

**PERANAN *ASPERGILLUS NIGER* DAN BAHAN ORGANIK
DALAM TRANSFORMASI P-ANORGANIK TANAH**



GANDA MANINGSIH



**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
1994**

@Hik cipa mltt IPB University

IPB University

RINGKASAN

GANDA MANINGSIH. Peranan *Aspergillus niger* dan Bahan Organik Dalam Transformasi P-Anorganik Tanah. (Dibawah bimbingan ISWANDI ANAS dan DASUN HERUDJITO).

Tujuan percobaan adalah mengetahui kemampuan *Aspergillus niger* dan bahan organik dalam mempengaruhi transformasi P-anorganik tanah.

Percobaan dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah dan Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, mulai September 1993 sampai Februari 1994. Tahap percobaan meliputi pengujian *Aspergillus niger* dalam melarutkan AlPO_4 dalam media *Pikovskaya*, persiapan inokulan serta pengujian *Aspergillus niger* terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah, dimana analisis P-anorganik dilakukan menurut metode fraksionasi Chang dan Jackson (Hesse, 1972).

Percobaan disusun dalam rancangan acak kelompok 3 ulangan dengan pengelompokkan didasarkan waktu inkubasi (15, 30 dan 45 hari). Perlakuan yang dicobakan adalah : (a) Inokulasi *Aspergillus niger* 4 strain (tanpa inokulasi, strain $2\text{C}_8\text{J}_2$, strain $2\text{C}_{14}\text{J}_1$ dan strain $2\text{C}_{18}\text{K}_1$) dan (b) Bahan organik kompos sampah kota 2 taraf (0 dan 10 ton ha^{-1}). Media dasar untuk inokulasi digunakan tanah Ultisol Lampung bekas pertanaman tebu selama 2 musim tanam, yang dibuat dalam 2 kondisi (tanpa dan dengan sterilisasi).

Hasil pengujian *A. niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya* menunjukkan strain *A. niger*- $2\text{C}_8\text{J}_1$, *A. niger*- $2\text{C}_{14}\text{J}_1$ dan *A. niger*- $2\text{C}_{18}\text{K}_1$ mampu meningkatkan P-larut media masing-masing sebesar 125.0; 65.0 dan 135.0 persen.

Pengujian pada tanah masam menunjukkan bahwa inokulasi *A. niger* nyata meningkatkan P-mudah larut yang berasal dari pelarutan fraksi Fe-P. Pemberian bahan organik menyebabkan transformasi bentuk-bentuk *occluded-P* menjadi Fe-P.

Sedangkan interaksi *A. niger* dan bahan organik meningkatkan P-mudah larut tanah yang juga berasal dari pelarutan Fe-P. Pada percobaan dengan tanah non steril, jasad renik tanah lain mengurangi kemampuan *A. niger* dalam meningkatkan P-mudah larut.



**PERANAN *ASPERGILLUS NIGER* DAN BAHAN ORGANIK
DALAM TRANSFORMASI P-ANORGANIK TANAH**

GANDA MANINGSIH

Skripsi

sebagai salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Pertanian

pada

Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

JURUSAN TANAH

FAKULTAS PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

1 9 9 4

Judul

: PERANAN *ASPERGILLUS NIGER* DAN BAHAN ORGANIK
DALAM TRANSFORMASI P-ANORGANIK TANAH

Nama Mahasiswa : Ganda Maningsih

Nomor Pokok : A. 26.1416

Menyetujui :

Dr Ir Iswandi Anas, M.Sc

Dr H. D. Herudjito, M.Sc

Pembimbing I

Pembimbing II



Mengetahui

Prof. Dr Ir Oetit Koswara

Ketua Jurusan Tanah

Tanggal Lulus : 26 AUG 1994

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Purwokerto, tanggal 11 Juni 1971 sebagai putera ke lima dari tujuh bersaudara, ayah Poedjadi dan ibu Sri Harsilah (almh).

Jenjang pendidikan penulis dimulai di SD Purwanegara I Purwokerto, lulus tahun 1983, SMP Negeri 3 Purwokerto, lulus tahun 1986 dan SMA Negeri I Purwokerto, lulus tahun 1989.

Tahun 1989 penulis diterima di Institut Pertanian Bogor melalui jalur Ujian Masuk Perguruan Tinggi Negeri (UMPTN), dan tahun 1990 diterima di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian-Institut Pertanian Bogor.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan YME atas segala karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan percobaan sampai penyusunan skripsi.

Penyusunan skripsi ini dimaksudkan sebagai salah satu persyaratan kurikuler guna memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Rasa hormat dan terimakasih yang tulus penulis sampaikan kepada Dr Ir Iswandi Anas, M.Sc., Dr H.D. Herudjito, M.Sc., Dr Ir M. Edi Premono atas bimbingan dan arahnya, serta segenap pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Namun harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai tambahan informasi bagi yang memerlukannya.

Bogor, September 1994

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	x
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan	2
Hipotesis	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
Fosfor Tanah	4
Masalah Fosfor di Indonesia	5
Penanggulangan Masalah Fosfor	6
Pengapuran	7
Bahan Organik	7
Pemanfaatan Residu Pupuk Fosfat	8
Jasad Renik Pelarut Fosfat	9
Fraksionasi P-anorganik dalam Tanah	11
BAHAN DAN METODE	13
Tempat dan Waktu Percobaan	13
Bahan dan Alat	13
Tahap-tahap Percobaan	14
Pengujian <i>Aspergillus niger</i> dalam melarutkan $AlPO_4$ media <i>Pikovskaya</i>	14

Persiapan Inokulan <i>Aspergillus niger</i>	14
Pengujian <i>Aspergillus niger</i> terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah	15
Rancangan Percobaan	15
HASIL DAN PEMBAHASAN	17
Pengujian <i>Aspergillus niger</i> dalam melarutkan $AlPO_4$ media <i>Pikovskaya</i>	17
Pengujian <i>Aspergillus niger</i> terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah	18
Pengaruh <i>Aspergillus niger</i>	18
Pengaruh bahan organik	20
Interaksi <i>A. niger</i> dan bahan organik	22
KESIMPULAN DAN SARAN	25
Kesimpulan	25
Saran	25
PUSTAKA	26
LAMPIRAN	29

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Pengujian <i>Aspergillus niger</i> dalam melarutkan $AlPO_4$ media <i>Pikovskaya</i>	17
2.	Pengaruh <i>A. niger</i> terhadap P-anorganik tanah non steril	18
3.	Pengaruh <i>A. niger</i> terhadap P-anorganik tanah steril	19
4.	Pengaruh bahan organik terhadap P-anorganik tanah non steril	21
5.	Pengaruh bahan organik terhadap P-anorganik tanah steril	22
6.	Pengaruh <i>A. niger</i> dan bahan organik terhadap P-anorganik tanah non steril	22
7.	Pengaruh <i>A. niger</i> dan bahan organik terhadap P-anorganik tanah steril	24

Lampiran

1.	Analisis pendahuluan tanah Ultisol Lampung	29
2.	Analisis sifat kimia kompos sampah kota	29
3.	Populasi <i>Aspergillus niger</i> dalam 1 <i>core borer</i>	30
4.	Populasi <i>Aspergillus niger</i> dalam 1 gram media gambut (inkubasi sepuluh hari)	30
5.	Metode fraksionasi P-anorganik menurut Chang dan Jackson	31
6.	Sidik ragam fraksi P-anorganik tanah non steril	32
7.	Sidik ragam fraksi P-anorganik tanah steril	33

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fosfor (P) merupakan unsur hara makro esensial tanaman. Fosfor memegang peranan penting pada berbagai proses hidup, seperti fotosintesis, metabolisme karbohidrat dan proses alih energi dalam tubuh tumbuhan (Satari, 1987).

Masalah utama fosfor tanah adalah jumlahnya yang sedikit dan ketersediaannya yang rendah bagi tanaman karena fiksasi oleh anasir penjerap didalam tanah. Pada tanah masam, kendala yang dihadapi tanaman berkaitan dengan fosfor adalah rendahnya ketersediaan fosfor karena bersenyawa dengan Al dan Fe, membentuk persenyawaan Al-fosfat dan Fe-fosfat. Sedangkan pada tanah alkalin, fosfor akan bersenyawa dengan kalsium membentuk persenyawaan kalsium-fosfat.

Umumnya tanah-tanah pertanian di Indonesia baik yang bersifat masam maupun alkalin telah mendapat pemupukan fosfat. Hal ini disebabkan kandungan fosfor alami (P total maupun P tersedia) yang rendah, sedangkan kemampuan tanah dalam memfiksasi P sangat tinggi. Sehingga untuk memperoleh pertumbuhan dan produksi yang optimal, disetiap musim tanam pupuk P selalu diberikan.

Serapan P tanaman terhadap P pupuk hanya sekitar 10-20 % dari keseluruhan jumlah yang diberikan (Barber, 1976). Efisiensi serapan P tanaman yang rendah ini cenderung mendorong pemberian pupuk P dalam jumlah yang jauh lebih besar dari kebutuhan tanaman, sehingga pemupukan menjadi tidak efisien. Karena sebagian besar pupuk yang tidak diserap tanaman akan tertinggal dalam tanah, difiksasi sebagai

persenyawaan besi, aluminium, dan kalsium atau diikat oleh bahan organik tanah sehingga masih dapat tersedia bagi tanaman.

Residu P makin lama makin bertambah bila pada setiap musim tanam atau setiap tahun pemupukan P dilakukan. Pemupukan P ini dapat dipandang sebagai melakukan investasi modal, mengingat pengaruh residu P yang cukup tinggi. Semakin sering dan semakin banyak di pupuk P, tanah menjadi semakin kaya P.

Salah satu alternatif guna meningkatkan ketersediaan P residu, adalah dengan penggunaan jasad renik pelarut fosfat. Penelitian-penelitian mengenai penggunaan jasad renik yang berpotensi melarutkan fosfat, baik bakteri maupun fungi tanah memberikan hasil yang cukup menggembirakan. Dilaporkan bahwa bakteri dan fungi tanah pelarut fosfat mampu meningkatkan ketersediaan P pada tanah-tanah yang mempunyai residu P cukup tinggi.

Jasad renik pelarut fosfat menghasilkan asam organik. Asam-asam organik inilah yang berperan dalam pelarutan fosfat diantaranya menurunkan pH, pengkkelatan anasir penjerap P tanah, persaingan anion organik dengan ortofosfat dalam kompleks jerapan koloid tanah yang bermuatan positif sehingga P yang semula diikat oleh logam terlepas, menjadi lebih tersedia dan dapat digunakan oleh tanaman.

Tujuan

Tujuan percobaan adalah mengetahui kemampuan *Aspergillus niger* dan bahan organik dalam mempengaruhi transformasi P-anorganik tanah.

Hipotesis

Aspergillus niger mampu melarutkan fraksi P-anorganik tanah. Fraksi P-anorganik tanah yang dilarutkan berasal dari Al-P, Fe-P, *occluded-P* dan Ca-P. Pelarutan P-anorganik menyebabkan peningkatan P-mudah larut tanah. Pemberian bahan organik akan memperbaiki kemampuan *Aspergillus niger* dalam melarutkan fosfat.

TINJAUAN PUSTAKA

Fosfor Tanah

Fosfor dalam tanah dibedakan dalam bentuk P-organik dan P-anorganik. Bentuk P-organik terdapat dalam humus dan bahan organik tanah lainnya. Bentuk P-anorganik terdapat sebagai P-larutan dan P-fasa padatan, yang dibedakan dalam 3 kategori, yaitu : (1) bentuk yang cepat mengadakan keseimbangan dengan P-larutan, (2) bentuk yang sedang - lambat mengadakan keseimbangan dengan P-larutan, dan (3) bentuk yang tidak mengadakan keseimbangan dengan P-larutan (Widjaja-Adhi dan Sudjadi, 1987).

Sumber utama P adalah kerak bumi, yang diduga mengandung lebih dari 0.12 persen P (Soepardi, 1983). Cadangan P tanah berkisar 100 - 2500 kg ha⁻¹ (Satari, 1987), dan hanya sebagian kecil dari cadangan itu yang tersedia bagi tanaman. Kadar P total dalam tanah umumnya sangat rendah, dan berbeda-beda menurut jenis tanahnya. Pada tanah-tanah muda dan perawan, kadar P total tanah akan lebih tinggi dibanding pada tanah tua (Leiwakabessy, 1992).

Masalah utama fosfor adalah jumlahnya yang sedikit dan ketersediaannya yang rendah bagi tanaman karena fiksasi P oleh anasir penjerap didalam tanah (Arnon, 1974; Stevenson, 1976).

Tingkat ketersediaan P terbaik pada kisaran pH 6.0 - 6.5. Pada pH rendah (kurang dari 5.5), dimana kelarutan aluminium dan besi tinggi, P akan diendapkan

sebagai aluminium-fosfat dan besi-fosfat. Sedangkan pada pH yang lebih tinggi (diatas 6.5), P akan mengendap bersama kalsium.

Masalah Fosfor di Indonesia

Tanah-tanah di Indonesia umumnya telah mengalami pelapukan lanjut dan mempunyai pH yang rendah (Hardjowigeno, 1983). Pada kondisi tanah yang demikian, tingkat ketersediaan P tanah rendah, dan P akan diendapkan menjadi bentuk aluminium-fosfat dan besi-fosfat.

Pemupukan P selalu dilakukan, mengingat ketersediaan dan efisiensi pemupukan P yang rendah. Pemupukan yang dilakukan terus menerus, menyebabkan akumulasi fosfor dalam tanah.

Ketidak-efisienan didalam pemupukan cenderung mendorong pemberian pupuk P dalam jumlah yang jauh lebih besar dari kebutuhan tanaman sehingga mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan pupuk P buatan. Moeljono (1988) mengemukakan bahwa proyeksi kebutuhan pupuk P (TSP) untuk tahun 1986 sampai 1995 mempunyai laju pertumbuhan 8.7 % per tahun, dan pada tahun 1995 akan diperlukan kurang lebih 2.5 juta ton pupuk P (TSP). Sedangkan menurut Rusadhi, Aspan dan Utomo (1987), proyeksi kebutuhan pupuk TSP dari tahun 1987 hingga 1995 menunjukkan nilai negatif, dimana tahun 1995 akan terjadi kekurangan pupuk TSP sebesar 722.000 ton atau 48 % dari penyediaan (1.500.999 ton).

Sejak tahun 1987/1988 subsidi pupuk dari pemerintah mengalami pengurangan. Mulai awal pelita VI, penyediaan anggaran subsidi pupuk P (TSP) secara bertahap dikurangi. Kebijakan tersebut tentunya akan menimbulkan masalah pembiayaan dalam pengadaan pupuk untuk pertanian, diantaranya meningkatnya harga pupuk P (TSP). Peningkatan harga pupuk harus ditanggung sepenuhnya oleh konsumen (petani). Hal ini tentunya akan memberatkan petani, mengingat sebagian besar petani di Indonesia masih bersifat subsisten. Oleh karena itu, perlu diupayakan pemakaian pupuk TSP seefisien mungkin, serta pemanfaatan P terfiksasi (residu P) dalam tanah. Selain itu perlu dicari alternatif lain guna mengurangi ketergantungan akan pupuk buatan tersebut. Dengan demikian penggunaan pupuk P dapat diarahkan ke tempat-tempat yang lebih memerlukan dan efisiensinya dapat lebih ditingkatkan.

Penanggulangan Masalah Fosfor

Berbagai upaya dalam rangka meningkatkan ketersediaan fosfor telah dilakukan, diantaranya melalui pengapuran dan penggunaan bahan organik. Dewasa ini telah banyak pula dilakukan penelitian-penelitian tentang upaya peningkatan ketersediaan fosfor tanah dengan memanfaatkan residu P, melalui penggunaan jasad renik pelarut fosfat.

Pengapuran

Pengapuran dilakukan dengan tujuan mengendalikan unsur-unsur racun aluminium serta meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman.

Pemberian kapur akan menurunkan daya larut besi, aluminium dan mangan, memperbaiki ketersediaan fosfor dan molibdenum, meningkatkan kejenuhan basa serta kalsium-magnesium dapat ditukar juga merangsang pertumbuhan dan aktivitas jasad renik tanah.

Setijawan (1990) menyatakan pemberian kapur dosis 7 ton ha⁻¹ dapat memperbaiki sifat kimia tanah, diantaranya meningkatkan pH tanah, menetralisasi keracunan Al dan meningkatkan unsur hara tersedia bagi tanaman. Sedangkan Muriandini (1994) menyatakan bahwa residu kapur dalam musim tanam ke-5 nyata meningkatkan produksi tanaman jagung serta mempertahankan nilai pH dan meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

Bahan Organik

Pemberian bahan organik dapat mempengaruhi ketersediaan fosfor dalam tanah, diantaranya melepaskan P dalam proses dekomposisinya, menekan pengaruh pengikatan P dengan membentuk kompleks logam-senyawa organik (Gupta dan Nayan, 1972), penyelubungan sesquioksida oleh asam humat serta pelarutan Ca, Mg-P oleh asam karbonat dari CO₂ hasil dekomposisi (Stevenson, 1982).

Beberapa penelitian mengenai pengaruh pemberian bahan organik terhadap status P tanah telah banyak dilakukan. Singh dan Jones (1976) dalam Widjaya Adi dan Sudjadi (1987) melaporkan bahwa pencampuran/pemberian bahan organik yang kadar P nya $< 0.3\%$ seperti serbuk gergaji, batang jagung, atau jerami gandum akan mengurangi P dalam larutan setelah inkubasi 75 dan 150 hari. Sebaliknya dengan penambahan bahan hijauan yang kadar P nya $> 0.3\%$ seperti alfalfa, kacang-kacangan atau pupuk kandang akan meningkatkan P dalam larutan tanah. Herdiana (1990) menunjukkan bahwa pemberian kotoran sapi meningkatkan P-tersedia tanah. Sedangkan menurut Santoso (1992) pemberian bahan organik meningkatkan P-tersedia dan menekan aktivitas Al^{2+} serta Fe^{3+} melalui proses pengkkelatan. Selain itu residu bahan organik pada musim tanam ke-2 masih nyata meningkatkan ketersediaan hara N, P, K, Ca dan Mg, memperbaiki sifat kimia tanah serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksi padi (Supartini, 1990).

Pemanfaatan Residu Pupuk Fosfat

Selain pengapuran dan penggunaan bahan organik, telah banyak dilakukan penelitian-penelitian mengenai usaha peningkatan ketersediaan P residu, melalui penggunaan jasad renik pelarut fosfat. Tujuannya adalah memanfaatkan residu P, sehingga diharapkan dapat mengurangi sekaligus meng-efisienkan pemakaian pupuk fosfat.

Pemanfaatan residu P perlu dilakukan mengingat pupuk P yang ditambahkan kedalam tanah akan bereaksi dengan ion-ion tanah, membentuk persenyawaan P yang kurang larut. Apabila konsep pemanfaatan residu P ini mampu diterapkan pada lahan-lahan yang berkadar P tinggi, maka diharapkan kelebihan konsumsi pupuk dapat dialihkan ke lahan yang berkadar P rendah.

Jasad Renik Pelarut Fosfat

Telaah mengenai penggunaan dan pemanfaatan jasad renik pelarut fosfat dalam meningkatkan ketersediaan P tanah telah lama dilakukan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa banyak jasad renik tanah yang dapat meningkatkan kelarutan P tidak larut tanah menjadi P yang tersedia bagi tanaman (Barthakur, 1978 *dalam* Salih, *et al.* 1989).

Kelompok bakteri tanah, khususnya genus *Bacillus sp* dan *Pseudomonas sp* serta kelompok fungi tanah genus *Penicillium sp* dan *Aspergillus sp* diketahui paling banyak berperan dalam proses pelarutan senyawa fosfat tanah (Subba Rao, 1982). Umumnya para peneliti lebih banyak menekankan pada bakteri pelarut fosfat dari pada fungi pelarut fosfat (Agnihorti, 1970; Barthakur, 1978 *dalam* Salih, *et al.* 1989). Namun Venkateswarlu, Rao, dan Raina (1984) *dalam* Salih, *et al.* (1989) melaporkan bahwa fungi lebih efisien dalam melarutkan P tidak larut dibandingkan bakteri. Disamping itu kelompok fungi tanah *Penicillium sp* dan *Aspergillus sp* lebih

berperan dan mampu melarutkan senyawa-senyawa Al dan Fe-fosfat pada tanah-tanah yang berpH rendah (Das, 1963).

Beberapa hasil penelitian pelarut P di Indonesia memberikan hasil yang cukup menggembirakan. Diantaranya yang dilakukan oleh Prihatini dan Anas (1991) pada percobaan rumah kaca, dengan menggunakan tanah masam Rangkas Bitung yang diketahui mempunyai kandungan P rendah. Pemberian 440 ppm P (P alam Gresik) yang diinokulasi dengan isolat mikroorganisme pelarut P hasil isolasi dari tanah Ciampea Bogor, mampu meningkatkan serapan P tanaman jagung pada tanah steril.

Widjayanti (1991) melaporkan bahwa penggunaan bakteri pelarut fosfat mampu melarutkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan meningkatkan P tersedia tanah masam. Sedangkan menurut Hadijati (1991), bakteri pelarut P juga mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (pada empat jenis tanah). Buntan (1992) menyebutkan *Pseudomonas putida-LIES* mampu meningkatkan produksi jagung.

Disamping bakteri pelarut fosfat, penelitian mengenai fungi pelarut fosfat juga telah banyak dilakukan. Abbas (1991) menunjukkan bahwa fungi *Mikoriza Vesikular Arbuskular (VAM)* mampu meningkatkan efisiensi pemupukan P, khususnya pada takaran pemupukan rendah. Selanjutnya Lestari (1994) melaporkan penggunaan *Aspergillus niger* yang diisolasi dari perakaran kedelai, jagung dan tebu daerah Boyolali, Sragen dan Lampung mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung dan serapan P yang juga diikuti dengan peningkatan serapan unsur N dan K.

Fraksionasi P-anorganik dalam Tanah

Setelah air dan nitrogen, dua unsur hara yang sering disebut sebagai unsur pembatas di daerah tropik adalah fosfor dan sulfur (Sanchez, 1976). Umumnya tanah-tanah di Indonesia mengandung sedikit sekali P tersedia bagi tanaman (Sabiham, Djokosudardjo dan Soepardi, 1983).

Black (1968) mengemukakan bahwa fosfor tanah berasal dari pelapukan mineral primer, bahan tambang, sisa-sisa tanaman dan pemupukan.

Fosfor tanah berada dalam 2 bentuk, yaitu P-organik dan P-anorganik. Proporsi P-organik dan P-anorganik tanah bervariasi, berkisar 3 % P-organik - 97 % P-anorganik sampai 75 % P-organik - 25 % P-anorganik (Black, 1968). Umumnya kandungan P-anorganik tanah lebih besar daripada P-organik didalam tanah (Tisdale, Nelson dan Beaton 1985), kecuali pada tanah organik (Liwakabessy, 1992). Tanah-tanah di daerah tropik mempunyai variasi kandungan P total berbeda-beda, diantaranya untuk Oxisol, Ultisol dan Alfisol, kandungan P tanah rendah, kurang dari 200 ppm (Sanchez, 1976). Hampir semua persenyawaan P di alam mempunyai daya larut yang rendah seperti kalsium, aluminium dan besi-fosfat.

Bentuk P-anorganik tanah terdapat sebagai kombinasi mineral primer dan bentuk sekunder, yang digolongkan dalam fraksi aktif dan fraksi tidak aktif. Fraksi P-anorganik aktif terdiri dari persenyawaan Al-P, Fe-P dan Ca-P. Sedangkan fraksi P-anorganik tidak aktif terdiri atas bentuk-bentuk *occluded* dan *reductant soluble-P* (Sanchez, 1976). *Occluded-P* merupakan bentuk-bentuk persenyawaan P yang

terselubungi. Dalam *occluded* dikenal adanya senyawa inti dan selubung. Inti *occluded* dapat berupa Fe-P, Al-P, Ca-P ataupun campuran diantara ketiganya yang selanjutnya terselubungi (ter'*occluded*') oleh Fe_2O_3 , CaCO_3 atau Mn_2O_3 (Hesse, 1972). Sedangkan *reductant soluble-P* merupakan bentuk persenyawaan P yang tertutup oleh lapisan yang lebih beragam dengan ikatan yang sangat kuat, sehingga sebagian atau seluruh bentuk ini tidak larut dibawah kondisi anaerobik (Sanchez, 1976).

Penyebaran P dalam tanah ditentukan oleh ion-ion yang ada dalam tanah, pH tanah, drainase dan mineral alami tanah (Djokosudardjo, 1982) serta tingkat pelapukan tanah (Liwakabessy, 1992). Tingkat pelapukan kimia menentukan bentuk P-anorganik di dalam tanah, dimana bentuk Ca-P berkurang dan bentuk Al-P serta Fe-P akan meningkat dengan semakin meningkatnya tingkat pelapukan (Sanchez, 1976).

Lebih lanjut Djokosudardjo (1982) menyatakan tanah-tanah dengan hancuran iklim lanjut memiliki penyebaran P-anorganik dengan urutan $\text{Fe-P} > \text{Al-P} > \text{Ca-P}$; hancuran iklim awal mempunyai urutan penyebaran $\text{Ca-P} > \text{Al-P} > \text{Fe-P}$; dan hancuran iklim sedang mempunyai urutan penyebaran $\text{Al-P} > \text{Ca-P} > \text{Fe-P}$. Disamping itu kemasaman tanah (pH) akan mempengaruhi pula transformasi P-anorganik dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Percobaan

Percobaan dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah dan Laboratorium Kimia Tanah Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Percobaan memerlukan waktu 6 bulan, mulai September 1993 sampai Februari 1994.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan diantaranya 5 strain *Aspergillus niger* (*A. niger*-2C₇T₁, *A. niger*-2C₈J₂, *A. niger*-2C₁₄J₁, *A. niger*-2C₁₈K₁, *A. niger*-2B₆J₁) hasil seleksi Iswandi, *et al.* (1993), media *Pikovskaya* {glukosa 10 g; Ca₃(PO₄)₂ 5.0 g; (NH₄)SO₄ 0.5 g; KCl 0.2 g; MgSO₄·7H₂O 0.1 g; FeSO₄ dan MnSO₄ sedikit; ekstrak ragi 0.5 g; agar 20 g dan air destilata 1000 ml}, kaldu nutrien (*Nutrien Broth*), agar nutrien (*Nutrien Agar*), tanah Ultisol Lampung, bahan organik (kompos dan gambut) serta bahan-bahan kimia untuk fraksionasi P-anorganik (NH₄Cl 1.0 M, NH₄F 0.5 M, NaCl jenuh, NaOH 0.1 M, H₂SO₄ 0.25 M, karbon aktif, Na-sitrat 0.3 M, Na-ditionat, KMnO₄ 0.25 M, ekstraktan Bray-1 yaitu larutan PB dan PC).

Peralatan yang digunakan berupa perangkat alat laboratorium (tabung reaksi, cawan petri, labu erlenmeyer, lup inokulasi, kantung plastik, tabung ukuran 100 ml, *core borer*), mesin pengocok, sentrifugasi, autoclaf dan spektrofotometer.

Tahap-tahap Percobaan

Kegiatan percobaan meliputi pengujian *A. niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya*, persiapan inokulan serta pengujian *A. niger* terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah.

Pengujian *Aspergillus niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya*

Lima strain *A. niger* yang ada, diremajakan dalam media agar miring *Pikovskaya*, dan diinkubasi selama 7 hari. Selanjutnya biakan dipindah kedalam cawan petri dengan media yang sama, dan kembali diinkubasi selama 7 hari. Dari cawan petri, biakan diambil sebanyak 2 lempeng dengan *core borer*, diinokulasi kedalam media *Pikovskaya* cair sumber P AlPO_4 , selanjutnya diinkubasi selama 6 hari. Bersamaan dengan inokulasi, dilakukan penghitungan jumlah inokulum dalam satu *core borer* (Tabel Lampiran 3).

Tahap pengujian ini dilakukan tiga kali ulangan. Pada akhir inkubasi, suspensi disaring sampai diperoleh larutan jernih, diukur P larutan dengan metode kolorimeter. Dari 5 strain dipilih 3 strain yang paling baik dalam melarutkan AlPO_4 .

Persiapan Inokulan *Aspergillus niger*

Persiapan inokulan dilakukan dengan tujuan mempersiapkan inokulan sebelum diinokulasikan ke dalam tanah. Tiga strain *A. niger* terpilih hasil pengujian, mula-mula ditumbuhkan dalam cawan petri media *Pikovskaya*. Dari cawan petri biakan

diambil 2 lempeng menggunakan *core borer*, untuk selanjutnya diinokulasi kedalam media kaldu nutrien 50 ml dan diinkubasi selama 6 hari.

Setelah inokulan tumbuh lebat (penuh dengan spora), segera diinokulasi kedalam media pembawa (gambut steril 200 gram) dan diinkubasi selama 10 hari. Pada akhir inkubasi populasi isolat dihitung dengan metode cawan tuang (media agar nutrien). Hasil penghitungan (Tabel Lampiran 4) digunakan sebagai acuan penghitungan kebutuhan media pembawa untuk percobaan selanjutnya.

Pengujian *Aspergillus niger* terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah

Setelah diketahui populasi *A. niger* dalam media pembawa, langkah selanjutnya adalah menginokulasikan isolat kedalam 250 gram tanah dengan dosis 10^6 sel gram⁻¹ tanah. Dalam tanah tersebut, isolat diinkubasi dengan selang waktu yang telah ditetapkan. Selama inkubasi kadar air dipertahankan dalam kondisi tetap (60 persen kapasitas lapang). Pada akhir inkubasi, dianalisis fraksi P-anorganik tanah menurut metode fraksionasi Chang dan Jackson (Hesse, 1972), bagan disajikan pada Tabel Lampiran 5. Hasil yang diperoleh diuji dengan uji jarak berganda Duncan.

Rancangan Percobaan

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok 3 ulangan, dengan pengelompokan berdasar waktu inkubasi (15, 30 dan 45 hari). Perlakuan yang dicobakan adalah (a) Inokulasi *Aspergillus niger* 4 strain, yaitu tanpa inokulasi

(kontrol), inokulasi *A. niger*-2C₈J₂, *A. niger*-2C₁₄J₁, dan *A. niger*-2C₁₈K₁ (strain ditentukan dari hasil pengujian *A. niger* dalam melarutkan AlPO₄ media *Pikovskaya*) dan (b) Bahan organik kompos sampah kota 2 taraf (0 dan 10 ton ha⁻¹).

Media dasar untuk inokulasi digunakan tanah Ultisol Lampung bekas pertanaman tebu selama 2 musim tanam, yang dibuat dalam dua kondisi, yaitu tanpa dan dengan sterilisasi. Metode sterilisasi yang digunakan adalah panas lembab, yaitu pemberian panas pada suhu 120°C, tekanan lebih dari 1 atmosfer selama (10-20) menit.

Model matematikanya sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \Sigma_{ij}$$

dimana :

Y_{ij} = nilai perlakuan ke-i kelompok ke-j

μ = nilai rata-rata umum

α_i = pengaruh perlakuan ke-i

β_j = pengaruh kelompok ke-j

Σ_{ij} = galat percobaan perlakuan ke-i kelompok ke-j

i = 1, 2

j = 1, 2, 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Aspergillus niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya*

Hasil pengujian *Aspergillus niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya*, disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Seleksi *A. niger* dalam melarutkan AlPO_4 media *Pikovskaya*

Strain <i>A. niger</i>	P-larut ppm	Δ	Peningkatan P-larut, %	Keterangan
Kontrol	2.0	-	-	
2C ₇ T ₁	3.0	1.0	50.0	
2C ₈ J ₂	4.5	2.5	125.0	Terpilih
2C ₁₄ J ₁	3.3	1.3	65.0	Terpilih
2C ₁₈ K ₁	4.7	2.7	135.0	Terpilih
2B ₆ J ₁	3.0	1.0	50.0	

Pada Tabel 1 terlihat bahwa strain-strain *A. niger*-2C₈J₂, *A. niger*-2C₁₄J₁ dan *A. niger*-2C₁₈K₁ mampu meningkatkan persen P-larut media *Pikovskaya* sumber P berupa AlPO_4 masing-masing sebesar 125.0, 65.0 dan 135.0 persen. Nilai persen P-larut ketiga strain tersebut relatif lebih tinggi dibanding 2 strain lainnya, yaitu *A. niger*-2C₇T₁ dan *A. niger*-2B₆J₁ yang hanya menunjukkan peningkatan P-larut sebesar 50.0 persen. Sehingga ketiga strain inilah yang dipilih sebagai strain unggul, dan selanjutnya digunakan dalam pengujian pelarutan P-anorganik tanah.



Pengujian *Aspergillus niger* terpilih dalam melarutkan fraksi P-anorganik tanah

Pengaruh *Aspergillus niger*. Hasil pengujian *Aspergillus niger* terhadap fraksi P-anorganik tanah Ultisol Lampung disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Pada Tabel 2 (tanah non steril), inokulasi *Aspergillus niger*, terutama strain *A. niger*-2C₁₈K₁ nyata meningkatkan P-mudah larut (P terekstrak NH₄Cl 1.0 M). Sedangkan 2 strain lain (*A. niger*-2C₈J₂ dan *A. niger*-2C₁₄J₁) menunjukkan hasil yang kurang memuaskan dalam meningkatkan P-mudah larut (walaupun persen terhadap totalnya menunjukkan adanya peningkatan). Peningkatan P-mudah larut ini diduga berasal dari akumulasi P terlarut fraksi Fe-P dan *occluded-P*.

Tabel 2. Pengaruh *A. niger* terhadap P-anorganik tanah non steril

Strain <i>A. niger</i>	Fraksi P-anorganik					
	P-mudah larut	Al-P	Fe-P	<i>Occl-P</i>	Ca-P	Total P
	 % terhadap total					(ppm)
Kontrol	8.45 ^b	10.75 ^{ab}	13.84	55.58	11.38 ^b	522.64
2C ₈ J ₂	9.39 ^b	10.21 ^b	13.45	55.82	11.15 ^b	503.37
2C ₁₄ J ₁	9.13 ^b	9.90 ^b	14.12	54.62	12.39 ^{ab}	505.62
2C ₁₈ K ₁	11.06 ^a	11.79 ^a	12.71	51.09	13.15 ^a	424.32

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam kolom, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

Dalam Tabel 2 juga ditunjukkan adanya peningkatan fraksi Al-P dan Ca-P, dimana peningkatan tertinggi terlihat pada strain *A. niger*-2C₁₈K₁. Meningkatnya Al-P dan Ca-P diduga berasal dari pelarutan selubung *occluded-P*. *Occluded-P* merupakan bentuk-

bentuk persenyawaan P yang terselubungi. Dalam *occluded* dikenal adanya senyawa inti dan selubung. Inti *occluded* dapat berupa Fe-P, Al-P, Ca-P atau campuran diantara ketiganya yang terselubungi (ter'occluded') oleh Fe_2O_3 , CaCO_3 atau Mn_2O_3 (Hesse, 1972). Larutnya selubung *occluded* dapat meningkatkan P-mudah larut, fraksi Ca, Fe atau Al-P.

Pada kondisi tanah steril (Tabel 3), inokulasi *Aspergillus niger* menunjukkan peningkatan P-mudah larut yang diikuti dengan penurunan secara nyata fraksi Fe-P (terutama oleh inokulasi *A. niger*-2C₁₈K₁). Diduga meningkatnya P-mudah larut berasal dari pelarutan fraksi Fe-P. Tanah dengan perlakuan sterilisasi bertujuan untuk mematikan semua jasad renik tanah yang ada, sehingga diassumsikan pada tanah steril jasad renik yang ada hanyalah inokulan *Aspergillus niger* perlakuan. Hal tersebut menunjukkan bahwa *A. niger* lebih mampu melarutkan Fe-P daripada fraksi-fraksi P lainnya.

Tabel 3. Pengaruh *A. niger* terhadap P-anorganik tanah steril

Strain <i>A. niger</i>	Fraksi P-anorganik					
	P-mudah larut	Al-P	Fe-P	<i>Occl-P</i>	Ca-P	Total P
	 % terhadap total					(ppm)
Kontrol	9.17 ^b	8.73	13.14 ^a	56.26	12.68	530.93
2C ₈ J ₂	11.38 ^a	8.60	12.97 ^b	55.79	11.56	517.43
2C ₁₄ J ₁	9.75 ^b	9.00	13.36 ^b	55.54	12.35	522.60
2C ₁₈ K ₁	10.25 ^{ab}	9.25	9.98 ^b	58.00	12.53	489.11

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam kolom, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5%

Subba Rao (1982) menyatakan fenomena pelarutan P ini disebabkan oleh adanya asam-asam organik yang dihasilkan oleh jasad renik pelarut fosfat, diantaranya *Aspergillus sp.* Dalam kompleks jerapan koloid yang bermuatan positif, anion organik akan bersaing dengan ortofosfat. Semakin meningkatnya persaingan, akan semakin meningkatkan peluang P menjadi mudah larut. Disamping itu gugus fungsional dari asam organik akan membentuk kompleks yang stabil dengan logam, sehingga P yang semula terikat logam akan terbebaskan. Menurut Domsch, Gams, dan Anderson (1980), salah satu ciri spesifik *A. niger* adalah kemampuannya dalam menghasilkan asam oksalat dan asam sitrat di dalam media tumbuhnya.

Dari hasil Tabel 2 & 3, pada tanah steril inokulasi *A. niger* menunjukkan pengaruh yang nyata dalam menurunkan fraksi Fe-P. Sedangkan pada keadaan non steril pengaruh *A. niger* ini menjadi tidak nyata, meskipun persen Fe-P nya semakin rendah. Diduga ada interaksi antar jasad renik dalam tanah yang tidak disterilkan, yang mempengaruhi kemampuan *A. niger* dalam melarutkan fosfat.

Pengaruh bahan organik. Pengaruh pemberian bahan organik terhadap P-anorganik tanah Ultisol Lampung disajikan dalam Tabel 4 dan 5.

Bahan organik dapat mempengaruhi ketersediaan P tanah, diantaranya dengan melepaskan P dalam proses dekomposisinya, menekan pengaruh pengikatan P dengan membentuk kompleks logam-senyawa organik (Gupta dan Nayan, 1972), penyelubungan sesquioxida oleh asam humat serta pelarutan Ca, Mg-P oleh asam karbonat dari CO₂ hasil dekomposisi (Stevenson, 1982).

Pada Tabel 4 (tanah non steril), pengaruh pemberian bahan organik nyata meningkatkan fraksi Fe-P dan menurunkan fraksi *occluded-P*. Terlihat bahwa telah terjadi pergeseran bentuk dari *occluded-P* menjadi Fe-P. Peningkatan fraksi Fe-P berasal dari Fe-P yang semula berada dalam inti *occluded-P*.

Tabel 4. Pengaruh bahan organik terhadap P-anorganik tanah non steril

Fraksi P-anorganik	Bahan organik, ton ha ⁻¹	
	0	10
	 % terhadap total	
P-mudah larut	9.65	9.36
Al-P	10.57	10.75
Fe-P	10.57 ^a	16.49 ^b
<i>Occluded-P</i>	57.67 ^b	50.89 ^a
Ca-P	11.68	12.36
Total P (ppm)	504.09	473.88

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

Pada kondisi tanah steril (Tabel 5), pemberian bahan organik nyata menurunkan fraksi Fe-P. Penurunan Fe-P ini sejalan dengan meningkatnya persen P-mudah larut.

Tabel 4 & 5 menunjukkan bahwa pemberian bahan organik pada tanah steril mampu menurunkan fraksi Fe-P sejalan dengan meningkatnya fraksi P-mudah larut. Akan tetapi jika diberikan pada tanah non steril, fraksi Fe-P meningkat tanpa peningkatan P-mudah larut. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya interaksi antara bahan organik dengan jasad renik penghuni tanah. Jasad renik mengimobilisasi P yang sudah dilarutkan oleh bahan organik menjadi komponen sel hidupnya.

Tabel 5. Pengaruh bahan organik terhadap P-anorganik tanah steril

Fraksi P-anorganik	Bahan organik, ton ha ⁻¹	
	0	10
P-mudah larut	 % terhadap total	
Al-P	9.78	10.50
Fe-P	8.81	8.98
Occluded-P	14.48 ^a	10.25 ^b
Ca-P	54.46	58.32
Total P (ppm)	12.62	11.94
	496.29	524.34

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

Interaksi *A. niger* dan bahan organik. Pengaruh interaksi *A. niger* dan bahan organik disajikan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Pengaruh *A. niger* dan bahan organik terhadap P-anorganik tanah non steril

Strain <i>A. niger</i>	Fraksi P-anorganik					
	P-mudah larut	Al-P	Fe-P	Occl-P	Ca-P	Total P
	 % terhadap total					(ppm)
	Tanpa bahan organik					
Kontrol	8.87 ^b	10.97	12.58 ^a	56.14	11.43	522.78
2C ₈ J ₂	8.90 ^b	10.30	12.68 ^a	56.75	11.36	526.83
2C ₁₄ J ₁	9.26 ^b	9.94	13.54 ^a	54.98	12.62	522.28
2C ₁₈ K ₁	11.57 ^a	11.05	3.48 ^b	62.81	11.29	446.06
	Dengan bahan organik					
Kontrol	8.04 ^z	10.52	15.10 ^y	55.02	11.33 ^b	522.52
2C ₈ J ₂	9.87 ^{xy}	10.11	14.21 ^y	54.89	10.93 ^b	479.86
2C ₁₄ J ₁	9.00 ^{yz}	9.86	14.71 ^y	54.27	12.16 ^b	488.95
2C ₁₈ K ₁	10.54 ^x	12.53	21.95 ^x	39.36	15.02 ^a	404.29

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam kolom, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

Pada kondisi tanah non steril (Tabel 6), menunjukkan bahwa tanpa bahan organik *A. niger*-2C₁₈K₁ mampu meningkatkan P-mudah larut tanah. Meningkatnya P-mudah larut diduga berasal dari pelarutan fraksi Fe-P. Sedangkan apabila diberikan bahan organik, meningkatnya P-mudah larut pada perlakuan *A. niger*-2C₁₈K₁ tidak hanya disebabkan karena pelarutan Fe-P, tetapi juga berasal dari *occluded-P*. Larutnya *occluded-P* selain meningkatkan P-mudah larut, juga meningkatkan fraksi Fe-P dan Ca-P. Hal inilah yang diduga menyebabkan peningkatan P-mudah larut pada inokulasi yang disertai bahan organik tidak terlalu tinggi dibanding inokulasi tanpa bahan organik

Kondisi tanah steril (Tabel 7) terlihat bahwa tanpa bahan organik, inokulasi *A. niger* menyebabkan penurunan fraksi Al-P dan Fe-P. Sedangkan inokulasi *A. niger* yang dikombinasi dengan pemberian bahan organik, menyebabkan terjadinya transformasi bentuk-bentuk Al, Fe dan Ca-P terutama oleh strain *A. niger*-2C₁₈K₁.

Soepardi (1983) menyatakan bahwa adanya bahan organik yang merupakan sumber energi mudah tersedia menyebabkan perkembangan jasad renik berlangsung cepat sekali. Kegiatan jasad renik dengan cepat akan mencapai titik puncaknya. Bahan organik yang ditambahkan kedalam tanah dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk memacu aktifitas *A. niger* yang bersifat heterotrof.

Tabel 7. Pengaruh *A. niger* dan bahan organik terhadap P-anorganik tanah steril

Strain <i>A. niger</i>	Fraksi P-anorganik					
	P-mudah larut	Al-P	Fe-P	<i>Occl-P</i>	Ca-P	Total P
	 % terhadap total					(ppm)
	Tanpa bahan organik					
Kontrol	9.14	9.53 ^a	15.43 ^a	52.55	13.34	455.59
2C ₈ J ₂	11.29	8.88 ^{ab}	14.69 ^{ab}	53.02	12.71	489.49
2C ₁₄ J ₁	9.59	8.20 ^b	14.27 ^{bc}	54.90	13.03	510.56
2C ₁₈ K ₁	9.09	8.64 ^{ab}	13.51 ^c	57.39	11.40	529.51
	Dengan bahan organik					
Kontrol	9.20	7.93 ^y	10.85 ^y	59.96	12.02 ^{ab}	568.67
2C ₈ J ₂	11.48	8.32 ^y	11.25 ^y	58.55	10.40 ^b	545.37
2C ₁₄ J ₁	9.91	9.80 ^x	12.44 ^x	56.17	11.67 ^{ab}	524.64
2C ₁₈ K ₁	11.41	9.87 ^x	6.45 ^z	58.60	13.66 ^a	455.70

Angka yang diikuti huruf yang sama dalam kolom, tidak berbeda nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

Dari hasil Tabel 6 & 7, dapat diketahui bahwa pada tanah non steril pelarutan Fe-P nyata meningkatkan P-mudah larut, sedangkan pada tanah steril, penurunan Fe-P belum mampu meningkatkan P-mudah larut secara nyata.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

A. niger-2C₈J₂, *A. niger*-2C₁₄J₁ dan *A. niger*-2C₁₈K₁ dalam media *Pikovskaya* bersumber P dalam bentuk AlPO₄ mampu meningkatkan P larut media berturut-turut sebesar 125,0; 65,0 dan 135,0 persen.

Pengujian pada tanah masam menunjukkan bahwa inokulasi *Aspergillus niger* nyata meningkatkan P-mudah larut yang berasal dari pelarutan fraksi Fe-P. Pemberian bahan organik menyebabkan transformasi bentuk-bentuk *occluded-P* menjadi Fe-P. Sedangkan interaksi *Aspergillus niger* dan bahan organik meningkatkan P-mudah larut tanah yang juga berasal dari pelarutan Fe-P. Pada percobaan dengan tanah non steril, jasad renik tanah lain mengurangi kemampuan *Aspergillus niger* dalam meningkatkan P-mudah larut.

Saran

Percobaan ini merupakan percobaan *in-vitro*. Oleh karena itu disarankan dilakukan telaah pengaruh sterilisasi tanah terhadap aktivitas dan jenis asam organik yang dihasilkan *Aspergillus niger* dalam melarutkan P-anorganik tanah.



PUSTAKA

- Abbas, K. 1991. Pengaruh pemberian bahan organik, *mikoriza vesikular-arbuskular* dan pupuk fosfat terhadap serapan fosfor oleh tanaman jagung. Tesis Magister Sain. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Arnon, I. 1974. Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute Bern/Switzerland.
- Barber, S. A. 1976. Efficient fertilizer use. Amer. Soc. Agron. Spec. Publ. 26. 13-29.
- Black, C. A. 1968. Soil-Plant Relationship. John Willey and Sons Inc. New York.
- Buntan, A. 1992. Efektifitas bakteri pelarut fosfat dalam kompos terhadap peningkatan serapan P dan efisiensi pemupukan P pada tanaman jagung. Tesis Magister Sain. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Das, A. C. 1963. Utilization of insoluble phosphate by soil fungi. Ind. J. Soil Sci. 11. 203-207.
- Djokosudardjo, S. 1982. Pengaruh pemberian fosfor terhadap keefisienan pemupukan beberapa macam tanah di Indonesia. Disertasi Doktor. Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Domsch, K. H., W. Gams and T. H. Anderson. 1980. Compendium of Soil Fungi. Academic Press. London.
- Gupta, M. L. and K. Nayan. 1972. Transformation of soil inorganic phosphorus in red soil. Ind. J. Soc. Sci. 23(1): 61-65.
- Hadijati, T. 1991. Bakteri pelarut fosfat asal beberapa jenis tanah dan efeknya terhadap pertumbuhan dan hasil jagung (*Zea mays L.*). Disertasi Doktor. Universitas Pajajaran. Bandung.
- Hardjowigeno, S. 1983. Genesis dan Klasifikasi Tanah. Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Herdiana, H. 1990. Pengaruh TSP dan kotoran sapi terhadap pertumbuhan dan produksi jagung manis pada Podsolik Gajrug. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.

- Hesse, P. R. 1972. A Textbook of Soil Chemical Analysis. Chemical Publ. Co. Inc. New York.
- Iswandi, A., M. E. Premono dan R. Widyastuti. 1993. Peningkatan efisiensi pemupukan P dengan menggunakan mikroorganisme pelarut P. Pusat Antar Universitas (PAU)-IPB. Bogor.
- Leiwakabessy, F. M. 1992. Kesuburan Tanah (Bahan Kuliah). Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Lestari, P. 1994. Pengaruh fungi pelarut fosfat terhadap serapan hara P dan pertumbuhan tanaman jagung. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Moeljono, D. H. 1988. Gambaran pengadaan dan penyaluran pupuk menjelang tahun 1995. Pros. Lokakarya Efisiensi Penggunaan Pupuk. 6-7 Agustus 1986, Cipayung. Bogor.
- Muriandini, E. B. 1994. Pengaruh residu kapur dan sekam padi terhadap hasil jagung pada tanah Latosol Coklat Kemerahan (*Oxic Dystropept*) Bogor. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Prihatini, T. dan I. Anas. 1991. Peranan jasad mikro pelarut P terhadap ketersediaan hara P tanah dan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah Podsolik Rangkas Bitung. Pertemuan Pembahasan Penelitian Tanah dan Agroklimat. 3-5 Juni 1991. Bogor.
- Rusadhi, A., Aspan dan H. Utomo. 1987. Pengujian pupuk fosfat pada tanaman pangan di Indonesia. Makalah Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. 22 Juni - 2 Juli 1987, Cipanas. Bogor.
- Sabiham, S., S. Djokosudardjo dan G. Soepardi. 1983. Pupuk dan Pemupukan. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Sanchez, P. A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Willey and Son Publ. Co. New York.
- Satari, G. 1987. Peranan fosfor dalam pembangunan pertanian di Indonesia. Makalah Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. 29 Juni - 2 Juli 1987, Cipanas. Bogor.

- Salih, H. M., A. I. Yahya, A. M. Abdul-Rahem and B. H. Munam. 1989. Availability of phosphorus in a calcareous soil treated with rock phosphate or superphosphate as affected by phosphate dissolving fungi. *Plant and Soil* 120, 181 -185.
- Santoso, N. 1992. Pengaruh bahan organik dan paket pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi padi gogo (*Oryza sativa* L.) varietas Sentani pada Latosol Darmaga Bogor. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Setijawan, E. 1990. Pengaruh kapur dan sampah kota terhadap beberapa sifat kimia tanah, serapan hara N P K serta pertumbuhan bibit tanaman coklat (*Theobroma cacao* L.) varietas Lindak pada Podsolik Jasinga. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Stevenson, I. L. 1976. Biochemistry of the Soil. *in* F. E. Bear (ed.). Chemistry of the Soil. Oxford and IBH publ. Co. New Delhi. pp. 241-291.
- Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, New York.
- Subba Rao, N. S. 1982. Biofertilizer in Agricultural. Oxford & IBH Publ. Co. New Delhi.
- Supartini, W. 1990. Efek residu berbagai bahan organik terhadap pertumbuhan dan produksi padi (*Oryza sativa* L.) varietas IR. 64 serta beberapa sifat kimia tanah Latosol Darmaga. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Widjaja-Adhi, I. P. G dan M. Sudjadi. 1987. Status dan kelakuan fosfat tanah-tanah di Indonesia. Makalah Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk Fosfat. 29 Juni -2 Juli 1987, Cipanas. Bogor.
- Wijayanti, E. 1991. Peningkatan kelarutan P dari sumber fosfat sukar larut dengan menggunakan bakteri pelarut P. Skripsi Sarjana. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.

Tabel Lampiran 1. Sifat Tanah Ultisol Lampung yang digunakan dalam percobaan

Jenis Analisis	Nilai	Metode
pH H ₂ O (1:1)	6.9	pH meter
KCl	5.0	pH meter
C organik (%)	1.02	Walkley dan Black
N total (%)	0.7	Kjedahl
P tersedia (ppm)	tu	Bray-1
Basa-Basa dapat ditukar (me. 100 g ⁻¹)		Ekstraksi NH ₄ OAc pH 7.0
Ca	1.19	
Mg	0.30	
K	0.13	
Na	0.13	
KTK (me. 100 g ⁻¹)	11.1	
KB (%)	15.8	NH ₄ OAc pH 7.0
Al-dd (me. 100 g ⁻¹)	4.8	Ekstraksi KCl
H-dd (me. 100 g ⁻¹)	0.12	Ekstraksi KCl
Fraksi (%)		Tekstur (pipet)
pasir	26.45	
debu	34.27	
liat	39.28	

ket. tu : tidak terukur

Tabel Lampiran 2. Sifat kimia kompos sampah kota yang digunakan dalam percobaan

Jenis hara	Nilai
C organik (%)	33.60
N total (%)	1.24
P tersedia (ppm)	0.24
Ca (me. 100 g ⁻¹)	71.44
Mg (me. 100 g ⁻¹)	38.80
K (me. 100 g ⁻¹)	8.46
Na (me. 100 g ⁻¹)	6.25

Tabel Lampiran 3. Populasi *Aspergillus niger* dalam satu *core borer*

Strain	Populasi (CFU <i>core borer</i> ⁻¹)
	x 10 ⁴
Tanpa inokulasi	0
<i>A. niger</i> -2C ₇ T ₁	77
<i>A. niger</i> -2C ₈ J ₂	188
<i>A. niger</i> -2C ₁₄ J ₁	184
<i>A. niger</i> -2C ₁₈ K ₁	84
<i>A. niger</i> -2B ₆ J ₁	20

ket. CFU : Colony Forming Unit (Satuan Pembentuk Koloni)

Tabel Lampiran 4. Populasi *Aspergillus niger* dalam media gambut
(inkubasi sepuluh hari)

Strain	Jumlah Populasi (sel gram ⁻¹)
Tanpa inokulasi	0
<i>A. niger</i> -2C ₈ J ₂	1.72 x 10 ⁹
<i>A. niger</i> -2C ₁₄ J ₁	1.34 x 10 ⁹
<i>A. niger</i> -2C ₁₈ J ₁	3.99 x 10 ⁹

Tabel Lampiran 5. Metode Fraksionasi P-anorganik menurut Chang dan Jackson (Hesse, 1972)

TANAH : 1 Gram tempatkan pada tabung 100 ml, tambahkan 50 ml 1.0 M NH_4Cl , kocok selama 30 menit dan sentrifugasi					
Larutan : Tentukan Saloid-Bound P dengan metode kolorimetri	Tanah : Tambahkan 50 ml 0.5 M NH_4F (pH dibuat 8.2 dengan NaOH), kocok selama 1 jam dan sentrifugasi				
	Larutan : Saring, jika diperlukan gunakan karbon aktif. Larutan mengandung P dari senyawa Al-P Tentukan dengan metode kolorimetri	Tinnah : Cuci 2x dengan 25 ml NaCl jenuh, tambahkan 50 ml 0.1 M NaOH kocok selama 17 jam dan sentrifugasi			
		Larutan : Tambahkan 5 tetes H_2SO_4 pekat sentrifugasi		Tanah : Cuci 2x dengan NaCl jenuh, suspensikan dengan 25 ml 0.3 M Na-sitrat, tambahkan 1 gram Na-ditionat, kocok 15 menit, panaskan sampai 80 C, encerkan sampai 50 cc, kocok 5 menit dan sentrifugasi.	
		Larutan : Saring, jika diperlukan gunakan karbon aktif. Larutan mengandung P dari senyawa Fe-P Tentukan dengan metode kolorimetri	Residu : Dibuang	Campuran larutan dan cucian : 3 ml campuran tambahkan 1.5 ml 0.25 M KMnO_4 untuk mengoksidasi kelebihan ditio-nat dan sitrat, dan tentukan Reductan-soluble-P, dengan metode kolorimetri	Tanah : Cuci 2x dengan NaCl jenuh, tambahkan 50 ml 0.1 M NaOH , kocok selama 1 jam, sentrifugasi
					Larutan : Tentukan occluded-P dengan metode kolorimetri Tanah : Cuci 2x dengan NaCl , tambahkan 50 ml 0.25 M H_2SO_4 kocok 1 jam dan sentrifugasi. Buang residunya tentukan P larutan dari senyawa Ca-P metode kolorimetri

Tabel Lampiran 6. Sidik ragam fraksi P-anorganik tanah non steril

Sumber keragaman	db	JK	F-hitung	JK	F-hitung
			P-mudah larut	Al-P	
Ulangan	2	394.73	591.24*	372.98	217.09*
Perlakuan	7	26.18	11.20*	16.08	2.67 ns
Bahan organik (B)	1	0.49	1.49 ns	0.21	< 1
<i>A. niger</i> (A)	3	22.04	22.01*	4.14	4.82*
B x A	3	3.64	3.64*	1.14	1.34 ns
Galat	11	4.67		0.85	
cv		6.1 %		8.7 %	
			Fe-P	Occluded-P	
Ulangan	2	138.26	18.35*	2104.77	18.04*
Perlakuan	7	533.30	20.22*	918.90	2.25 ns
Bahan organik (B)	1	210.33	55.83*	276.21	4.74*
<i>A. niger</i> (A)	3	6.71	< 1	86.22	< 1
B x A	3	316.25	27.98*	556.46	3.18 ns
Galat	11	52.74		816.67	
cv		14.3 %		14.1 %	
			Ca-P		
Ulangan	2	174.68	57.66*		
Perlakuan	7	36.98	3.49*		
Bahan organik (B)	1	2.79	1.85 ns		
<i>A. niger</i> (A)	3	15.53	3.42 ns		
B x A	3	18.65	4.10*		
Galat	11	21.65			
cv		10.2 %			

* : berpengaruh nyata menurut uji Duncan taraf 5 %
 ns : tidak berpengaruh nyata menurut uji Duncan taraf 5 %



Tabel Lampiran 7. Sidik ragam fraksi P-anorganik tanah steril

Sumber keragaman	db	JK	F-hitung	JK	F-hitung
P-mudah larut			Al-P		
Ulangan	2	265.65	88.72*	426.82	574.51*
Perlakuan	7	24.18	2.31 ns	11.93	4.59*
Bahan organik (B)	1	3.13	2.09 ns	0.16	< 1
<i>A. niger</i> (A)	3	15.85	3.53*	1.52	1.37 ns
B x A	3	5.19	1.16 ns	10.24	9.19*
Galat	11	20.95		5.20	
cv		12.1 %		6.9 %	
Fe-P			Occluded-P		
Ulangan	2	317.80	591.86*	1918.36	17.13*
Perlakuan	7	174.84	93.04*	155.10	< 1
Bahan organik (B)	1	107.31	399.72*	89.32	1.60 ns
<i>A. niger</i> (A)	3	45.75	56.81*	22.16	< 1
B x A	3	21.78	27.04*	43.62	< 1
Galat	11	3.75		783.76	
cv		4.2 %		13.3 %	
Ca-P					
Ulangan	2	243.85	88.36 *		
Perlakuan	7	25.58	2.65 ns		
Bahan organik (B)	1	2.80	2.04 ns		
<i>A. niger</i> (A)	3	4.50	1.09 ns		
B x A	3	18.27	4.41*		
Galat	11	19.31			
cv		9.6 %			

* : berpengaruh nyata menurut uji Duncan taraf 5 %

ns : tidak berpengaruh nyata menurut uji Duncan taraf 5 %