dan 30 hst sesuai ketentuan variabel pengamatan.

Analisis populasi mikroba meliputi total bakteri dan total fungi serta mikroba spesifik yang meliputi jumlah populasi bakteri pelarut fosfat dan jumlah populasi bakteri selulolitik dengan metode *plate count* (Saraswati, 2007). Analisis aktifitas mikroba melalui uji respirasi tanah dengan metode *verstraete* (Saraswati, 2007), serta secara tidak langsung berhubungan pada sifat kimia tanah dengan analisis P-tersedia dengan metode *olsen*, C-organik metode *kurmis*, dan pH tanah dengan pH meter (Agus, 2005). Terdapat 2 variabel pengamatan untuk analisis populasi bakteri, fungi dan respirasi tanah, yaitu dilakukan pada 15 hst dan 30 hst. Analisis jumlah populasi bakteri pelarut fosfat dan bakteri selulolitik dilakukan pada 30 hst. Analisis kimia tanah meliputi P-tersedia, C-organik, dan pH tanah dilakukan hanya pada 30 hst.

HASIL

Analisis pendahuluan dan analisis hasil pada 30 Hst yang telah dilakukan pada awal penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Analisis pendahuluan digunakan sebagai pembandingan dalam penelitian ini untuk penentuan dosis selanjutnya digunakan sebagai pembandingan dengan hasil analisis penelitian.

Tabel 1. Hasil Analisis pendahuluan tanah, guano dan limbah.

Parameter	Tanah	Guano	Limbah	Ambang Batas
Analisis Cd (mg/kg)	0,55 (Tinggi)	0,55 (Tinggi)	7,05 (sangat tinggi)	0,08 ⁽¹⁾
Analisis Pb (mg/kg)	3,05 (Rendah)	0,75 (Sangat rendah)	15,45 (Tinggi)	14 ⁽²⁾
Analisis P-Tersedia (mg/kg) ⁽³⁾	12,22 (Rendah)	3,94 (Sangat rendah)	0,046 (Sangat rendah)	-
Analisis C-Organik (%) ⁽³⁾	2,33 (Rendah)	13,62 (Sangat Tinggi)	12,83 (Sangat Tinggi)	-
Analisis pH tanah ⁽³⁾	6,53 (Netral)	3,94 (Masam)	6,7 (Netral)	-
Analisis populasi mikroba :				
· Total bakteri (x10 ³ cfu/gr)	109,3	88,7	47,8	-
· Total fungi (x10 ² cfu/gr)	16,22	14,39	19,26	-
· Populasi bakteri pelarut fosfat (x10 ⁴ cfu/gr)	12,02	12,76	10,53	-
· Populasi bakteri selulolitik (x10 ⁴ cfu/gr)	7,02	6,01	8,92	-
Analisis aktifitas mikroba (gr/hr)	17,82	24	20,22	-

Keterangan :

1. Menurut AMEG (Ambient Multimedia Environmental Goal), USA dalam Notodarmojo, 2005
2. Menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 1995.
3. Penentuan kelas menurut Reconnaissance Land Resource Surveys 1:250,000 scale Atlas Format Procedures, 1983.

Tabel 2. Rangkuman hasil f-hitung dan notasi berbagai parameter penelitian

Parameter Pengamatan	Sumber Keragaman		
	Dosis Guano (G)	Konsentrasi Limbah (L)	Interaksi (GXL)
Total Bakteri	0,23 ns	0,54 ns	0,33 ns
Total Fungi	2,58 ns	7,25 **	0,53 ns
Populasi Bakteri Pelarut Fosfat	4,12 *	1,43 ns	0,70 ns
Populasi Bakteri Selulolitik	6,01 *	2,18 ns	1,91 ns
Respirasi Tanah	5,22 *	7,61 **	1,71 ns
C-Organik	29,9 **	1,38 ns	0,92 ns
P-Tersedia	5,61 *	0,07 ns	0,18 ns
pH	8,96 **	34,37 **	1,23 ns

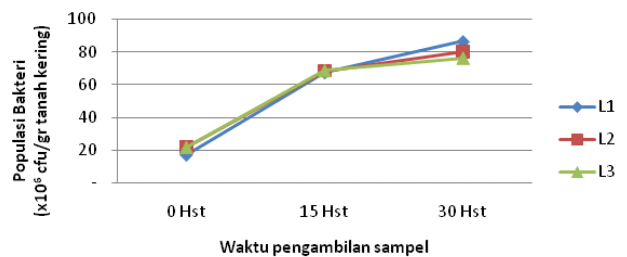
Keterangan: * = berbeda nyata, ** = berbeda sangat nyata dan ns = berbeda tidak nyata.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tidak adanya interaksi antara faktor perlakuan dosis guano dengan faktor perlakuan konsentrasi limbah terhadap semua parameter penelitian sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat adanya ketergantungan dalam faktor perlakuan dosis guano terhadap faktor perlakuan konsentrasi limbah begitupun sebaliknya. Walaupun pada masing-masing faktor

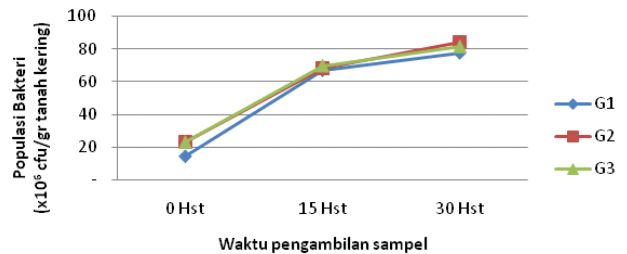
perlakuan akan berpengaruh terhadap media tanam yang diperlakukan.

Masing-masing faktor perlakuan menunjukkan pengaruh terhadap beberapa parameter penelitian. Faktor dosis guano memberikan pengaruh berbeda nyata pada parameter populasi bakteri pelarut fosfat, populasi bakteri selulolitik, respirasi tanah dan p-tersedia. Bahkan pada parameter kandungan C-Organik dan pH tanah perlakuan pemberian pupuk guano menunjukkan pengaruh yang berbeda sangat nyata. Sedangkan faktor konsentrasi limbah yang di cemarkan pada tanah tidak menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada parameter total bakteri, populasi bakteri pelarut fosfat, populasi bakteri selulolitik, kandungan C-organik dan kandungan P-tersedia tanah. Namun, parameter total fungi, respirasi tanah, dan pH tanah pada perlakuan konsentrasi limbah menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata.

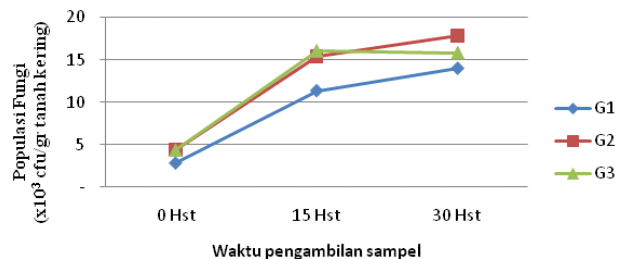
Pengamatan yang telah dilakukan menghasilkan populasi mikroba pada 0 HST, 15 HST dan 30 HST dengan parameter total populasi bakteri dan total populasi fungi (Grafik 1, grafik 2, grafik 3, grafik 4). Sedangkan aktifitas mikroorganisme tanah pada 0 HST, 15 HST, 30 HST dengan parameter respirasi tanah disajikan pada grafik 5 dan grafik 6.



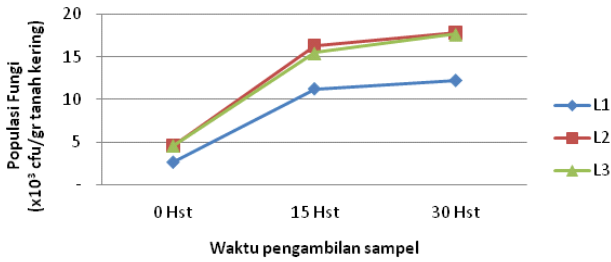
Gambar 1. Grafik peningkatan populasi bakteri pada konsentrasi limbah yang berbeda



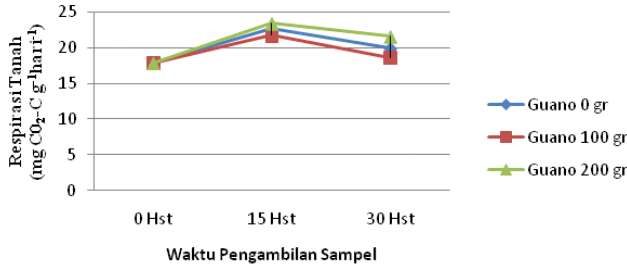
Gambar 2. Grafik peningkatan populasi bakteri pada dosis guano yang berbeda



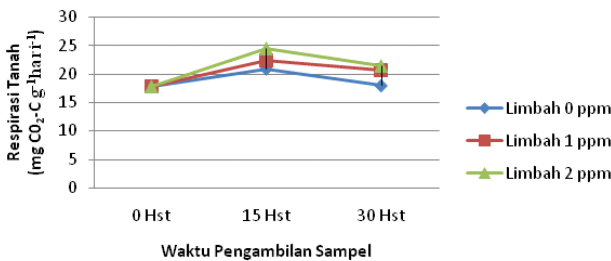
Gambar 3. Grafik peningkatan populasi fungi pada konsentrasi limbah yang berbeda



Gambar 4. Grafik peningkatan populasi fungi pada dosis guano yang berbeda

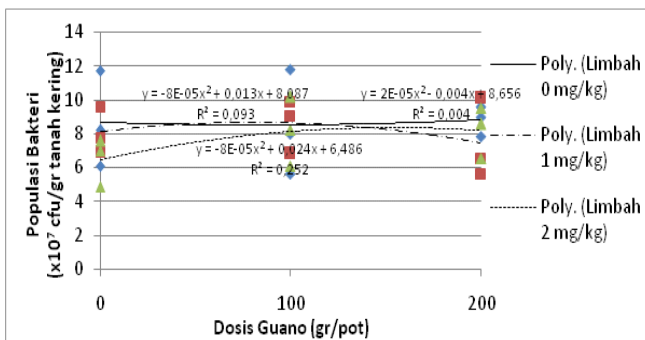


Gambar 5. Laju respirasi tanah pada dosis guano yang berbeda

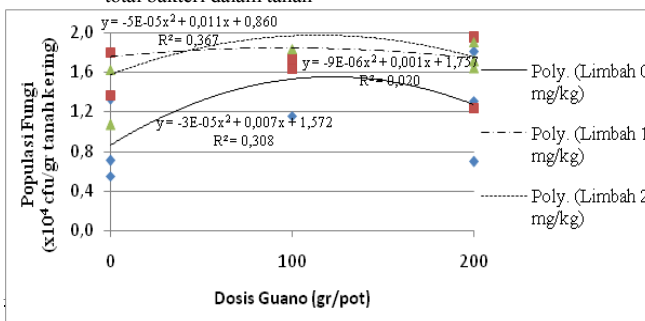


Gambar 6. Laju respirasi tanah pada konsentrasi limbah yang berbeda

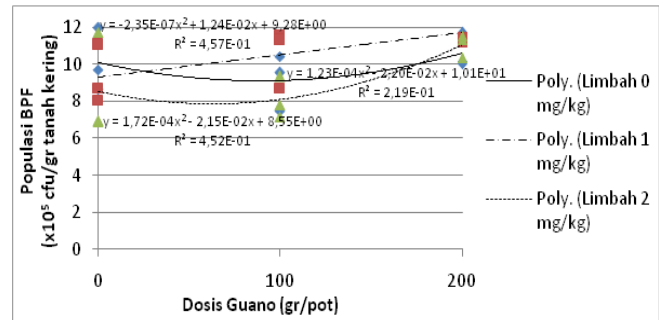
Hubungan pemberian pupuk guano dan pencemaran limbah pabrik kertas terhadap parameter seperti total bakteri (Gambar 7), total fungi (Gambar 8), populasi BPF (Gambar 9), populasi bakteri selulolitik (Gambar 10), respirasi tanah (Gambar 11), kandungan P-tersedia (Gambar 12), kandungan C-organik (Gambar 13), dan pH tanah (Gambar 14). Selain itu juga dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji duncan dengan taraf kepercayaan 5% pada beberapa parameter sebagai berikut :



Gambar 7. Hubungan pemberian guano dengan pencemaran limbah terhadap total bakteri dalam tanah



Gambar 8. Hubungan pemberian guano dengan pencemaran limbah terhadap total fungi dalam tanah



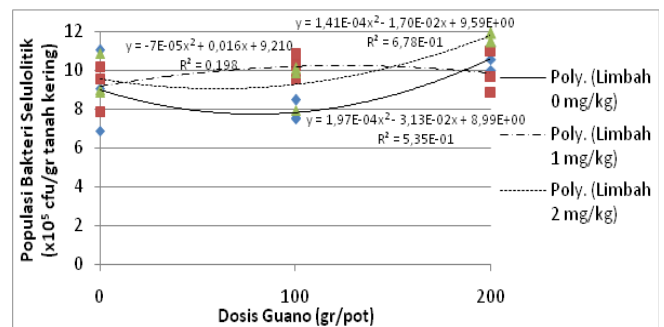
Gambar 9. Hubungan pemberian guano dengan pencemaran limbah terhadap populasi bakteri pelarut fosfat

Tabel 3. Hasil Uji DMRT pada Parameter Populasi Bakteri Pelarut Fosfat

Dosis Guano	Konsentrasi Limbah		
	L1	L2	L3
G1	10,12 a/A	9,28 a/A	8,54 a/AB
G2	9,15 a/A	10,52 a/A	8,10 a/A
G3	10,64 a/A	11,75 a/A	11,09 a/B

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal



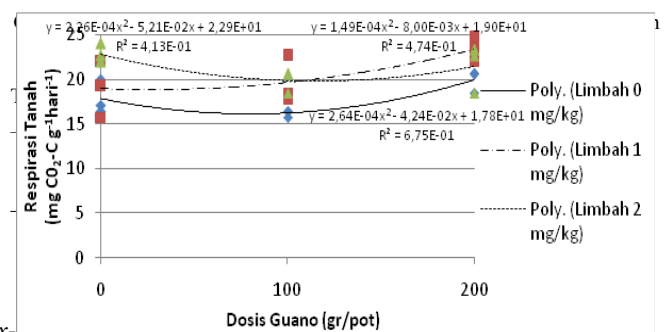
Gambar 10. Hubungan pemberian guano dengan pencemaran limbah terhadap populasi bakteri selulolitik

Tabel 4. Hasil Uji DMRT pada Parameter Populasi Bakteri Selulolitik

Dosis Guano	Konsentrasi Limbah		
	L1	L2	L3
G1	8,99 a/AB	9,21 a/AB	9,59 a/AB
G2	7,83 a/A	10,18 b/A	9,30 ab/A
G3	10,60 a/B	9,85 a/B	11,83 a/B

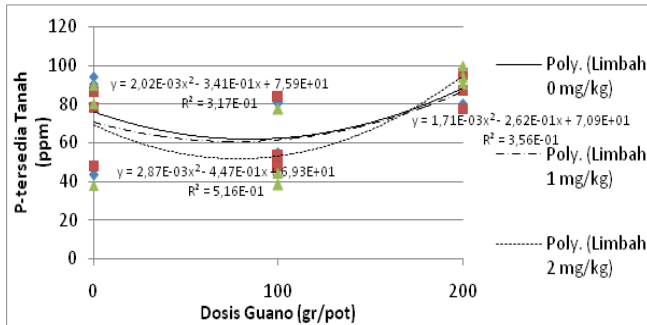
*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal



G2	16,22 a/A	19,65 b/A	19,90 b/A
G3	19,90 a/B	23,31 a/B	21,48 a/A

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%
 *Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal

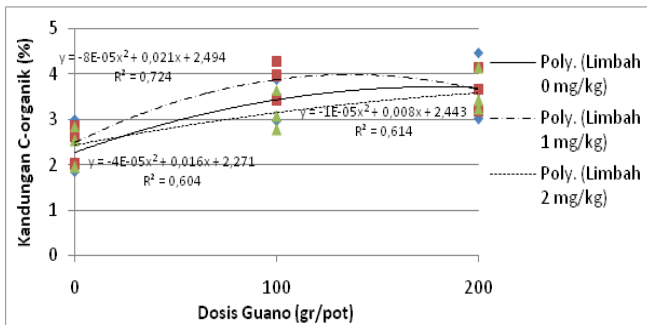


Gambar 12. Hubungan pemberian guano dengan pencemaran limbah terhadap kandungan P-tersedia tanah.

Tabel 6. Hasil Uji DMRT pada Parameter P-tersedia Tanah

Dosis Guano	Konsentrasi Limbah		
	L1	L2	L3
G1	75,91 a/A	70,85 a/A	69,32 a/B
G2	62,03 a/A	61,73 a/A	53,3 a/A
G3	88,55 a/A	86,76 a/A	94,72 a/B

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%
 *Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal

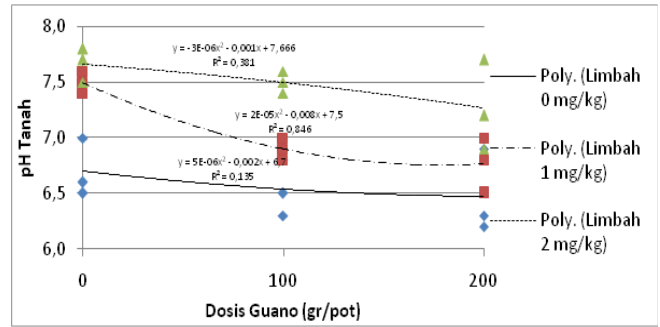


Gambar 13. Hubungan pemberian guano dan pencemaran limbah terhadap kandungan C-organik tanah

Tabel 7. Hasil Uji DMRT pada Parameter Kandungan C-organik Tanah

Dosis Guano	Konsentrasi Limbah		
	L1	L2	L3
G1	2,27 a/A	2,49 a/A	2,44 a/A
G2	3,43 ab/B	3,87 b/B	3,15 a/B
G3	3,70 a/B	3,66 a/B	3,59 a/B

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%
 *Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal



Gambar 14. Hubungan pemberian guano dan pencemaran limbah terhadap pH tanah

Tabel 8. Hasil Uji DMRT pada Parameter pH Tanah

Dosis Guano	Konsentrasi Limbah		
	L1	L2	L3
G1	6,7 a/A	7,5 b/B	7,6 b/A
G2	6,5 a/A	6,9 a/A	7,5 b/A
G3	6,5 a/A	6,7 a/A	7,3 b/A

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%
 *Huruf kapital untuk pembacaan secara vertikal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara horizontal

PEMBAHASAN

Pengaruh perlakuan konsentrasi limbah pada tanah Inceptisol yang ditanami dengan tanaman sawi (*Brassica Juncea*) sebagai tanaman indikator menghasilkan data populasi bakteri pada 0 Hst, 15 Hst, dan 30 Hst (Gambar 1). Gambar 1 menggambarkan peningkatan total populasi bakteri pada saat 0 Hst yaitu sebelum dilakukannya penanaman tanaman sawi hingga berumur 30 Hst. Peningkatan total populasi bakteri secara signifikan terjadi pada 0 Hst ke 15 Hst, kemudian populasi bakteri terus meningkat hingga 30 Hst. Perlakuan pencemaran limbah dengan 3 taraf pencemaran terlihat pengaruhnya pada peningkatan jumlah total populasi bakteri pada 15 Hst menuju 30 Hst. Perlakuan tanpa limbah (L1) memiliki peningkatan jumlah populasi tertinggi kemudian diikuti dengan konsentrasi limbah 1 mg/kg (L2), dan yang terakhir limbah dengan konsentrasi 2 mg/kg (L3).

Pemberian dosis guano yang berbeda pada tanah Inceptisol yang tercemar limbah pabrik kertas memberikan pengaruh tidak berbeda nyata untuk parameter total populasi bakteri (30 Hst) dalam analisis sidik ragam. Gambar 2. menunjukkan laju peningkatan populasi bakteri pada 0 Hst, 15 Hst dan 30 Hst. Peningkatan drastis pada 0 hingga 15 Hst disebabkan oleh perubahan lingkungan tanah yang mulanya non rhizosfer menjadi rhizosfer tanaman sawi.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa tidak adanya interaksi antara pemberian pupuk guano dengan pencemaran limbah terhadap populasi bakteri. Pemberian pupuk guano dengan tiga taraf berbeda juga belum mampu menunjukkan perbedaan yang nyata pada parameter total populasi bakteri tanah. Perlakuan pencemaran limbah dengan 3 konsentrasi juga menghasilkan total populasi mikroba yang tidak berbeda nyata. Persamaan grafik pada Gambar 7 memiliki nilai koefisien determinasi yang sangat kecil sehingga sebaran datanya terlalu bias. Hasil yang tidak berbeda nyata untuk parameter total populasi bakteri disebabkan oleh media yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari satu lokasi serta tanaman yang digunakan masing-masing sama yaitu menggunakan tanaman sawi sebagai *rhizosfer*. Jumlah populasi mikroba pada *rhizosfer* tanaman yang sama memungkinkan sebaran mikroba tidak jauh beda antara satu unit percobaan

dengan lainnya. Jumlah populasi bakteri yang beragam dan fluktuatif disebabkan karena adanya pengaruh faktor eksternal, hal ini sesuai dengan pendapat Setiadi (1989) dalam Widawati dan Suliasih (2006) yang menyatakan bahwa mikroba disekitar tanah jumlah populasinya tergantung kepada kepekaan mikroba itu sendiri, kesuburan tanah, kelembaban, dan intensitas cahaya, serta temperatur tanah.

Hasil penelitian pada perlakuan pencemaran limbah pada konsentrasi 0 mg/kg, 1 mg/kg dan 2 mg/kg terhadap total populasi fungi cenderung meningkat dengan semakin bertambahnya waktu penanaman tanaman sawi (*Brassica juncea*). Gambar 3 dapat diketahui bahwa pencemaran limbah dengan konsentrasi 1 mg/kg (L2) memiliki peningkatan populasi yang lebih besar dibandingkan taraf perlakuan yang lain diikuti dengan konsentrasi limbah 2 mg/kg (L3) dan peningkatan terendah pada taraf perlakuan tanpa pemberian limbah (L1). Besarnya jumlah populasi fungi pada perlakuan konsentrasi limbah 1 mg/kg dan 2 mg/kg diduga karena bahan limbah yang digunakan sebagai bahan penelitian sudah ditumbuhi oleh materi fungi yang terlihat secara visual di lapang.

Total populasi fungi pada faktor dosis guano mengalami peningkatan mulai 0 Hst hingga 15 Hst, populasi tertinggi pada pemberian guano 200 gr/pot. Pengamatan pada 30 Hst terjadi penurunan pada perlakuan pemberian dosis guano 200 gram/pot (G3). Penurunan populasi fungi pada perlakuan pemberian guano taraf 200 gr/pot disebabkan oleh logam berat pada guano. Selain logam berat yang terkandung pada limbah, guano ternyata mengandung logam berat hingga 0,55 mg/kg. Namun, hal ini tidak terjadi pada taraf perlakuan lainnya yang cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu penanaman sawi (*Brassica juncea*).

Garis kuadrat yang terdapat pada Gambar 8 masih belum dapat dikatakan mewakili data dikarenakan nilai koefisien determinasi masing-masing persamaan garis tidak lebih dari 0,5, artinya masih terdapat lebih dari 50% data tidak terwakili dengan keberadaan garis tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 8 bahwa pengaruh pemberian guano dan limbah mampu meningkatkan jumlah koloni fungi bila dibandingkan dengan kontrol. Hal ini disebabkan pupuk guano dan limbah merupakan bahan dengan kandungan C-organik yang tinggi, sedangkan fungi merupakan mikroorganisme heterotrof yang membutuhkan substrat sebagai kebutuhan utama untuk hidup.

Pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas selain sebagai usaha mengurangi dampak pencemaran logam berat pada limbah, juga diharapkan memberikan unsur fosfat (P) pada media tanam. Sedangkan P-tersedia yang dikehendaki membutuhkan bantuan mikroba pelarut fosfat. Perlakuan guano pada analisis sidik ragam menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada parameter populasi bakteri pelarut fosfat. Populasi bakteri pelarut fosfat meningkat seiring dengan pemberian dosis guano 200 gram/pot (G3), yaitu mencapai $10,62 \times 10^5$ cfu/gr pada 0 mg/kg limbah, $11,75 \times 10^5$ cfu/gr pada 1 mg/kg limbah, dan $11,13 \times 10^5$ cfu/gr pada 2 mg/kg limbah. Namun garis persamaan kuadrat yang dihasilkan Gambar 9 menunjukkan nilai determinasi yang kecil ($< 0,5$), hal ini menunjukkan bahwa kurang dari 50% data dapat diwakili dengan persamaan garis pada grafik tersebut, sehingga pembacaan nilai masih terlalu bias untuk disimpulkan.

Hasil uji lanjut dengan menggunakan DMRT menunjukkan bahwa pengaruh guano berbeda tidak nyata pada dosis guano 200 gr/pot dengan pencemaran limbah 2 mg/kg. Hasil yang berbeda nyata terdapat pada dosis 200 gr/pot bila dibandingkan dengan dosis 100gr/pot. Sedangkan pengaruh pencemaran limbah menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata untuk taraf pencemaran berbeda dengan beberapa pemberian dosis guano. Pengaruh guano pada populasi BPF disebabkan oleh guano

merupakan pupuk organik dengan kandungan fosfat tinggi yang mampu memacu pertumbuhan BPF pada media tanam.

Guano merupakan pupuk organik yang diharapkan sebagai menyuplai agen dekomposer, salah satunya mikroba selulolitik. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa populasi bakteri selulolitik meningkat seiring dengan pemberian pupuk guano dengan pencemaran limbah pada taraf 0 mg/kg ($10,61 \times 10^5$ cfu/gr) dan pencemaran limbah pada taraf dan 2 mg/kg ($11,83 \times 10^5$ cfu/gr). Sedangkan pada taraf pencemaran 1 mg/kg dosis guano 100 gr/pot merupakan dosis yang optimal untuk parameter populasi BPF. Pemberian bahan organik menyebabkan mikroorganisme tanah saling berinteraksi dengan kebutuhannya akan bahan organik yang menyuplai karbon sebagai sumber energi untuk tumbuh (Ansori, 2005). Pengaruh pemberian pupuk guano berbeda nyata pada dosis 100 gr/pot dengan pencemaran 1 mg/kg limbah. Sedangkan untuk perlakuan pencemaran limbah menunjukkan hasil berbeda tidak nyata pada semua taraf.

Besarnya konsentrasi CO₂ didalam tanah dipengaruhi oleh tingginya aktivitas mikroorganisme didalam tanah, produksi CO₂ yang tinggi berarti aktivitas mikroorganisme tanah juga tinggi dan hal ini membantu tanah untuk tetap subur (Ardi, 2009). Gambar 5 menunjukkan bahwa semua perlakuan pada faktor dosis guano, jumlah produksi CO₂ (respirasi) mikroorganisme tanah mengalami peningkatan pada umur 15 hst dan selanjutnya terjadi penurunan pada umur 30 hst (Gambar 5). Dilihat dari faktor perlakuan konsentrasi limbah, terjadi peningkatan jumlah produksi CO₂ pada umur 15 hst dan selanjutnya terjadi penurunan pada umur 30 hst (Gambar 6).

Peningkatan respirasi tanah disebabkan oleh pemberian pupuk urea sebagai starter mampu meningkatkan aktivitas mikroba tanah. Pupuk urea sebagai penyuplai unsur N merupakan pupuk dengan karakteristik *fast release* yang dapat dimanfaatkan oleh mikroba tanah. Sehingga aktivitas mikroba mampu meningkat pada 15 HST. Sedangkan penurunan aktivitas mikroba disebabkan oleh adanya logam berat pada limbah yang mulai berinteraksi dengan mikroba tanah. Interaksi antara mikroba dengan logam berat membuat mikroba mati karena daya anti mikroba oleh logam ataupun plasmolisis saat konsentrasi limbah terlalu pekat. Pemberian guano pada dosis 200 gr/pot lebih optimal pada pencemaran limbah 0 mg/kg ($19,88 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{hari}^{-1}$) dan 1 mg/kg ($23,36 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{hari}^{-1}$), namun tidak demikian pada pencemaran limbah 2 mg/kg ($21,52 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{hari}^{-1}$). Pemberian guano mampu meningkatkan aktifitas mikroba tanah, hal ini dapat dilihat dari hasil uji lanjut yang menunjukkan bahwa pada pencemaran limbah 1 mg/kg pemberian guano pada dosis 200 gr/pot memiliki notasi yang berbeda nyata (Tabel 5). Perlakuan pencemaran limbah pada tanah juga memiliki hasil yang berbeda nyata pada pencemaran 2 mg/kg limbah dengan dosis 200 gr/pot serta pencemaran 1 mg/kg dan 2 mg/gr dengan dosis 1 gr/pot, hal ini diduga pada limbah mengandung materi fungi yang terlihat dilapang sehingga aktivitas mikrobanya tinggi.

Hasil penelitian ini pada parameter kandungan fosfat menunjukkan bahwa pemberian guano pada dosis tertentu mampu meningkatkan P tersedia tanah, namun pencemaran limbah tidak begitu mempengaruhi kandungan P tersedia. Pemberian dosis guano 200 gram/pot merupakan dosis optimal untuk meningkatkan P tersedia dalam tanah. dapat meningkatkan P tersedia dalam tanah. Hasil ini sesuai dengan penelitian Fitriatin, Joy dan Subroto (2009) yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan ketersediaan P didalam tanah sejalan dengan pemberian pupuk fosfat serta peningkatan dosis P hingga taraf optimum. Setelah dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji DMRT taraf kepercayaan 5% menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada faktor perlakuan pencemaran limbah (Tabel 6). Pemberian guano 200 gr/pot menunjukkan hasil yang berbeda

tidak nyata pada kontrol dan berbeda nyata bila dibandingkan guano 100 gr/pot dengan pencemaran limbah 2 mg/kg.

Gambar 11, menunjukkan suatu model kuadratik dimana terdapat hubungan antara perlakuan dosis guano dengan pencemaran limbah terhadap kandungan C-organik tanah. Garis parabola horizontal pada grafik menunjukkan model kuadratik dengan koefisien determinasi lebih dari 0,6, yang berarti lebih dari 60% data dapat digambarkan oleh garis. Gambar 11 menunjukkan bahwa peningkatan dosis guano yang diberikan diikuti dengan peningkatan kandungan C-organik dalam tanah. Peningkatan kandungan C-Organik pada media tanam ini dikarenakan guano merupakan bahan organik yang memiliki kandungan C-organik cukup tinggi. Menurut Alexander (1977) dalam Ardi (2009) populasi mikroba dan aktivitas mikroba tanah dipengaruhi oleh bahan organik, kelembaban, aerasi dan sumber energi.

Uji lanjut dengan menggunakan uji DMRT menunjukkan bahwa pemberian pupuk guano dengan dosis 100 gr/pot dan 200 gr/pot berbeda nyata untuk mberbagai taraf pencemaran (Tabel 7). Sedangkan pencemaran limbah tidak menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata untuk semua taraf pencemaran dengan pemberian dosis guano yang berbeda. Hasil ini dikarenakan pupuk guano merupakan pupuk organik yang sengaja diberikan dengan tujuan untuk mengurangi tingkat pencemaran limbah dalam tanah sehingga memiliki kandungan C-organik tinggi sebagai makanan mikroba tanah atau sebagai gugus karbon dalam proses pengkkelatan logam oleh asam-asam organik.

Segala proses biokimia yang terjadi pada tanah selalu berhubungan dengan pH tanah. Hasil analisis pH tanah ditunjukkan pada Gambar 14. Garis kuadratik pada grafik memiliki nilai koefisien determinasi yang cukup besar pada perlakuan limbah 1 mg/kg, namun memiliki koefisien determinasi yang kecil untuk perlakuan pencemaran limbah 0 mg/kg dan 2 mg/kg. Gambar 14 menunjukkan pemberian guano akan menurunkan pH. Semakin tinggi dosis guano yang diberikan, maka pH tanah semakin rendah.

Perlakuan pencemaran limbah menghasilkan media dengan rentang yang cukup luas yaitu 6,5 hingga 7,5. Pemberian limbah pada tanah terbukti mampu meningkatkan pH tanah (Gambar 14). Semakin besar pemberian limbah pada media (tanah) maka semakin tinggi nilai pH media tanam. Pernyataan ini diperkuat dengan hasil uji lanjut yang menunjukkan bahwa pencemaran limbah memperlihatkan hasil yang berbeda nyata pada tiap taraf guano (Tabel 8). Sedangkan pemberian guano mampu menurunkan pH tanah dengan adanya notasi berbeda nyata pada pemberian guano 100 gr/pot dan 200 gr/pot dengan pencemaran taraf 1 mg/kg (Tabel 8). Penurunan pH disebabkan proses pengkkelatan logam berat oleh guano yang membebaskan kation H^+ dalam larutan tanah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada interaksi antara pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas terhadap populasi dan aktivitas mikroba tanah. Pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas terbukti mampu meningkatkan populasi bakteri pelarut fosfat dan bakteri selulolitik, namun tidak demikian pada total populasi bakteri dan fungi. Pemberian pupuk guano pada tanah tercemar limbah pabrik kertas mampu meningkatkan aktivitas mikroba tanah dengan meningkatnya respirasi tanah, kandungan P-tersedia, dan kandungan C-organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah
- Ansori, T. 2005. *Bahan Organik Tanah*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology*. New York: Academy Press
- Ardi, R. 2009. "Kajian Aktivitas Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Kelerangan Dan Kedalaman Hutan Alam". Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara
- Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia. 2013. *PT Industri Kertas Indonesia*. <http://apki.net> [diakses pada tanggal 29 Agustus 2013]
- Fauzi, A., dan Ferry I. 2008. *Pemanfaatan Limbah Sludge Kertas PT. Adiprima Suraprinta Pada Pembuatan Panel Dinding*. ISBN. No. 97897918342009
- Fitriatin, B. N., Anny, Y., dan Oviyanti, M. 2009. Pengaruh Mikroba Pelarut Fosfat dan Pupuk P Terhadap P Tersedia, Aktivitas Fosfatase, P Tanaman dan Hasil Padi Gogo (*Oryza sativa*. L.) Pada Ultisol. *Jurnal Agrikultura* 20(3): 210-215
- Isrun. 2009. Respons Inceptisol Terhadap Pupuk Guano Dan Pupuk P Serta Pengaruhnya Terhadap Serapan P Tanaman Kacang Tanah. *Jurnal Agroland*. 16(1) : 40-44. Universitas Tadulako. Palu.
- Kristanto, B. A., R. Kurniantono., D.W. Widjajanto. 2009. "Karakteristik Fotosintesis Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) Dengan Aplikasi Pupuk Organik Guano". Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan – Semarang. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Premono, E. 1994. "Jasad Renik Pelarut Fosfat Pengaruhnya Terhadap P-Tanah dan Efisiensi Pemupukan P-Tanaman Tebu". Disertasi. Bogor: IPB
- Pujiastuti, E. S. 2006. Logam Berat Sebagai Polutan Dan Efek sampingnya Terhadap Mikroorganisme Tanah. *Akademia* 10(2): 2227
- Saraswati, R., Edi, H., R. D. M. Simanungkalit. 2007. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Setiadi, Y. 1989. *Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Kehutanan*. Bogor: IPB
- Sutedjo, Kartasapoetra., dan Sastroatmodjo. 1991. *Mikrobiologi Tanah*. Jakarta: Bhieneka Cipta
- Waluyo, L. 2004. *Mikrobiologi Umum*. Malang: UMM-Press.
- Widawati, S., dan Suliasih. 2006. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta Kemampuannya Melarutkan P Terikat di Media Pikovskaya Padat. *Biodiversitas* 7(2): 100-113

Widiyanti, E., Maya. M. 2009. “*Pengaruh Residu Pupuk Kandang Sapi Dan Guano Terhadap Produksi Kedelai (Glycine max (L.) Merr) Panen Muda Dengan Budidaya Organik*”. Makalah Seminar Agronomi dan Hortikultura. Bogor: Institut Pertanian Bogor