

Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada padaKu mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan (Yeremia 29: 11)

Untuk:
Papa dan Mama serta saudara-saudariku yang kukasihi ...
terima kasih atas doa dan dukungannya

1. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id atau hubungi kami di nomor telepon 021-75001000 atau 021-75001001. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id atau hubungi kami di nomor telepon 021-75001000 atau 021-75001001.

A/TNH/1992/004

-Re.

**PENGARUH BATUAN FOSFAT YANG DIKALSINASI TERHADAP
PERUBAHAN BEBERAPA SIFAT KIMIA TANAH, PERTUMBUHAN, DAN
KADAR P BAGIAN ATAS TANAMAN JAGUNG (Zea mays L.)
PADA TANAH PODSOLIK MERAH KUNING JASINGA**

Oleh

TOGI BERNHARD SITORUS



**JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
1992**

IPB University
Jember
1992
IPB University
Jember
1992
IPB University
Jember
1992

RINGKASAN

TOGI BERNHARD SITORUS. Pengaruh Batuan Fosfat yang Dikalsinasi terhadap Perubahan Beberapa Sifat Kimia Tanah, Pertumbuhan, dan Kadar P Bagian Atas Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga (di bawah bimbingan OTJIM W. WIRADINATA).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pupuk P yang berasal dari batuan fosfat yang dikalsinasi terhadap P-tersedia dan perubahan beberapa sifat kimia tanah lainnya, pertumbuhan, dan kadar P bagian atas tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga.

Fosfor yang merupakan bahan perlakuan berasal dari tiga sumber, yaitu: (1) batuan fosfat tanpa kalsinasi, (2) batuan fosfat yang dikalsinasi hingga suhu 550°C selama 6 jam, dan (3) TSP. Sumber fosfat masing-masing diberikan dalam empat tingkat dosis, yaitu: 0, 250, 500, dan 750 ppm. Tanaman indikator adalah jagung (*Zea mays* L.) dan sebagai media tumbuh adalah tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga.

Parameter yang diamati meliputi: pH H₂O 1:1, Al-dd, KTK, P-tersedia, tinggi tanaman, bobot kering bagian atas tanaman, dan kadar P bagian atas tanaman. Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dua faktorial dengan tiga kali ulangan.





Sumber fosfat dan dosis mempengaruhi peningkatan nilai pH dengan sangat nyata. Pengaruh batuan fosfat yang dikalsinasi terhadap peningkatan pH lebih tinggi dibanding dengan pengaruh batuan fosfat tanpa kalsinasi. TSP masih memberikan nilai peningkatan pH yang tertinggi.

Sumber fosfat, dosis, maupun interaksinya menurunkan jumlah Al-dd dengan sangat nyata. Pemberian TSP menurunkan Al-dd yang lebih rendah daripada sumber fosfat lainnya.

Pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi pada dosis 250 ppm memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan peningkatan KTK oleh pemberian batuan fosfat yang tidak dikalsinasi hingga dosis 750 ppm. Peningkatan pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi hingga dosis 750 ppm memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan pemberian TSP.

Peningkatan P-tersedia tanah akibat pengaruh batuan fosfat yang dikalsinasi dengan dosis 500 ppm memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan pengaruh batuan fosfat tanpa kalsinasi hingga dosis 750 ppm. Pemberian TSP meningkatkan ketersediaan P yang lebih tinggi dibanding sumber fosfat lainnya.

Perlakuan TSP menghasilkan pertumbuhan tanaman yang nyata lebih tinggi dibanding sumber fosfat lainnya. Pengaruh pemberian fosfat hingga 750 ppm tidak memberikan



perbedaan yang nyata bagi pertumbuhan tanaman dengan pemberian dosis 500 ppm.

Pemberian TSP menghasilkan bobot kering bagian atas tanaman yang terbesar diikuti oleh batuan fosfat yang dikalsinasi. Pemupukan TSP pada dosis 750 ppm cenderung menurunkan bobot kering bagian atas tanaman. Berdasarkan hasil bobot kering bagian atas tanaman, keefektifan batuan fosfat yang dikalsinasi terhadap TSP pada dosis yang tertinggi mencapai 67 %, sedangkan batuan fosfat tanpa kalsinasi mencapai 62 %.

Kadar P bagian atas tanaman dengan perlakuan batuan fosfat tanpa kalsinasi merupakan yang tertinggi diikuti oleh batuan fosfat yang dikalsinasi. Kadar P bagian atas tanaman antara batuan fosfat tanpa kalsinasi dengan yang dikalsinasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.

PENGARUH BATUAN FOSFAT YANG DIKALSINASI TERHADAP
PERUBAHAN BEBERAPA SIFAT KIMIA TANAH, PERTUMBUHAN, DAN
KADAR P BAGIAN ATAS TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.)
PADA TANAH PODSOLIK MERAH KUNING JASINGA

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pertanian pada Fakultas Pertanian
Institut Pertanian Bogor

Oleh

TOGI BERNHARD SITORUS

A 23. 0380

JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

1 9 9 2



Judul Skripsi : Pengaruh Batuan Fosfat yang Dikal-
sinasi terhadap Perubahan Beberapa
Sifat Kimia Tanah, Pertumbuhan, dan
Kadar P Bagian Atas Tanaman Jagung
(Zea mays L.) pada Tanah Podsolik
Merah Kuning Jasinga

Nama Mahasiswa : Togi Bernhard Sitorus
Nomor Pokok : A 23. 0380

Menyetujui:

Dosen Pembimbing

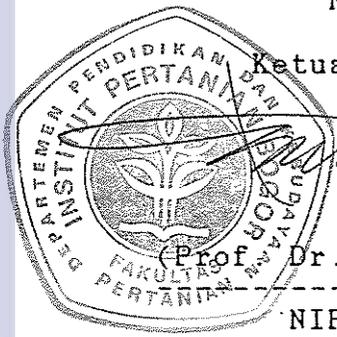


(Ir. H. Otjim W. Wiradinata)

NIP : 130345009

Mengetahui:

Ketua Jurusan Tanah



(Prof. Dr. Ir. Oetit Koswara)

NIP : 130429228

Tanggal lulus: 26 AUG 1992



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 5 Agustus 1967 di Medan, Sumatera Utara. Penulis adalah anak ke 11 dari 13 bersaudara dari ayah N.H. Sitorus dan ibu R.S. Hutauruk.

Pada tahun 1980 penulis lulus dari Sekolah Dasar Immanuel Medan. Pada tahun 1983 lulus dari Sekolah Menengah Pertama Immanuel Medan. Penulis kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas Negeri I Medan dan lulus pada tahun 1986.

Tahun 1986 penulis diterima sebagai mahasiswa Institut Pertanian Bogor melalui jalur Penelusuran Minat dan Kemampuan (PMDK). Setahun kemudian penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Selama mengikuti pendidikan di Institut Pertanian Bogor penulis pernah menjadi asisten mata kuliah Geologi pada tahun 1989/1990, dan Dasar-dasar Ilmu Tanah pada tahun 1990/1991.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih atas kasih setia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mempelajari pengaruh batuan fosfat yang dikalsinasi terhadap P-tersedia dan perubahan beberapa sifat kimia tanah lainnya, pertumbuhan, dan kadar P bagian atas tanaman jagung (Zea mays L.) pada Tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga. Hasil dari penelitian tersebut tercantum dalam tulisan ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Otjim W. Wiradinata atas saran dan bimbingannya selama penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Ir. A. Rachim, MS dan Bapak Ir. Suwardi, M.Agr yang telah bersedia menjadi dosen penguji.
3. Para pegawai Jurusan Tanah, Ibu Ratna dan Mbak Tini di perpustakaan.
4. David A. R. Tobing dan Rita serta rekan-rekan di PMK atas bantuannya selama penelitian.
5. Teman seperjuangan di laboratorium, Trisna dan Iwan.

DAFTAR ISI

halaman

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
Sifat Umum Tanah Podsolik Merah Kuning	4
Batuan Fosfat sebagai Bahan Pupuk	5
Fosfat dalam Tanah	9
Peranan Fosfor bagi Tanaman	12
Kemasaman Tanah	14
BAHAN DAN METODA	18
Tempat dan Waktu Penelitian	18
Bahan dan Alat	18
Metoda Penelitian	19
Pelaksanaan Penelitian	19
Analisis Tanah dan Tanaman	21
Analisis Statistik	21
HASIL DAN PEMBAHASAN	23
Kemasaman Tanah	25
Aluminium Dapat Ditukar	29
Kapasitas Tukar Kation	32
P-tersedia dalam Tanah	36

halaman

Tinggi Tanaman	40
Bobot Kering Bagian Atas Tanaman	43
Kadar P-tanaman Bagian Atas	47
KESIMPULAN DAN SARAN	50
Kesimpulan	50
Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	halaman
1.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Peningkatan pH Tanah pada Dosis yang sama . . .	27
2.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Penurunan Al-dd pada Dosis yang sama	31
3.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Peningkatan KTK pada Dosis yang sama	35
4.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap P-terseksi dalam Tanah pada Dosis yang sama	38
5.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Tinggi Tanaman pada Umur 6 Minggu setelah Tanam pada Dosis yang sama	42
6.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Bobot Kering Bagian Atas Tanaman pada Dosis yang sama	45
7.	Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Kadar P-tanaman Bagian Atas pada Dosis yang sama	49

Hal-Cara: Mendengar, Melihat, dan Membaca
 1. Mengingat kembali apa yang telah dipelajari
 2. Mengetahui bagaimana cara melakukan percobaan
 3. Mengetahui bagaimana cara menganalisis data
 4. Mengetahui bagaimana cara membuat laporan
 5. Mengetahui bagaimana cara membuat kesimpulan
 6. Mengetahui bagaimana cara membuat rekomendasi
 7. Mengetahui bagaimana cara membuat saran

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini laju peningkatan pembangunan pertanian semakin berkembang pesat dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan yang semakin meningkat. Pembangunan di bidang pertanian dapat diusahakan dengan melakukan tindakan intensifikasi lahan pertanian, ekstensifikasi areal pertanian, rehabilitasi prasarana pertanian, maupun melalui diversifikasi usaha pertanian.

Pemupukan merupakan tindakan yang mutlak diperlukan baik dalam intensifikasi, ekstensifikasi, maupun dalam rehabilitasi lahan pertanian. Unsur P merupakan salah satu unsur hara esensial yang penting bagi tanaman. Ternyata pula pemupukan P sangat menonjol dalam pengembangan pertanian ke lahan pertanian yang masam.

Tanah Podsolik mempunyai potensi untuk dikembangkan karena penyebarannya yang cukup luas dari keseluruhan daratan Indonesia. Berdasarkan keadaan bahan induknya dan adanya proses hancuran iklim yang intensif, tanah Podsolik mempunyai reaksi tanah yang masam hingga sangat masam.

Kemasaman tanah yang tinggi dapat mengakibatkan kelarutan unsur-unsur Al, Mn, dan Fe berada dalam tingkat toksik bagi tanaman. Selain itu terjadi kekahatan unsur-

unsur Ca, Mg, serta fiksasi P yang tinggi (Sanchez, 1976).

Fiksasi yang tinggi terhadap P di dalam tanah menyebabkan konsentrasi ketersediaannya di dalam tanah cepat sekali berkurang. Dengan demikian dalam pemupukan P perlu adanya peningkatan ketersediaan P bagi tanaman, dan mempertinggi efisiensi penggunaan pupuk fosfat. Berbagai cara pengelolaan pupuk P perlu diteliti baik dari segi takaran, cara, waktu, maupun jenis pupuk yang digunakan.

Batuan fosfat merupakan salah satu jenis pupuk yang dapat digunakan sebagai sumber P. Namun penggunaan batuan fosfat sebagai sumber fosfat secara langsung ataupun sebagai bahan baku pupuk superfosfat menghadapi beberapa masalah seperti: (1) letaknya terpencar-pencar dan tidak merupakan akumulasi endapan yang besar, (2) rendahnya kadar P_2O_5 -total (kurang dari 28 %), (3) kelarutan fosfatnya rendah, dan (4) kadar Fe dan Al-oksidanya tinggi (Komaruddin, 1974).

Maikusbiono (1989) menyatakan bahwa kalsinasi pada batuan fosfat merupakan salah satu cara untuk memperbaiki mutu batuan fosfat sehingga dapat meningkatkan kelarutan fosfat dalam bentuk yang tersedia. Kalsinasi hingga suhu $550^{\circ}C$ pada batuan fosfat asal Jampang Tengah, Sukabumi memberikan hasil kelarutan fosfat yang terbaik. Dengan

demikian perlu diteliti pengaruh pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi ke dalam tanah dan terhadap tanaman.

Tujuan

Penelitian ini dirancang dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian pupuk P yang berasal dari batuan fosfat yang dikalsinasi pada tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga terhadap P-tersedia dalam tanah, perubahan beberapa sifat kimia tanah lainnya, pertumbuhan tanaman, dan kadar P dalam jaringan tanaman jagung (*Zea mays* L.).

TINJAUAN PUSTAKA

Sifat Umum Tanah Podsolik Merah Kuning

Tanah Podsolik Merah Kuning menurut sistem taxonomy USDA sepadan dengan Ultisol (Hardjowigeno, 1985). Bahan induk tanah Podsolik Merah Kuning adalah tufa masam, batu pasir, dan sedimen volkan dengan cadangan mineral tergolong rendah. Tanah Podsolik Merah Kuning terbentuk dengan proses podsolisasi. Soepraptohardjo (1978) menyatakan bahwa proses podsolisasi merupakan proses pencucian basa-basa, oksida besi dan aluminium, dan mineral liat dari horison eluviasi, serta terjadi penimbunan senyawa larut tercuci, oksida besi dan aluminium, dan mineral liat pada horison iluviasi.

Tanah Podsolik Merah Kuning umumnya terbentuk pada daerah yang mempunyai curah hujan antara 2500 sampai 3000 mm per tahun, tersebar pada daerah dengan topografi bergelombang hingga berbukit dengan ketinggian 50 sampai 350 meter dari permukaan laut. Tanah Podsolik mempunyai tekstur dengan kadar liat meningkat ke lapisan iluviasi, semakin ke bawah konsistensinya semakin teguh, di atas lapisan plintit dapat ditemukan konkresi besi dan kuarsa, permeabilitas tanah umumnya berkisar lambat hingga baik (Soepraptohardjo, 1978).

Selanjutnya Soepraptohardjo (1978) menyatakan bahwa tanah Podsolik Merah Kuning mempunyai reaksi tanah yang masam hingga sangat masam (pH 3.5 - 5.0), kejenuhan basa (KB) kurang dari 20 %, rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) lebih besar dari 12, didominasi oleh mineral liat kaolinit dan gipsit. Kandungan unsur hara terdapat dalam konsentrasi yang rendah terutama Ca, N, P, dan K. Bennema (1983) menyatakan bahwa kemampuan tanah Podsolik rendah dalam meretensi kation dan mempunyai tingkat fiksasi P yang tinggi. Tanah Podsolik juga mempunyai kandungan aluminium yang tinggi sehingga menjadi racun bagi tanaman (Hardjowigeno, 1985).

Batuan Fosfat sebagai Bahan Pupuk

Bahan baku pupuk P adalah batuan fosfat, baik untuk pupuk P buatan maupun sebagai pupuk fosfat alam. Menurut Kasoep (1983) fosfat di alam terdapat sebagai senyawaan garam fosfat dari berbagai macam logam, seperti: apatit $[\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3]$, wavelit $[\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$, dan vivianit $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$. Dengan demikian batuan fosfat merupakan batuan yang terdiri dari atau mengandung senyawaan fosfat (umumnya adalah kalsium fosfat) dalam jumlah yang cukup sehingga ekonomis untuk digunakan sebagai sumber fosfat.

Menurut Direktorat Sumberdaya Mineral (1984) yang dimaksud dengan batuan fosfat adalah batuan beku, batuan sedimen atau masa tanah yang mengandung gugusan oksida fosfor $[Ca_3(PO_4)_2]$. Pada batuan beku gugusan oksida fosfor tersebut berada dalam mineral apatit, terutama fluorapatit $[Ca_5(PO_4)_3F]$. Pada batuan sedimen gugusan oksida fosfor terutama terkandung dalam mineral francolite $[Ca_5(PO_4)_3CO_2]$.

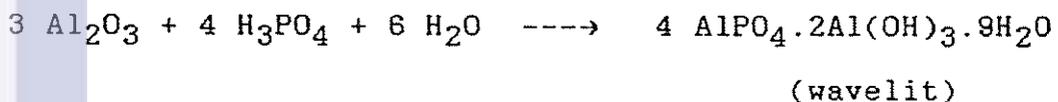
Berdasarkan komposisinya secara kimiawi batuan fosfat dapat disebut sebagai: Al-fosfat, Ca-fosfat, Fe-fosfat, Ca-Al-fosfat, dan Al-Fe-fosfat. Berdasarkan proses pembentukannya, batuan fosfat dapat digolongkan dalam tiga jenis yaitu: (1) fosfat laut, (2) fosfat guano, dan (3) fosfat hidrotermal. Kusartuti (1987) menggolongkannya sebagai: (1) endapan fosfat gua (seperti yang terdapat di Pulau Jawa), (2) endapan fosfat guano (pada pulau terpencil seperti di Pulau Christmas), dan (3) endapan fosfat sedimen (marine fosfat).

Fosfat laut diendapkan secara biokimia dalam cekungan yang luas, umumnya kandungan P_2O_5 dalam fosfat laut lebih dari 30 %. Fosfat guano terbentuk dari bahan kotoran binatang atau sisa binatang yang terkumpul dalam tempat yang cukup kering sehingga proses pembusukan oleh bakteri berlangsung sangat lambat. Kondisi yang terbaik adalah pulau yang terpencil dan terletak dalam daerah

berangin musim kering. Pulau tersebut merupakan tempat tinggal binatang-binatang pemakan ikan (biasanya burung). Fosfat guano dapat terbentuk dalam gua batu gamping dimana kotoran atau sisa binatang kelelawar terbentuk yang kemudian bereaksi dengan karbonat. Komaruddin (1974) menyatakan dengan reaksi berikut:



Senyawa fosfat dapat juga terbentuk jika dasar gua tersebut mengandung oksida atau hidroksida kalsium, besi, maupun aluminium seperti reaksi berikut:



Fosfat hidrotermal umumnya terdapat dalam batuan beku alkali.

Sifat-sifat umum batuan fosfat di Indonesia menurut Komaruddin (1974) antara lain adalah:

1. Berasal dari reaksi antara kotoran kelelawar dan senyawa yang ada di gua batu kapur.
2. Merupakan campuran antara Ca-fosfat, Al-fosfat, atau Fe-fosfat, mineral kapur, silikat dan oksida-oksida logam.
3. Lapisan atas banyak mengandung aluminium dan besi fosfat, lapisan bawahnya banyak mengandung Ca-fosfat.
4. Warna mineral fosfat sukar dibedakan antara mineral fosfat dan mineral ikutannya.

5. Kekerasan mineral-mineral fosfat antara dua sampai lima, dan kekerasan mineral ikutannya terletak antara interval tersebut, sehingga waktu penggilingan akan ikut sama-sama kasar dan halus.
6. Tidak terdapat akumulasi endapan fosfat yang besar dan terdapat terpencar-pencar.

Batuan fosfat dapat bermacam-macam penggunaannya, baik sebagai senyawa ataupun sebagai unsur fosfornya. Efektifitas batuan fosfat yang digunakan secara langsung ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu: (1) sifat-sifat dan reaktivitas batuan fosfat, (2) sifat-sifat tanah, seperti: pH, kapasitas fiksasi P, kadar P dan Ca tanah, serta (3) sifat-sifat tanaman (Sri Adiningsih, 1987).

Menurut Chien dan Hammond (1978), kelarutan batuan fosfat dalam amonium sitrat netral, asam format 2 %, dan amonium sitrat pH 3 dapat digunakan sebagai indeks efektifitas batuan fosfat. Sedangkan Widjaja Adhi, Moersidi, dan Lukman (1986, dalam Sri Adiningsih, 1987) berdasarkan hasil penelitian fosfat alam di Lampung mengemukakan bahwa asam sitrat 2 % dapat digunakan sebagai indeks efektifitas fosfat alam. Moersidi (1987) menyatakan bahwa penilaian kualitas fosfat alam selain dengan kelarutan dalam asam sitrat juga dapat dilakukan dengan cara yang disebut sebagai persentase tanggap tanaman (Relative Agronomic Effectivness, RAE) baik di

rumah kaca maupun di lapang. Penilaian persentase tanggap tanaman (RAE) didasarkan pada persentase kenaikan hasil karena pemupukan fosfat alam dibanding kenaikan hasil oleh pemupukan TSP.

Berdasarkan kuantitas dan kualitas deposit batuan fosfat yang terdapat di Indonesia, pemanfaatan sumberdaya mineral tersebut lebih memungkinkan untuk dipergunakan sebagai pupuk secara langsung daripada untuk bahan baku industri (Moersidi, 1987). Maikusbiono (1989) menyatakan bahwa kalsinasi merupakan salah satu cara untuk memperbaiki mutu batuan fosfat yaitu dengan meningkatkan kelarutan fosfat dalam bentuk tersedia. Hal ini juga dinyatakan oleh Palmer dan Gilkes (1979) bahwa kalsinasi pada batuan fosfat asal Pulau Christmas yang berkadar Fe dan Al-oksida tinggi, serta kelarutan fosfat tersedianya rendah, pada suhu 500 - 650°C akan meningkatkan fosfat terlarut dalam ekstrak sitrat dan meningkatkan ketersediaannya bagi tanaman. Kalsinasi pada batuan fosfat asal Jampang Tengah, Sukabumi meningkatkan kelarutan fosfat dalam bentuk tersedia secara maksimum pada suhu 550°C (Maikusbiono, 1989).

Fosfat dalam tanah

Secara umum fosfor dalam tanah dibedakan atas bentuk organik dan anorganik. Pada bentuk anorganik, satu

ataupun ketiga ion H dari asam fosfat digantikan oleh ion logam. Pada bentuk organik satu atau dua ion H dari asam fosfat terikat dengan sebuah ikatan ester sedangkan ion H yang tersisa sebagian atau seluruhnya digantikan oleh ion logam (Black, 1968). P-organik dapat terbentuk sebagai inositol fosfat, asam nukleat, fosfolipida, dan berbagai senyawa ester lainnya (Tisdale, Nelson, dan Beaton, 1985). P-anorganik dapat dibedakan atas: (1) tiga fraksi aktif, yaitu: Ca-P, Fe-P, dan Al-P, serta (2) dua fraksi tidak aktif, yaitu: occluded P (fosfat terselubung), dan reductant soluble P (fosfat larut dalam keadaan tereduksi) (Sanchez, 1976). Senyawa Al-P dan Fe-P dominan pada tanah masam dan senyawa Ca-P dominan pada tanah yang bereaksi alkalin. Bentuk P-anorganik umumnya lebih berkorelasi dengan kebutuhan tanaman (Jackson, 1958).

Barber (1984) membagi bentuk P dalam tanah menjadi empat golongan, yaitu: (1) sebagai ion atau senyawa dalam larutan tanah, (2) terjerap pada komponen inorganik tanah, (3) dalam bentuk mineral, dan (4) sebagai komponen bahan organik. Fosfor yang secara langsung dapat diserap tanaman yaitu yang berada dalam larutan tanah, merupakan faktor intensitas. Sedangkan fosfat yang terdapat pada fase padat yaitu terjerap pada permukaan kompleks jerapan (P-labil atau P-terjerap), dan dalam bentuk

mineral (P-non labil), merupakan faktor kuantitas P tanah terhadap nutrisi tanaman (Mengel dan Kirkby, 1979; Widjaja Adhi dan Sudjadi, 1987). Faktor kuantitas akan bertindak sebagai cadangan yang akan mengisi hilangnya P dari larutan.

Menurut Soepardi (1983) ketersediaan fosfor dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: (1) pH tanah, (2) Fe, Al, dan Mn yang terlarut, (3) adanya mineral yang mengandung Fe, Al, dan Mn, (4) tersedianya kalsium, (5) jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik, dan (6) kegiatan mikroorganisme.

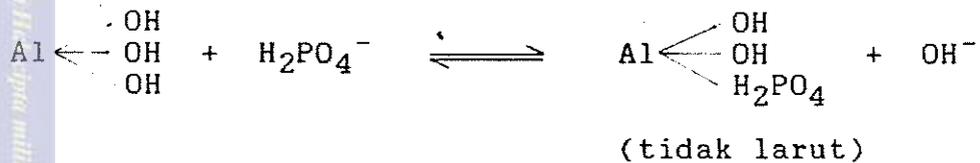
Tergantung pada pH tanah, P dalam larutan tanah terdapat dalam bentuk anion H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , atau PO_4^{3-} . Anion H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} terdapat pada keadaan masam maupun basa. Pada keadaan sangat masam dijumpai senyawa H_2PO_4^- dan pada suasana sangat basa dijumpai anion PO_4^{3-} (Bohn, Mc Neal, dan O'Connor, 1979).

Pada tanah masam fosfor yang diberikan dapat menjadi tidak tersedia melalui proses pengendapan, maupun fiksasi (Buckman dan Brady, 1961). Adanya sejumlah ion Fe, Mn, dan Al dalam tanah masam akan mengendapkan fosfat yang terlarut dalam tanah melalui reaksi berikut:

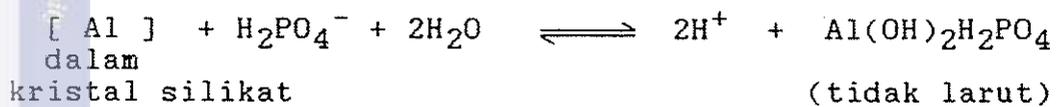


Fosfat juga akan bereaksi dengan hidroksida Al, Fe, dan

liat silikat melalui proses fiksasi. Fiksasi P oleh hidroksida Al ditunjukkan oleh reaksi berikut:



Fiksasi P oleh liat silikat ditunjukkan oleh persamaan berikut:



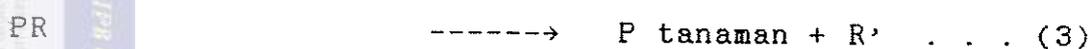
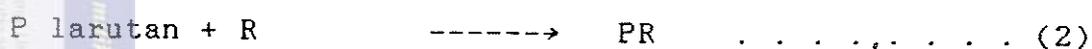
Jenis mineral liat tanah juga mempengaruhi ketersediaan fosfor. Tisdale *et al.* (1985) menyatakan bahwa tipe liat 1:1 seperti kaolinit mempunyai daya fiksasi P lebih besar dibandingkan dengan tipe liat 2:1. Dengan demikian tanah yang didominasi oleh tipe liat 1:1 umumnya P kurang tersedia bagi tanaman.

Peranan Fosfor Bagi Tanaman

Tisdale *et al.* (1985) menyatakan bahwa tanaman biasanya mengabsorpsi P dalam bentuk ion orthofosfat primer (H_2PO_4^-) dan sebagian kecil dalam bentuk ion orthofosfat sekunder (HPO_4^{2-}).

Pergerakan fosfat ke permukaan akar dapat melalui tiga cara, yaitu: intersepsi akar, aliran massa, dan difusi. Difusi merupakan cara yang paling berperan (Tisdale *et al.*, 1985). Fried *et al.* (1957, dalam

Black, 1968) menggambarkan perpindahan fosfat dari tanah ke dalam tanaman melalui tiga tahap. Tahap-tahap tersebut adalah sebagai berikut:



dimana X merupakan anion di dalam larutan seperti silikat, hidroksil, atau karbonat; R adalah pengangkut yang dihasilkan oleh tanaman di akar secara metabolik; R' adalah pengangkut yang kembali diregenerasikan yang kemungkinan sama dengan R.

Reaksi (1) menerangkan tahap pembebasan fosfor dari tanah, reaksi (2) merupakan tahap penggabungan fosfor dengan sebuah pengangkut, dan reaksi (3) merupakan tahap pelepasan fosfor dari gabungan PR dan masuk ke dalam tanaman.

Beberapa pengaruh P terhadap pertumbuhan tanaman adalah: (1) merangsang pertumbuhan dan perakaran, (2) menaikkan kandungan protein, (3) mempercepat kematangan buah dan biji, (4) memperbesar luas daun, dan (5) memperbesar nisbah biji dan jerami (Millar, 1959). Pengaruh menguntungkan dari pemberian P juga dikemukakan oleh Soepardi (1983) yaitu: (1) sebagai pembagian sel dan pembentukan lemak serta albumin, (2) pembentukan bunga, buah, dan biji, (3) kematangan tanaman, (4)

perkembangan akar, (5) memperkuat jerami sehingga tidak mudah rebah, (6) kualitas hasil, dan (7) ketahanan terhadap penyakit.

Menurut Leiwakabessy (1988) fosfat mempunyai peranan dalam proses fotosintesa, perubahan-perubahan karbohidrat dan senyawa-senyawa yang berhubungan dengannya, glikolisis, metabolisme asam amino, metabolisme lemak dan sulfur, oksidasi biologis, dan sejumlah reaksi dalam proses hidup. Fosfor juga merupakan unsur yang sangat penting dalam proses tranfers energi, suatu proses yang vital dalam hidup dan pertumbuhan.

Defisiensi P akan menyebabkan tanaman tidak mampu mensintesis protein, sehingga terjadi penimbunan karbohidrat pada bagian vegetatif tanaman. Selain itu dapat menyebabkan kematangan yang terlambat, perakaran dan perkembangan daun terhambat, jumlah cabang sedikit, dan daun berwarna hijau gelap hingga keunguan (Millar, 1959).

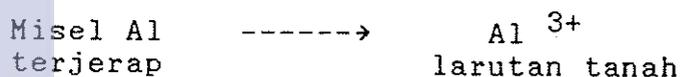
Kemasanan Tanah

Kemasaman tanah sangat erat kaitannya dengan adanya ion hidrogen (H^+) dan aluminium (Al^{3+}) dalam bentuk yang dapat dipertukarkan. Kemasaman tanah diukur dengan aktivitas ion H^+ atau pH (Black, 1968). Perkembangan

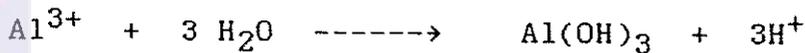
kemasaman tanah sejalan dengan proses pembentukan tanah. Pada hakekatnya semua proses pelapukan mengarah kepada hilangnya basa-basa seperti Ca, Mg, K, dan Na serta bertambahnya unsur-unsur Al, Fe, dan Si (Kussow, 1971).

Menurut Wisaksono dan Tan (1960) kemasaman tanah terdiri dari kemasaman aktif dan kemasaman potensial. Kemasaman aktif diartikan sebagai timbulnya ion-ion H^+ di dalam larutan tanah sebagai hasil pertukaran dengan kation, selanjutnya kompleks koloid terurai sehingga dibebaskan ion-ion Al dan Fe. Sedangkan kemasaman potensial adalah pertukaran langsung antara ion-ion Al dengan kation-kation dari garam netral.

Pada tanah sangat masam banyak aluminium menjadi larut dan dijumpai dalam bentuk kation aluminium dan hidroksi aluminium. Kation aluminium dan hidroksi aluminium ini lebih terjerap pada koloid tanah daripada ion hidrogen. Aluminium yang terjerap berada dalam kesetimbangan dengan aluminium dalam larutan tanah (Soepardi, 1983). Selanjutnya dijelaskan bahwa aluminium dalam larutan tanah tersebut cenderung terhidrolisis, yang dapat digambarkan dengan reaksi berikut:

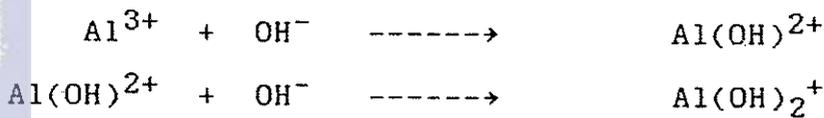


Ion Al^{3+} dalam larutan tanah kemudian dihidrolisis oleh H_2O dengan persamaan berikut:



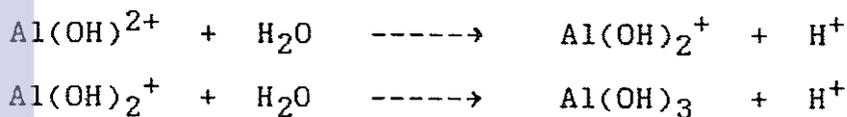
Aluminium dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ tidak larut dan ion H^+ yang dilepaskan dengan cara tersebut akan memberikan nilai pH yang sangat rendah.

Pada tanah berkemasaman sedang, aluminium tidak lagi dijumpai sebagai ion Al^{3+} tetapi telah berubah menjadi ion hidroksi aluminium melalui reaksi seperti berikut:



ion hidroksi aluminium

Sebagian ion hidroksi aluminium yang terjerap berfungsi sebagai kation yang dapat dipertukarkan dan berada dalam kesetimbangan dengan larutan tanah. Ion H^+ akan dihasilkan melalui reaksi hidrolisis berikut:



Bohn *et al.* (1979) menyatakan bahwa Al^{3+} banyak terdapat dalam larutan tanah dibawah pH 4.7, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ terdapat antara pH 4.7 dan 6.5, $\text{Al}(\text{OH})_3$ antara pH 6.5 dan pH 8, sedangkan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ terdapat di atas pH 8.

Menurut Leiwakabessy (1988) masalah kesuburan tanah masam bagi tanaman adalah: (1) adanya keracunan Al dan Mn, (2) defisiensi Ca, Mg, K, P, dan unsur-unsur mikro. Soepardi (1983) menambahkan bahwa kemasaman tanah juga akan mempengaruhi kegiatan mikroorganismenya. Selanjutnya

Sanchez (1976) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman yang buruk pada tanah masam dihubungkan dengan kejenuhan Al dan Mn, serta kekurangan unsur Mg dan Ca.

BAHAN DAN METODA

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di rumah kaca Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Analisis sifat kimia tanah dan jaringan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Agronomi, Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor.

Penelitian berlangsung mulai bulan September 1990 sampai dengan bulan April 1991.

Bahan dan Alat

Tanah yang digunakan dalam penelitian adalah tanah Podsolik Merah Kuning dari daerah Jasinga, Bogor. Beberapa sifat fisik dan kimia tanahnya tertera pada Tabel Lampiran 1. Tanaman yang digunakan sebagai tanaman indikator adalah jagung (Zea mays L.) varietas Pioneer.

Fosfor yang merupakan perlakuan berasal dari tiga sumber, yaitu: (1) batuan fosfat guano tanpa kalsinasi, (2) batuan fosfat guano yang dikalsinasi, dan (3) Triple Superphosphate (TSP). Batuan fosfat yang digunakan berasal dari tempat penggalian batuan fosfat Pasir Ciburial, Jampang Tengah, Sukabumi.

Pupuk dasar yang digunakan meliputi unsur-unsur N, K, Mg, Zn, Cu, dan Mo masing-masing sebesar 100, 200, 300, 10.2, 6.0, dan 0.9 ppm dalam bentuk urea, KCl, MgO, $ZnSO_4$, $CuSO_4$, dan $(NH_4)_6 Mo_7O_{24}$. Bahan kapur diberikan dalam bentuk $CaCO_3$ untuk menetralkan Al dapat ditukar. Pestisida diberikan untuk menghindari serangan hama dan penyakit.

Peralatan yang digunakan meliputi seperangkat alat untuk mengambil tanah dan batuan fosfat, meteran, timbangan, mesin penggiling, tanur, alat penyemprot, ember, kantong plastik (polybag), dan alat tulis. Sedangkan peralatan laboratorium yang digunakan disesuaikan dengan parameter yang diteliti.

Metoda Penelitian

Pelaksanaan Penelitian

Tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga yang diambil pada kedalaman 0 - 30 cm dikeringudarkan, kemudian disaring melewati ayakan berdiameter 5 mm. Tanah untuk keperluan analisis pendahuluan disaring dengan ayakan berdiameter 2 mm.

Tanah kemudian dimasukkan ke dalam 36 kantong plastik masing-masing sebanyak 5 kg berat kering oven pada suhu $105^{\circ}C$ atau setara dengan 6.27 kg berat kering udara (KA = 25.4 %). Setiap kantong plastik diberi kapur



sebesar 28.31 gr/kantong plastik atau setara dengan 0.5 x Al-dd, diaduk merata dan diinkubasi selama 2 minggu. Tanah dipertahankan dalam keadaan kapasitas lapang (KA = 34.95 %).

Batuan fosfat yang telah digiling dan disaring dengan ayakan berdiameter 210 μm , sebagian dipanaskan (dikalsinasi) dalam tanur pada suhu 550°C selama 6 jam, dan sebagian lagi tidak dipanaskan. Batuan fosfat yang telah dikalsinasi maupun yang tidak dikalsinasi telah siap digunakan sebagai pupuk sumber P disamping TSP.

Pupuk P yang berasal dari tiga sumber tersebut diberikan dalam empat tingkat dosis yang sama, yaitu: 0, 250, 500, dan 750 ppm P berdasarkan kandungan P_2O_5 -total. Perlakuan P diberikan setelah inkubasi kapur dengan mencampur-ratakan ke dalam tanah. Tanah diinkubasi kembali selama 2 minggu pada keadaan kapasitas lapang. Pupuk dasar diberikan sehari sebelum tanam.

Setiap kantong plastik ditanami tiga benih jagung, dan setelah berumur seminggu dilakukan penjarangan sehingga tinggal dua tanaman. Tanaman dipelihara selama enam minggu dan tanah dipertahankan dalam keadaan kapasitas lapang. Tindakan pemeliharaan selama pertumbuhan meliputi penyiangan dan pengendalian hama dan penyakit.

Pengamatan dilakukan setiap minggu terhadap tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai ujung daun

terpanjang. Pada minggu keenam tanaman dipotong tepat di atas permukaan tanah untuk ditetapkan bobot kering dan kandungan P bagian atas tanaman.

Analisis Tanah dan Tanaman

Contoh tanah setelah panen dikeringudarkan, lalu disaring dengan ayakan berdiameter 2 mm untuk analisis sifat-sifat kimia tanah meliputi: pH H₂O 1:1, Al dapat ditukar, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan P-tersedia.

Tanaman yang telah dipanen, dibersihkan dan dimasukkan ke dalam kantong kertas yang dilobangi lalu dioven pada suhu 105°C selama 48 jam. Analisis dilakukan terhadap kandungan P bagian atas tanaman.

Metoda analisis sifat kimia tanah dan jaringan tanaman tercantum dalam Tabel 1.

Analisis Statistik

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap dua faktorial dengan tiga kali ulangan. Model statistik dari rancangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

dimana:

$$i = 1, 2, 3 \quad (\text{sumber fosfat})$$

$$j = 1, 2, 3, 4 \quad (\text{dosis})$$

$$k = 1, 2, 3 \quad (\text{ulangan})$$

- Y_{ijk} = respons pada sumber fosfat ke-i, dosis ke-j, dan ulangan ke-k
 μ = pengaruh rata-rata
 A_i = pengaruh sumber fosfat ke-i
 B_j = pengaruh dosis ke-j
 $(AB)_{ijk}$ = pengaruh interaksi sumber fosfat ke-i dengan dosis ke-j
 E_{ijk} = nilai kesalahan respons pada sumber fosfat ke-i, dosis ke-j, dan ulangan ke-k

Untuk memperjelas data dipergunakan sidik ragam (uji F), dan data yang berbeda nyata diuji dengan uji beda nyata terkecil (BNT).

Tabel 1. Metoda Analisis Tanah dan Tanaman

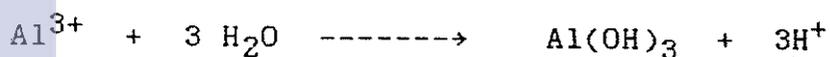
Analisis	Metoda
1. <u>Tanah</u>	
pH (H ₂ O)	pH meter
Al-dapat ditukar	N KCl titrasi HCl
KTK	N NH ₄ OAc pH 7.0
P-tersedia	Bray I
2. <u>Tanaman</u>	
P-tanaman	Pengabuan basah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pendahuluan sifat kimia tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga dan analisis batuan fosfat disajikan pada Tabel Lampiran 1 dan Tabel Lampiran 2.

Berdasarkan kriteria PPT (1983), tanah tersebut mempunyai reaksi tanah yang sangat masam, Al-dapat ditukar tinggi, KTK rendah, P-tersedia sangat rendah, dan basa-basa dapat ditukar umumnya rendah.

Pada tanah yang sangat masam banyak dijumpai aluminium yang larut baik dalam bentuk kation aluminium maupun sebagai hidroksi aluminium yang segera terjerap. Aluminium yang terjerap akan berada dalam kesetimbangan dengan aluminium dalam larutan tanah, yang kemudian akan mengalami hidrolisis dan menghasilkan ion H^+ (Buckman *et al.*, 1961; Soepardi, 1983) melalui reaksi:



Dengan demikian rendahnya pH suatu tanah selain disebabkan oleh ion hidrogen sendiri, juga dapat disebabkan oleh hidrolisis Al yang akan menghasilkan ion H^+ melalui reaksi diatas. Penyebab utama kemasaman tanah dalam hal ini, diduga akibat hidrolisis aluminium karena hasil analisa menunjukkan kadar Al-dd sebesar 18.06 me/100 gr, sedangkan konsentrasi H^+ sendiri tidak terukur.

Adanya ion Al dan Fe larut dalam tanah yang sangat masam ini dapat mengakibatkan fosfat menjadi tidak tersedia. Hasil analisa menunjukkan fosfat sangat rendah ketersediaannya. Hal ini dapat terjadi karena adanya reaksi antara Al dan Fe terlarut dengan fosfat yang akan membentuk hidroksi fosfat yang tidak larut (Buckman *et al.*, 1961).

Hasil analisa batuan fosfat guano asal Jampang Tengah menunjukkan bahwa persentase P_2O_5 -total batuan fosfat yang dikalsinasi lebih tinggi dari persentase P_2O_5 -total tanpa kalsinasi. Demikian juga dengan kelarutan fosfat dari batuan fosfat yang dikalsinasi lebih besar daripada batuan fosfat tanpa kalsinasi. Menurut Maikusbiono (1989) kadar fosfat total tersebut pada dasarnya adalah tetap, tetapi akibat pemanasan terjadi penguapan senyawa-senyawa dari batuan fosfat tersebut seperti H_2O dan CO_2 (yang berasal dari $CaCO_3$). Hal ini akan mengakibatkan berat batuan fosfat tersebut berkurang, sehingga persentase berat P_2O_5 -total akan meningkat.

Peningkatan kelarutan fosfat adalah akibat rusaknya struktur kristal dari mineral yang terdapat dalam batuan fosfat tersebut, sehingga struktur kristalnya berada dalam fase amorf. Keadaan amorf terbentuk karena terjadi dehidroksilasi (terlepasnya gugus hidroksil OH^-) dari

molekul H_2O yang terikat dalam struktur kristal akibat pemanasan. Pada keadaan amorf susunan atom-atom atau ion-ionnya tidak teratur lagi dan terikat secara lemah. Hal ini menyebabkan ion fosfat akan mudah terlepas sewaktu diekstrak sehingga ketersediaannya lebih tinggi.

Kemasaman Tanah

Kemasaman tanah diukur dengan aktivitas ion H^+ atau pH. Hasil pengukuran pH disajikan pada Tabel Lampiran 3, sedangkan hasil analisis sidik ragamnya tercantum pada Tabel Lampiran 10.

Hasil analisis sidik ragam terhadap nilai pH menunjukkan bahwa sumber fosfat maupun dosis memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan nilai pH tanah. Sedangkan interaksi antara sumber fosfat dengan dosis mempengaruhi nilai pH dengan tidak nyata.

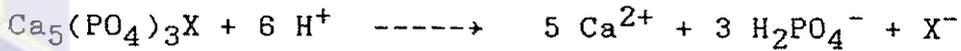
Tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi terhadap peningkatan nilai pH tanah lebih tinggi dibandingkan dengan pengaruh batuan fosfat tanpa kalsinasi. Tetapi nilai peningkatan pH tertinggi masih disebabkan oleh pemberian pupuk P dalam bentuk TSP. Nilai peningkatan pH tanah yang tertinggi diberikan oleh pengaruh TSP pada tingkat dosis 500 ppm, sedangkan yang terendah disebabkan oleh pengaruh batuan fosfat tanpa kalsinasi pada tingkat dosis 250 ppm.

Pemberian TSP pada dosis 750 ppm cenderung menurun dibandingkan oleh pengaruh TSP pada dosis 500 ppm. Walaupun demikian pengaruh TSP pada dosis 750 ppm masih memberikan nilai pH tanah yang tertinggi dibandingkan pengaruh sumber fosfat lainnya pada tingkat dosis yang sama (Gambar 1).

Tabel 2. Nilai Rataan pH Tanah setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

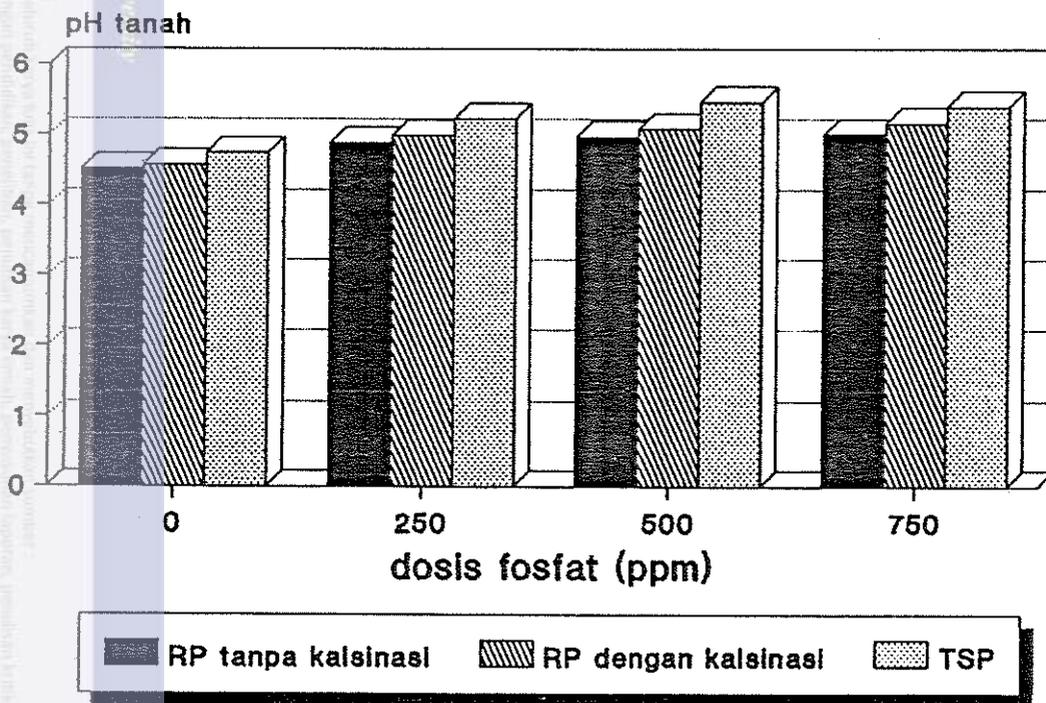
Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat (A)		
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP
0	4.51	4.57	4.74
250	4.89	4.99	5.22
500	4.97	5.08	5.46
750	5.00	5.16	5.40

Black (1968) menyatakan bahwa kemasaman tanah erat kaitannya dengan adanya ion hidrogen dan aluminium dalam bentuk yang dapat dipertukarkan. Pemberian batuan fosfat dapat menyebabkan penurunan kemasaman tanah sehingga pH akan meningkat. Hal ini terjadi karena adanya penurunan jumlah H^+ yang ada, disamping terjadinya pengendapan ion Al^{3+} oleh adanya ikatan dengan fosfat. Pemberian batuan fosfat pada tanah masam akan menghasilkan reaksi berikut (Rosand dan Wild, 1982):



dimana X merupakan unsur ikutan (OH^- , CO_3^{2-} , F).

Dengan semakin banyaknya ion H^+ yang digunakan untuk melarutkan fosfat dari batuan fosfat, maka terjadi penurunan ion H^+ yang mengakibatkan nilai pH tanah akan meningkat.



Gambar 1. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Peningkatan pH Tanah pada Dosis yang sama

Batuan fosfat umumnya mengandung bahan ikutan tertentu seperti kapur (CaCO_3). Dengan demikian jika batuan fosfat tersebut diberikan ke dalam tanah maka ion karbonat dari batuan fosfat akan mengalami hidrolisis.

Kussow (1971) menyatakan bahwa hidrolisis ion karbonat (CO_3^{2-}) akan menghasilkan ion OH^- melalui reaksi berikut:



Adanya ion OH^- akan menyebabkan pH tanah semakin meningkat.

Peningkatan nilai pH yang lebih tinggi pada batuan fosfat yang dikalsinasi daripada tanpa kalsinasi diduga karena adanya ion karbonat yang lebih cepat dilepas. Menurut Maikusbiono (1989) pemanasan hingga suhu 550°C pada batuan fosfat akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada struktur mineral yang terdapat di dalamnya sehingga ikatan antar ion dalam mineral tersebut menjadi lemah. Lemahnya ikatan tersebut menyebabkan ion-ion pada mineral tersebut mudah dilepas. Batuan fosfat yang mampu melepas ion karbonat dengan lebih cepat, dalam tanah akan menghasilkan ion OH^- yang lebih banyak akibat hidrolisis ion CO_3^{2-} . Dengan demikian pemberian batuan fosfat dengan dosis yang lebih tinggi akan semakin meningkatkan pH tanah.

Pada tanah masam fosfat yang terlarut akan segera bereaksi dengan ion aluminium yang merupakan salah satu penyebab kemasaman dalam tanah. Kelarutan fosfat yang lebih tinggi pada batuan fosfat yang dikalsinasi daripada tanpa kalsinasi diduga akan mengikat Al yang lebih banyak. Dengan terjadinya reaksi pengikatan antara

fosfat dengan aluminium, maka jumlah ion aluminium dalam larutan tanah yang akan dihidrolisis oleh H_2O akan menurun sehingga ion H^+ yang dihasilkan semakin sedikit. Hal ini diduga menyebabkan pemberian TSP dengan kelarutan yang tinggi, mampu mengurangi terjadinya hidrolisis aluminium sehingga terjadi penurunan kemasaman yang tertinggi dibanding dengan sumber fosfat lainnya.

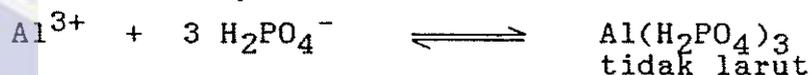
Aluminium Dapat Ditukar

Hasil pengukuran Aluminium dapat ditukar (Al-dd) disajikan pada Tabel Lampiran 4, sedangkan hasil analisis sidik ragamnya tertera pada Tabel Lampiran 11.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam terlihat bahwa pengaruh sumber fosfat, dosis, maupun interaksi antara keduanya sangat nyata menurunkan jumlah Al-dd dalam tanah. Hal ini berarti bahwa baik sumber fosfat maupun dosis bekerja sama dalam saling mempengaruhi penurunan jumlah Al-dd.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa kandungan Al-dd akibat pemberian pupuk fosfat yang berasal dari TSP nyata lebih rendah daripada pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi maupun tanpa kalsinasi. Pemberian P dalam jumlah yang besar dapat mengurangi kelarutan aluminium. Tan (1982) menjelaskan bahwa P yang berasal dari pupuk dapat bereaksi dengan Al^{3+} membentuk $Al(H_2PO_4)_3$ yang tidak

larut dengan persamaan reaksi berikut:



Tabel 3. Nilai Rataan Jumlah Al-dd (me/100 g) setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

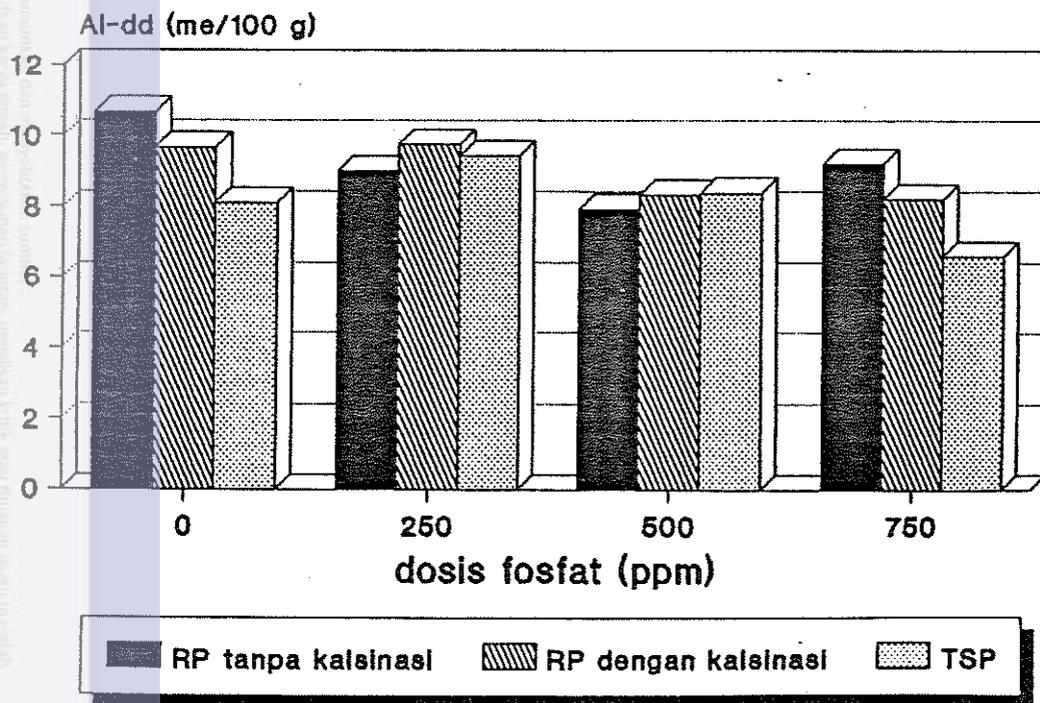
Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat			rataan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	10.67 f*	9.67 fe	8.10 cb	9.48 a
250	8.99 cbde	9.75 fe	9.43 de	9.39 a
500	7.92 b	8.33 cbd	8.39 cbd	8.21 b
750	9.20 cde	8.20 cb	6.59 a	7.99 b
rataan (A)	9.195 a	8.99 a	8.13 b	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Pupuk TSP dikenal mempunyai kelarutan yang tinggi sehingga pemberian TSP ke dalam tanah akan meningkatkan ketersediaan ion fosfat (H_2PO_4^-). Hal inilah yang menyebabkan TSP mampu menurunkan kandungan Al-dd lebih rendah daripada sumber fosfat lainnya, dimana fosfat terlarut dari TSP akan mengendapkan ion Al^{3+} menjadi $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ lebih banyak.

Batuan fosfat selain mengendapkan aluminium melalui fosfat yang terlarut, juga mampu menetralkan aluminium

melalui bahan kapur yang dikandungnya. Kussow (1971) menerangkan bahwa ion hidroksi (OH^-) yang terbentuk dari hidrolisis ion karbonat akan bereaksi dengan aluminium membentuk senyawa $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang tidak larut. Adanya penurunan Al-dd pada perlakuan tanpa dosis diduga akibat pemberian kapur sebagai pupuk dasar. Walaupun batuan fosfat yang dikalsinasi maupun tanpa kalsinasi mampu menurunkan jumlah Al-dd melalui bahan kapur dan P, namun belum cukup untuk mengendapkan aluminium sebanyak pengendapan yang dilakukan oleh TSP (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Penurunan Al-dd pada Dosis yang sama

Uji lanjut BNT memperlihatkan bahwa pemberian pupuk fosfat hingga dosis 750 ppm menurunkan kandungan Al-dd lebih rendah dibanding pemberian dosis 500 ppm walau tidak secara nyata. Tetapi pemberian TSP pada dosis 750 ppm mampu menurunkan Al-dd dengan nyata.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa terjadi kenaikan jumlah Al-dd oleh pemberian batuan fosfat yang tidak dikalsinasi pada dosis 750 ppm daripada pemberian 500 ppm. Hal ini diduga karena adanya peningkatan taraf pelapukan Al-P yang tidak dapat diimbangi oleh pengikatan fosfat terlarut. Berbeda dengan batuan fosfat yang dikalsinasi, aluminium yang terlepas akibat pelapukan Al-P diduga dapat diendapkan kembali oleh fosfat karena fosfat terlarut dari batuan fosfat yang dikalsinasi lebih cepat tersedia dibandingkan batuan fosfat tanpa kalsinasi.

Kapasitas Tukar Kation

Pemberian fosfat pada tanah ini meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah. Hasil pengukuran nilai KTK tanah disajikan pada Tabel Lampiran 5. Analisis sidik ragam dicantumkan pada Tabel Lampiran 12.

Analisis sidik ragam nilai KTK menunjukkan bahwa sumber fosfat dan pemberian dosis memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan nilai KTK tanah. Demikian juga interaksi antara sumber fosfat dan dosis

memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan KTK tanah.

Kapasitas Tukar Kation (KTK) suatu tanah menggambarkan kemampuan koloid tanah untuk menjerap dan menukarkan kation-kation (Tan, 1982). Pertukaran kation dalam tanah merupakan suatu reaksi kimia bolak-balik sehingga memungkinkan ion hara tersedia bagi tanaman. Soepardi (1983) menyatakan bahwa pertukaran kation pada kebanyakan tanah berubah dengan pH. Pada pH sangat rendah, hanya muatan permanen liat dan sebagian kecil dari muatan koloid organik memegang ion yang dapat digantikan melalui pertukaran kation. Dengan naiknya pH, hidrogen yang diikat sisa koloid organik dan anorganik berionisasi dan dapat digantikan. Ion hidroksi aluminium yang terjerap juga akan keluar dan membentuk $Al(OH)_3$. Dengan demikian terciptanya tapak baru pada koloid mineral akan menaikkan kapasitas tukar kation.

Tabel 4 memperlihatkan bahwa peningkatan nilai rata-rata KTK yang tertinggi merupakan kombinasi pemupukan dengan TSP pada tingkat dosis 500 ppm, sedangkan peningkatan KTK yang terendah pada perlakuan batuan fosfat tanpa kalsinasi dengan dosis 250 ppm.

Uji BNT terhadap nilai rata-rata peningkatan KTK, memperlihatkan bahwa pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi pada dosis 250 ppm memberikan hasil yang

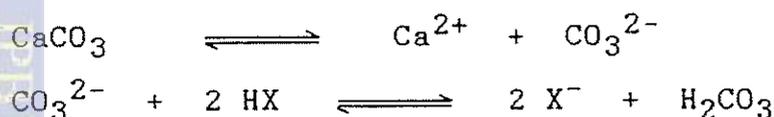
tidak berbeda nyata dengan peningkatan KTK oleh batuan fosfat yang tidak dikalsinasi hingga dosis 750 ppm.

Tabel 4. Nilai Rataan Peningkatan KTK (me/100 g) setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

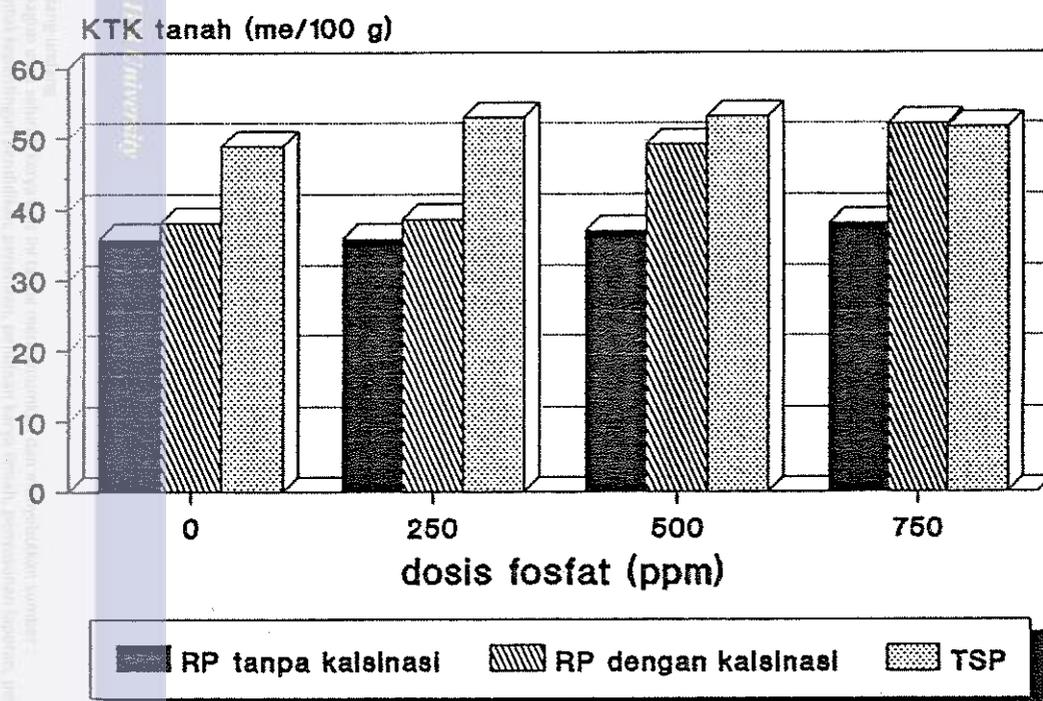
Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat (A)			rataan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	35.79 a*	38.09 a	48.87 b	40.92 a
250	35.84 a	38.58 a	52.90 d	42.62 b
500	37.03 a	49.12 cb	53.04 d	46.40 c
750	38.00 a	52.03 cd	51.53 cbd	47.00 c
rataan (A)	36.67 a	44.45 b	51.59 c	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Hal ini dapat dipahami karena batuan fosfat yang dikalsinasi mengandung CaCO_3 yang mudah dilepas akibat perubahan struktur mineral setelah kalsinasi. Adanya ion karbonat akan membuat pH tanah naik, sehingga hidrogen yang diikat koloid tanah keluar dari kompleks jerapan dan menghasilkan muatan negatif yang merupakan tapak pertukaran baru, melalui reaksi berikut:



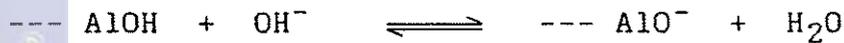
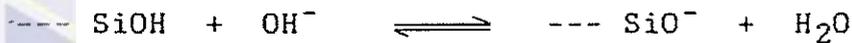
dimana X merupakan mineral liat dengan kompleks jerapan. Dengan dihasilkannya mineral liat bermuatan negatif akan meningkatkan kapasitas tukar kation. Peningkatan KTK tanah akibat pengaruh sumber fosfat dan dosis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Peningkatan KTK pada Dosis yang sama

Pemberian batuan fosfat akan semakin meningkatkan pH. Peningkatan pH menyebabkan ion hidrogen berdisosiasi sehingga menghasilkan muatan negatif pada koloid tanah. Menurut Tisdale *et al.* (1985) sesuai dengan peningkatan pH, muatan negatif terbentuk pada

patahan mineral liat melalui reaksi:



Dengan adanya muatan negatif pada mineral liat tersebut, maka tanah mempunyai kemampuan yang besar untuk menjerap kation-kation. Reaksi tersebut diduga memungkinkan penambahan batuan fosfat hingga dosis 750 ppm memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan TSP dalam meningkatkan KTK tanah. Peningkatan KTK tanah akan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman melalui kation-kation yang terjerap.

P-tersedia dalam Tanah

Hasil pengukuran terhadap ketersediaan P-tanah disajikan pada Tabel Lampiran 6, sedangkan analisis sidik ragamnya disajikan pada Tabel Lampiran 13.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa sumber fosfat maupun dosis masing-masing memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap ketersediaan P dalam tanah. Demikian juga interaksi antara sumber fosfat dan dosis meningkatkan P-tersedia tanah dengan sangat nyata.

Nilai rata-rata pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa nilai P-tersedia tertinggi diberikan oleh TSP pada dosis tertinggi, sedangkan ketersediaan P tanah yang terendah pada pemberian batuan fosfat tanpa kalsinasi dengan dosis

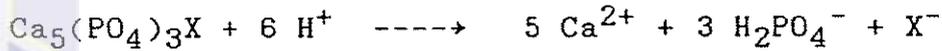
250 ppm. Kecenderungan peningkatan P-tersedia dalam tanah oleh berbagai sumber fosfat dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 5. Nilai Rataan P-tersedia dalam Tanah (ppm) setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

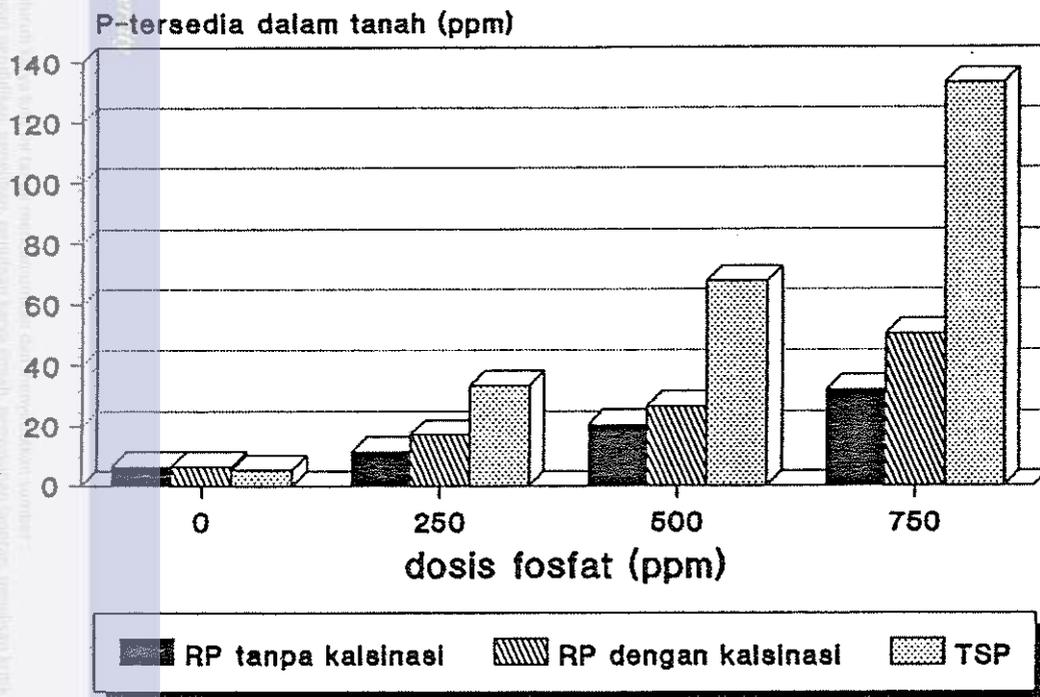
Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat			rataan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	6.39 a*	6.73 a	5.20 a	6.11 a
250	11.47 ab	17.13 abc	33.42 d	20.67 b
500	20.46 bcd	26.62 cd	67.60 f	38.23 c
750	31.77 d	50.41 e	133.20 g	71.80 d
rataan (A)	17.52 a	25.22 b	59.86 c	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Pemberian fosfat pada tanah akan meningkatkan P-tersedia baik yang berasal dari batuan fosfat yang dikalsinasi, tanpa kalsinasi, maupun dengan TSP (Tabel 5). Chien *et al.* (1978) serta Rosand *et al.* (1982) yang meneliti tentang penggunaan pupuk batuan fosfat untuk tanah masam menyimpulkan bahwa ion H^+ dari larutan tanah merupakan faktor yang menyebabkan pupuk fosfat lebih mudah larut dan tersedia. Rosand *et al.* (1982) menggambarannya sebagai:



Adanya karbonat dalam batuan fosfat dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dalam tanah. Ion karbonat memungkinkan terjadinya penetralan dan pengendapan Al^{3+} menjadi $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga terjadi pengurangan pengikatan fosfat oleh aluminium.



Gambar 4. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap P-tersedia dalam Tanah pada Dosis yang sama

Uji BNT terhadap nilai rata-rata ketersediaan fosfat dalam tanah memperlihatkan bahwa pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi dengan dosis 500 ppm secara statistik

memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan pemberian batuan fosfat tanpa kalsinasi pada dosis 750 ppm. Hal ini dapat dimengerti bahwa disamping adanya faktor ion H^+ dalam tanah masam, kalsinasi juga dapat mempengaruhi ketersediaan fosfat. Kalsinasi pada batuan fosfat mengakibatkan ion fosfat dalam mineral tersebut lebih mudah terlepas sehingga ketersediaannya dalam tanah lebih tinggi dibanding batuan fosfat tanpa kalsinasi. Lemahnya ikatan ion-ion dalam struktur mineral batuan fosfat juga mengakibatkan ion karbonat akan lebih mudah terlepas yang memungkinkan pengendapan aluminium sehingga fosfat tidak akan terikat oleh aluminium.

Pemberian fosfat dalam bentuk TSP masih memberikan ketersediaan P lebih banyak dibandingkan sumber fosfat lainnya. Walaupun demikian pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi hingga 500 ppm ternyata dapat memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan pemberian TSP pada dosis 250 ppm. Peningkatan TSP selanjutnya akan memberikan hasil yang berbeda nyata. Pemberian pupuk P dengan dosis yang rendah dapat menyebabkan fosfat yang terlarut kurang tersedia akibat difiksasi oleh besi dan aluminium. Fosfat baru tersedia jika semua besi dan aluminium terlarut telah mengendap. Dengan demikian peningkatan dosis akan semakin meningkatkan ketersediaan fosfat.

Tinggi Tanaman

Hasil pengukuran terhadap tinggi tanaman disajikan pada Tabel Lampiran 7, analisis sidik ragam tercantum pada Tabel Lampiran 14.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa baik sumber fosfat maupun dosis mempengaruhi tinggi tanaman dengan sangat nyata, sedangkan interaksinya tidak saling mempengaruhi tinggi tanaman.

Tinggi tanaman merupakan gambaran yang paling mudah untuk menduga kondisi pertumbuhan tanaman. Tabel 6 memperlihatkan tinggi tanaman saat berumur enam minggu setelah tanam.

Pemberian TSP menghasilkan pertumbuhan yang tertinggi bagi tanaman, diikuti oleh pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi (Tabel 6). Sedangkan pertumbuhan yang terendah adalah pada pemberian fosfat dengan sumber batuan fosfat tanpa kalsinasi. Uji BNT terhadap nilai rata-rata tinggi tanaman menunjukkan bahwa TSP memberikan perbedaan yang nyata lebih tinggi terhadap pertumbuhan tanaman dibanding sumber fosfat lainnya. Batuan fosfat yang dikalsinasi walaupun memberikan pertumbuhan yang lebih tinggi daripada batuan fosfat tanpa kalsinasi tetapi tidak terdapat perbedaan yang nyata dalam peningkatan tinggi tanaman tersebut.

Pertumbuhan tanaman yang lebih tinggi pada pemberian TSP dibandingkan sumber fosfat lainnya diduga bahwa selain tersedianya P yang lebih banyak bagi tanaman, TSP juga mampu dengan cepat menyediakan unsur-unsur hara lainnya karena adanya peningkatan pH yang lebih baik. Pengaruh sumber fosfat dan dosis terhadap tinggi tanaman dapat dilihat pada Gambar 5.

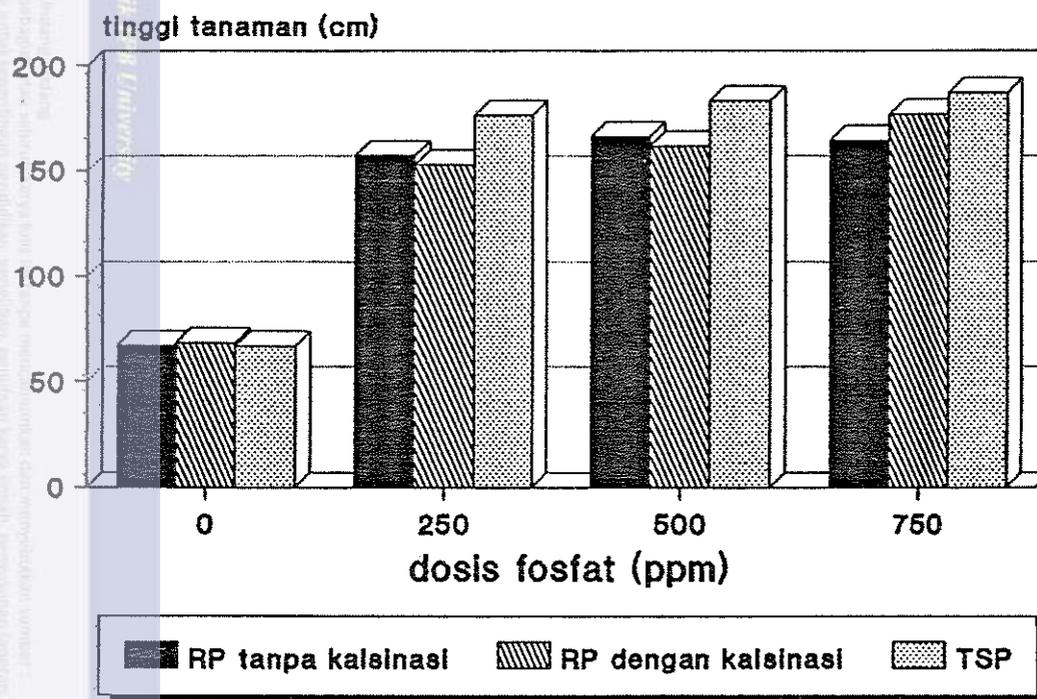
Tabel 6. Nilai Rataan Tinggi Tanaman (cm) Umur 6 Minggu Setelah Tanam dengan Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat (A)			rataan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	67.24	68.58	66.80	67.54 a*
250	157.30	152.90	176.20	162.10 b
500	166.30	161.60	182.90	170.20 cb
750	164.50	176.90	186.90	176.10 c
rataan (A)	138.80 a*	140.00 a	153.20 b	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Soepardi (1983) menyatakan bahwa disamping unsur nitrogen, tidak ada unsur lain yang sekritikal fosfor bagi pertumbuhan tanaman. Kekurangan unsur P adalah sangat gawat karena dapat menyebabkan tanaman tidak mampu menyerap unsur lain. Penambahan sejumlah P ke dalam

tanah sangatlah dibutuhkan mengingat fosfor selain sebagai pembawa energi dan senyawa kompleks yang penting bagi pertumbuhan, juga berfungsi sebagai aktivator berbagai enzim dalam tanaman.



Gambar 5. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Tinggi Tanaman pada Umur 6 Minggu Setelah Tanam pada Dosis yang sama

Berdasarkan Tabel 6 pengaruh fosfat sebanyak 500 ppm diduga cukup untuk meningkatkan ketersediaan P bagi pertumbuhan tanaman. Uji BNT memperlihatkan bahwa penambahan fosfat hingga 750 ppm tidak memberikan perbedaan yang nyata bagi pertumbuhan tanaman. Pemberian

fosfat yang berlebihan dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Bobot Kering Bagian Atas Tanaman

Hasil penetapan bobot kering bagian atas tanaman disajikan pada Tabel Lampiran 8, sedang analisis sidik ragamnya tercantum pada Tabel Lampiran 15.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa baik sumber fosfat maupun dosis mempengaruhi bobot kering bagian atas tanaman dengan sangat nyata. Interaksi antara sumber fosfat dan dosis mempengaruhi bobot kering bagian atas tanaman dengan nyata.

Tabel 7 memperlihatkan bahwa perlakuan dengan TSP memberikan nilai yang terbesar dalam menghasilkan bobot kering bagian atas tanaman, diikuti dengan perlakuan batuan fosfat yang dikalsinasi dan yang terendah pada perlakuan batuan fosfat yang tidak dikalsinasi.

Pemberian batuan fosfat dengan kalsinasi walaupun memberikan hasil bobot kering bagian atas tanaman yang lebih besar daripada batuan fosfat tanpa kalsinasi tetapi secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata untuk setiap tingkat dosis. Hal ini memperlihatkan bahwa ketersediaan fosfat yang lebih besar dari batuan fosfat yang dikalsinasi belum cukup untuk mendukung peningkatan bobot kering tanaman dengan lebih nyata.

Tabel 7. Nilai Rataan Bobot Kering Bagian Atas Tanaman (gr) setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

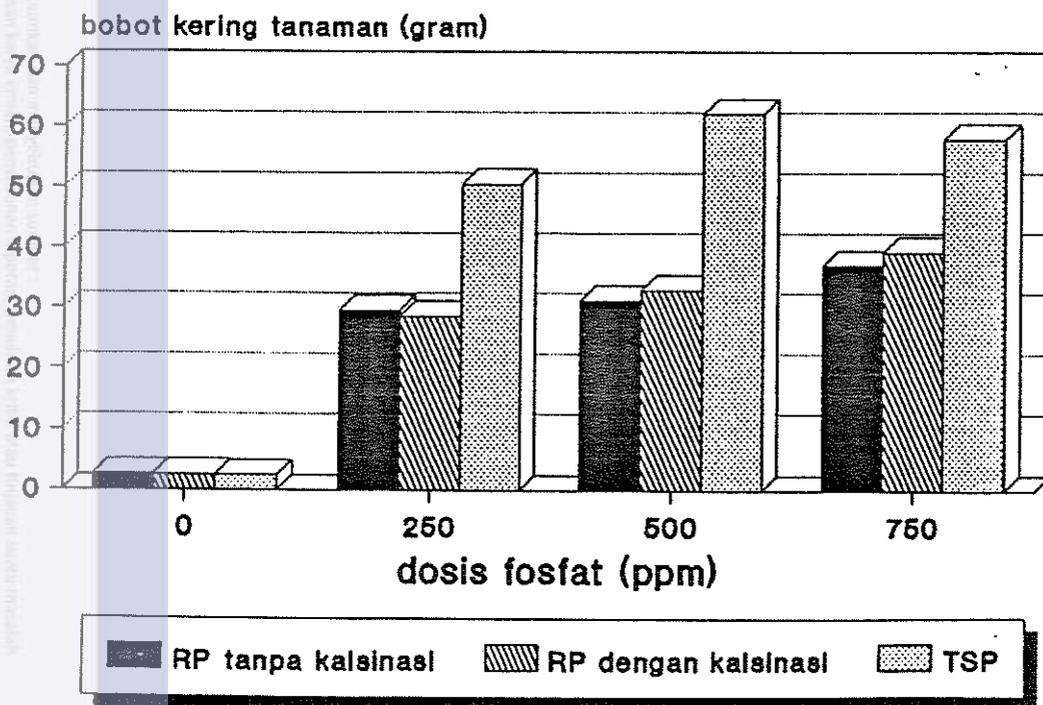
Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat (A)			rataaan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	2.65 a*	2.53 a	2.48 a	2.56 a
250	29.71 b	28.67 b	50.69 cd	36.36 b
500	31.35 b	33.00 b	62.17 d	42.17 cb
750	37.15 b	39.42 cb	58.02 d	44.86 c
rataan (A)	25.22 a	25.91 a	43.34 b	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Pemupukan fosfat dengan TSP pada dosis tertinggi cenderung menurunkan bobot kering bagian atas tanaman, berbeda dengan pemberian batuan fosfat dimana peningkatan dosis hingga 750 ppm belum menurunkan bobot kering bagian atas tanaman (Gambar 6). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan tingkat kelarutan bahan pupuk, kandungan dan komposisi unsur-unsur dalam masing-masing pupuk, serta adanya gangguan terhadap keseimbangan hara di dalam larutan tanah.

Pupuk TSP yang mempunyai tingkat kelarutan fosfat tinggi akan lebih meningkatkan ketersediaan fosfat bagi tanaman dibanding sumber fosfat lainnya. Tetapi

pemberian yang berlebihan akan mengganggu penyerapan unsur hara lainnya. Hal ini terjadi karena fosfat yang berlebihan menyebabkan beberapa unsur mikro seperti seng (Zn) menjadi tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Seng (Zn) merupakan stimulator sintesa auksin yang berfungsi merangsang perkembangan jaringan meristem. Defisiensi unsur Zn ataupun unsur hara lainnya akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan sel tanaman. Hal ini terlihat pada pemberian TSP dengan dosis tertinggi, dimana peningkatan dosis dari 500 ppm hingga 750 ppm ternyata menurunkan bobot kering bagian atas tanaman.



Gambar 6. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Bobot Kering Bagian Atas Tanaman pada Dosis yang sama

Batuan fosfat dengan kelarutan yang lebih rendah dari TSP selain mengandung P dan bahan kapur, juga dapat mengandung unsur ikutan lainnya. Unsur ikutan dalam batuan fosfat diduga dapat menetralkan pengaruh P yang kurang menguntungkan jika diberi dalam dosis yang tinggi, sehingga akan terus meningkatkan bobot kering bagian atas tanaman.

Penilaian keefektifan batuan fosfat terhadap TSP dapat dilakukan dengan menggunakan nilai Relative Agronomic Effectiveness (RAE). Nilai RAE pada Tabel 8 merupakan persentase kenaikan hasil bahan kering bagian atas tanaman karena penggunaan suatu pupuk dibanding dengan kenaikan hasil dengan menggunakan pupuk standard (Chien *et al.*, 1978; Moersidi, 1987).

Tabel 8. Nilai RAE dari Batuan Fosfat Terhadap TSP Berdasarkan Bobot Kering Bagian Atas Tanaman

Sumber Fosfat	Dosis (ppm)		
	250	500	750
TSP	100	100	100
RP tanpa kalsinasi	56	48	62
RP dengan kalsinasi	54	51	67

Berdasarkan hasil bahan kering bagian atas tanaman maka keefektifan batuan fosfat yang dikalsinasi mencapai

67 % dari efektifitas TSP, sedangkan keefektifan tertinggi dari batuan fosfat tanpa kalsinasi terhadap TSP mencapai 62 % pada dosis yang sama (750 ppm).

Kadar P tanaman Bagian Atas

Hasil analisa kadar P bagian atas tanaman disajikan pada Tabel Lampiran 9, sedangkan analisis sidik ragamnya tercantum pada Tabel Lampiran 16.

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa baik sumber fosfat maupun dosis memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar P bagian atas tanaman, sedangkan interaksinya tidak memberikan pengaruh yang nyata.

Tabel 9 memperlihatkan bahwa kadar P bagian atas tanaman dengan perlakuan batuan fosfat yang tidak dikalsinasi merupakan yang tertinggi, diikuti oleh pemberian batuan fosfat yang dikalsinasi, dan yang terendah pada pemberian dengan TSP. Uji BNT pada Tabel 9 memperlihatkan bahwa kadar P bagian atas tanaman antara batuan fosfat tanpa kalsinasi maupun dengan kalsinasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.

Kadar P bagian atas tanaman yang lebih rendah pada pemberian pupuk TSP dan batuan fosfat yang dikalsinasi diduga bahwa tanaman jagung dengan perlakuan tersebut mengalami penuaan lebih dahulu. Penuaan yang lebih cepat

disebabkan oleh ketersediaan P yang lebih banyak. Fosfat pada saat ini sebagian besar akan ditranslokasikan untuk memulai pembentukan buah dan biji. Translokasi P ke bagian pembentukan buah dan biji akan mengurangi kadar P jaringan tanaman yang terukur, sehingga pemberian TSP akan memberikan kadar P yang terendah.

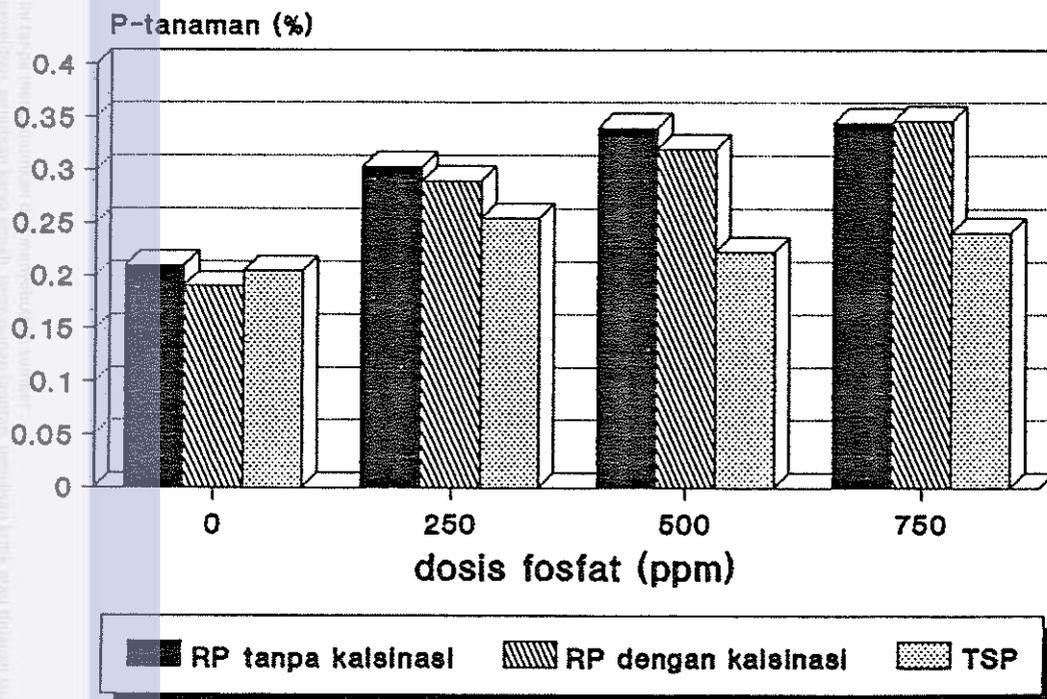
Tabel 9. Nilai Rataan Kadar P Bagian Atas Tanaman (%) setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat pada Dosis yang sama

Dosis (ppm) (B)	Sumber Fosfat (A)			rataan (B)
	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP	
0	0.21	0.19	0.21	0.20 a*
250	0.30	0.29	0.26	0.28 b
500	0.34	0.32	0.22	0.29 b
750	0.35	0.35	0.24	0.31 b
rataan (A)	0.30 b*	0.29 b	0.23 a	

*) Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris dan kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5 % menurut uji BNT

Peningkatan dosis fosfat hingga taraf 500 ppm dan 750 ppm cenderung tidak berbeda nyata meningkatkan P bagian atas tanaman (Tabel 9). Kebutuhan kritis tanaman jagung akan unsur P untuk pertumbuhannya diduga sudah tercukupi walaupun belum maksimum sehingga penambahan jumlah fosfat ke dalam tanah akan digunakan untuk

pembentukan buah dan biji. Pemberian fosfat yang cukup penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena P berperan besar dalam pembentukan adenosintriphosphate (ATP) dan sejumlah besar senyawa fosforilasi lainnya. Defisiensi unsur ini akan mengakibatkan gangguan yang nyata terhadap metabolisme dan perkembangan tanaman. Gambar 7 memperlihatkan kadar P-tanaman bagian atas akibat pengaruh sumber fosfat dan dosis.



Gambar 7. Pengaruh Sumber Fosfat terhadap Kadar P-tanaman Bagian Atas pada Dosis yang sama

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemberian pupuk fosfat yang berasal dari batuan fosfat tanpa kalsinasi, batuan fosfat yang dikalsinasi, maupun TSP meningkatkan nilai pH tanah, kapasitas tukar kation, ketersediaan P dalam tanah, tinggi tanaman, bobot kering bagian atas tanaman, kadar P bagian atas tanaman, dan menurunkan jumlah Al dapat ditukar dengan sangat nyata. Interaksi antara sumber fosfat dan dosis mempengaruhi kapasitas tukar kation, ketersediaan P dalam tanah, dan jumlah Al dapat ditukar dengan sangat nyata, serta mempengaruhi bobot kering bagian atas tanaman dengan nyata.

Penambahan batuan fosfat yang dikalsinasi ke dalam tanah memberikan perbedaan yang nyata dalam meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation, dan P-tersedia dalam tanah dibandingkan dengan batuan fosfat tanpa kalsinasi.

Keefektifan batuan fosfat yang dikalsinasi untuk digunakan secara langsung dalam penelitian ini mencapai 67 % dari efektifitas pupuk TSP, sedangkan efektifitas batuan fosfat tanpa kalsinasi terhadap TSP mencapai 62 % pada tingkat dosis yang tertinggi.

Efektifitas batuan fosfat yang digunakan secara langsung akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

(1) sifat-sifat dan reaktivitas batuan fosfat, (2) sifat-sifat tanah, dan (3) sifat-sifat tanaman.

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui pengaruh residu batuan fosfat yang dikalsinasi pada musim tanam berikutnya terhadap ketersediaan P dalam tanah dan sifat-sifat kimia tanah lainnya, serta pengaruhnya terhadap tanaman. Uji kalibrasi di lapang juga diperlukan untuk mengetahui pengaruh batuan fosfat yang dikalsinasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. A Wiley Interscience Publ. John Wiley and Sons. New York.
- Bennema, J. 1983. The Red and Yellow Soils of the Tropical and Subtropical Upland. J. Soil Sci. 95: 250-257.
- Black, C. A. 1968. Soil Plant Relationships. 2nd ed. John Wiley and Sons. New York.
- Bohn, H. L., B. L. Mc Neal, and G. A. O'Connor. 1979. Soil Chemistry. John Wiley and Sons. New York.
- Buckman, H. O., and Brady, N. C. 1961. The Nature and Properties of Soil. 2nd ed. The Macmillan Co. New York.
- Chien, S. H., and L. L. Hammond. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 935-939.
- Departemen Pertambangan dan Energi. 1984. Batuan Fosfat, Belerang, Yodium, Dolomit, Lempung Bentonit, Kaolin, dan Asbes. Info-Brosur 5. Direktorat Sumberdaya Mineral. Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung.
- Hardjowigeno, S. 1985. Klasifikasi Tanah dan Lahan. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jackson, M. L. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs. New York.
- Kasoep, R. 1983. Fosfat Alam di Indonesia. Direktorat Sumberdaya Mineral. Bandung.
- Komaruddin. 1974. Penelitian Pengolahan Batuan Fosfat untuk Pupuk Alam Asal Jampang Tengah, Sukabumi. Balai Penelitian Tambang dan Pengolahan Bahan Galian. Bandung.

- Kusartuti. 1987. Sumber Pupuk Fosfat serta Penyediaan dan Kebutuhannya di Indonesia. Direktorat Jenderal Kimia Dasar, Departemen Perindustrian. Jakarta.
- Kussow, W. R. 1971. Introduction to Soil Chemistry. Soil Fertility Project. Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Leiwakabessy, F. M. 1988. Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Maikusbiono. 1989. Pengaruh Kalsinasi terhadap Perubahan Sifat Kimia dan Mineral Batuan Fosfat Guano Jampang Tengah, Sukabumi. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1979. Principles of Plant Nutrition. Inter. Potash Inst. Worblaufen Bern. Switzerland.
- Millar, C. E. 1959. Soil Fertility. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Moersidi, S. 1987. Kualitas P-alam di Indonesia sebagai Pupuk Sumber Fosfat. Pusat Penelitian Tanah. Bogor.
- Palmer, B., and R. J. Gilkes. 1979. Calcined Christmas Island C-Grade Rock Phosphate Fertilizers. Australian J. Soil Res. 17: 467-481.
- Rosand, P. C., and A. Wild. 1982. Direct Use of Low Grade Phosphate Rock from Brazil as Fertilizer: Effect of Reaction Time in Soil. Plant and Soil 65: 351-362.
- Sanchez, P. A. 1976. Properties and Management of Soil in the Tropics. John Wiley and Sons. New York.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Soepraptohardjo, M. 1978. Jenis-jenis Tanah di Indonesia. Lembaga Penelitian Tanah. Bogor.
- Sri Adiningsih, J. 1987. Penelitian Pemupukan P pada Tanaman Pangan di Lahan Kering Masam. PPT. Bogor.
- Staf Peneliti PPT. 1983. Term of Reference Tipe A No: 59/1983, P3MT-PPT. Bogor.

Tan, K. H. 1982. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th ed. Macmillan Publ. Co. New York.

Widjaja-Adhi, I. P. G., dan M. Sudjadi. 1987. Status dan Kelakuan Fosfat Tanah-tanah di Indonesia. Pusat Penelitian Tanah. Bogor.

Wisaksono dan Tan K. H. 1960. Ilmu Tubuh Tanah II. PT. Pradnya Pramita



Hias Cetak Berhimpun! Undang-undang

1. Ombudsman sebagai unsur atau salah satu lembaga yang bertugas melaksanakan dan menegakkan hukum
2. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
3. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
4. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
5. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
6. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
7. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
8. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
9. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu
10. Berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu, berkedudukan sebagai lembaga tertinggi dan terdahulu

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1. Beberapa Sifat Kimia dan Fisika Tanah Podsolik Merah Kuning Jasinga

Sifat Tanah	Hasil penetapan	Metoda
pH H ₂ O 1:1	4.30	pH meter
pH KCl 1:1	3.20	pH meter
C-organik (%)	3.99	Walkley dan Black
N-total (%)	0.35	Kjeldahl
P-tersedia (ppm)	2.43	Bray-I
Susunan Kation		N NH ₄ OAc pH 7.0
K (me/100 g)	0.10	
Na (me/100 g)	0.85	
Ca (me/100 g)	1.38	
Mg (me/100 g)	1.83	
KTK (me/100 g)	10.30	N NH ₄ OAc pH 7.0
Al-dd (me/100 g)	18.06	N KCl, titrasi
H-dd (me/100 g)	tu*	N KCl, titrasi
Fe (ppm)	16.00	N NH ₄ OAc pH 4.8
Tekstur:		Pipet
Liat (%)	53.70	
Debu (%)	28.90	
Pasir (%)	17.40	

*) tu = tidak terukur

Tabel Lampiran 2. Hasil Analisis Tiga Bahan Pupuk Fosfat

Jenis Analisa	RP tanpa kalsinasi	RP dengan kalsinasi	TSP
P ₂ O ₅ -total (%)	25.59	31.18	45.77
P ₂ O ₅ -as.sitrat 2 % (%)	9.67	13.81	44.68
P ₂ O ₅ dalam air (%)	0.14	0.23	41.76
CaO (%)	19.57	23.58	18.70

Tabel Lampiran 3. Hasil Pengukuran pH Tanah setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat.

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	pH tanah		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	4.65	4.50	4.39
	250	4.85	4.98	4.83
	500	4.86	4.91	5.15
	750	5.03	5.05	4.93
RP dengan kalsinasi	0	4.53	4.67	4.52
	250	4.94	4.97	5.04
	500	5.10	5.07	5.07
	750	5.15	5.15	5.18
TSP	0	4.70	4.73	4.80
	250	5.10	5.22	5.35
	500	5.58	5.38	5.42
	750	5.41	5.43	5.35

Tabel Lampiran 4. Hasil Pengukuran Al-dd setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	Al-dd (me/100 g)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	11.15	10.70	10.16
	250	9.11	9.30	8.58
	500	8.09	7.18	8.48
	750	8.82	9.52	9.28
RP dengan kalsinasi	0	10.20	9.53	9.28
	250	9.37	10.82	9.06
	500	8.08	8.58	8.32
	750	8.35	8.45	8.78
TSP	0	8.82	7.40	8.08
	250	9.98	8.32	9.99
	500	7.44	8.26	9.47
	750	6.52	5.69	7.57

Tabel Lampiran 5. Hasil Pengukuran KTK setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	KTK (me/100 g)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	37.17	34.53	35.66
	250	36.38	35.91	35.24
	500	36.88	36.18	38.04
	750	36.33	38.36	39.32
RP dengan kalsinasi	0	38.95	37.87	37.45
	250	35.82	42.85	37.07
	500	46.64	50.21	50.49
	750	51.27	53.34	51.47
TSP	0	48.64	50.18	47.79
	250	53.25	51.22	54.24
	500	51.15	54.57	53.39
	750	48.63	53.04	51.92

Tabel Lampiran 6. Hasil Pengukuran P-tersedia setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	P-tersedia (ppm)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	3.12	5.42	10.61
	250	10.74	13.98	9.68
	500	25.02	15.88	20.48
	750	18.21	44.81	22.29
RP dengan kalsinasi	0	5.74	11.67	2.79
	250	16.89	15.93	18.57
	500	28.90	25.36	25.58
	750	63.83	42.12	45.29
TSP	0	8.01	2.41	5.19
	250	41.19	30.54	28.51
	500	77.02	62.58	63.21
	750	150.35	131.53	117.73

Tabel Lampiran 7. Hasil Pengukuran Tinggi Tanaman setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	Tinggi (cm)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	69.23	71.33	61.15
	250	166.80	156.30	148.88
	500	167.75	163.73	167.28
	750	170.55	156.53	166.28
RP dengan kalsinasi	0	57.60	77.73	70.40
	250	158.33	144.63	155.75
	500	175.68	148.10	160.90
	750	188.15	173.65	169.05
TSP	0	67.68	81.18	51.55
	250	164.33	175.35	188.90
	500	170.73	188.65	189.28
	750	192.00	181.35	187.25

Tabel Lampiran 8. Hasil Pengukuran Bobot Kering Bagian Atas Tanaman setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	Bobot Kering Tanaman (gr)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	2.25	3.21	2.50
	250	34.45	26.79	27.90
	500	34.65	24.79	34.60
	750	36.55	44.90	30.00
RP dengan kalsinasi	0	2.25	3.55	1.80
	250	32.90	27.10	26.00
	500	38.95	24.81	35.25
	750	47.25	39.95	31.05
TSP	0	2.25	2.80	2.40
	250	45.12	47.75	59.20
	500	56.81	66.49	63.20
	750	75.35	61.91	62.81

Tabel Lampiran 9. Hasil Pengukuran Kadar P-tanaman setelah Pemberian Tiga Sumber Fosfat

Sumber Fosfat	Dosis (ppm P)	Kadar P-tanaman (%)		
		1	2	3
RP tanpa kalsinasi	0	0.18	0.23	0.22
	250	0.29	0.34	0.28
	500	0.29	0.40	0.34
	750	0.41	0.29	0.34
RP dengan kalsinasi	0	0.20	0.17	0.20
	250	0.28	0.30	0.30
	500	0.38	0.32	0.26
	750	0.32	0.33	0.39
TSP	0	0.14	0.22	0.26
	250	0.26	0.27	0.24
	500	0.23	0.25	0.19
	750	0.24	0.20	0.29

Tabel Lampiran 10. Daftar Sidik Ragam pH tanah

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	0.8308	0.4154	53.43**
Dosis (B)	3	1.9550	0.6516	83.81**
A x B	6	0.0628	0.0105	1.35
Galat	24	0.1866	0.0078	
Jumlah	35	3.0352	1.0853	

cv = 7.31 %

Nilai F-tabel

Sumber Fosfat (A)	=	3.40	(5 %)*
	=	5.61	(1 %)**
Dosis (B)	=	3.01	(5 %)*
	=	4.72	(1 %)**
Interaksi (AxB)	=	2.51	(5 %)*
	=	3.67	(1 %)**

Nilai F-tabel berlaku untuk semua daftar sidik ragam.

Tabel Lampiran 11. Daftar Sidik Ragam Aluminium Dapat Ditukar

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	7.6950	3.8470	8.24**
Dosis (B)	3	16.1900	5.3980	11.57**
A x B	6	14.0000	2.3330	4.99**
Galat	24	11.2000	0.4667	
Jumlah	35	49.0850	12.0447	

Tabel Lampiran 12. Daftar Sidik Ragam KTK Tanah

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	1336.00	668.20	205.40**
Dosis (B)	3	196.30	65.43	20.11**
A x B	6	309.80	51.64	15.87**
Galat	24	78.07	3.25	
Jumlah	35	1920.17	788.52	

cv = 16.75 %

Tabel Lampiran 13. Daftar Sidik Ragam P-tersedia dalam Tanah

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	12200.00	6102.00	95.05**
Dosis (B)	3	21620.00	7206.00	112.30**
A X B	6	10010.00	1668.00	25.99**
Galat	24	1541.00	64.19	
Jumlah	35	45371.00	15040.19	

Tabel Lampiran 14. Daftar Sidik Ragam Tinggi Tanaman

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	1527.00	763.70	8.15**
Dosis (B)	3	71040.00	23680.00	252.80**
A X B	6	906.00	151.00	1.61
Galat	24	2248.00	93.67	
Jumlah	35	75721.00	24688.37	

cv = 32.30 %

Tabel Lampiran 15. Daftar Sidik Ragam Bobot Kering Bagian Atas Tanaman

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	2532.00	1266.00	21.62**
Dosis (B)	3	10380.00	3461.00	59.12**
A X B	6	984.40	164.10	2.80*
Galat	24	1405.00	58.55	
Jumlah	35	15301.40	4949.65	

Tabel Lampiran 16. Daftar Sidik Ragam Kadar P-Tanaman

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F-hit.
Sumber Fosfat (A)	2	0.0316	0.0158	9.22**
Dosis (B)	3	0.0639	0.0213	12.41**
A x B	6	0.0178	0.0030	1.73
Galat	24	0.0412	0.0017	
Jumlah	35	0.1545	0.0418	

cv = 24.38 %