

TEKNIK APLIKASI ZEOLIT DI BIDANG PERTANIAN SEBAGAI BAHAN PEMBENAH TANAH

Suwardi

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB, Darmaga
Email: suwardi_bogor@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia adalah salah satu negara yang kaya akan simpanan zeolit. Aktivitas gunung api di negara ini jutaan tahun yang lalu banyak melepaskan tuf vulkanik sebagai sumber mineral zeolit. Sifat terpenting zeolit adalah memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, mempunyai kemampuan untuk menyerap ion ammonium dan memiliki struktur berpori yang unik. Karakteristik zeolit tersebut dapat digunakan untuk berbagai kegunaan bagi pertanian seperti bahan pembenah tanah, pupuk lepas lambat nitrogen, dan media pertumbuhan bagi tanaman perkebunan. Aplikasi zeolit sebagai pembenah tanah memberikan pengaruh yang baik jika diterapkan di tanah KTK rendah seperti Oxisol, Ultisol, dan beberapa Inceptisol dengan dosis tinggi sekitar 10-15 ton/ha. Meskipun zeolit memperbaiki sifat tanah dan produksi tanaman, namun hanya beberapa petani yang menggunakan zeolit karena alasan ekonomi. Oleh karena itu, teknik lainnya harus dikembangkan untuk mendorong petani menggunakan zeolit. Aplikasi zeolit dengan dosis rendah dapat dicampur langsung dengan urea dengan rasio 1:1 atau 30% jika campuran tersebut dalam bentuk pelet. Zeolit dapat diaplikasikan di industri dengan pembenah tanah lainnya seperti kompos, pengapuran, dan asam humat.

Kata Kunci: zeolit, kompos zeolit, pupuk lepas lambat, pembenah tanah, asam humat

ABSTRACT

TECHNIQUE OF ZEOLITE APPLICATION ON AGRICULTURAL AS A SOIL AMELIORANT. Indonesia is one of countries which is rich in zeolite deposits. Volcanic activities in this country millions years ago released much of volcanic tuff as source of zeolite materials. The most important of zeolite characteristics are high cation exchange capacity (CEC), capability to absorb ammonium ions, and their unique porous structures. Those characteristics can be used for many utilities of zeolite for agriculture such as soil ameliorant, slow release agent of nitrogen fertilizer, and growth media of horticultural plants. Application of zeolite as soil ameliorant gave good effect if applied in low CEC soil such as Oxisol, Ultisol, and some Inceptisol with high dosage of 10-15 ton/ha. Although zeolites improved the soil characteristics and crop production, only a few farmers used zeolites due to economical reasons. Therefore, other techniques should be developed for stimulating farmers to use zeolites. Application of zeolite with lower dosage can be mixed directly with urea in ratio of 1:1 or 30% if the mixtures are pelletized. Zeolite can be applied in company with other soil ameliorants such as compost, liming, and humic acid.

Keywords: zeolite, zeolite-compost, slow release fertilizer, soil ameliorant, humic acid

PENDAHULUAN

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari bahan tuf vulkan yang terjadi jutaan tahun lalu. Indonesia kaya akan mineral zeolit karena banyak gunung api yang mengeluarkan bahan piroklastik berbutir halus (tuf) bersifat asam dan berkomposisi riolitik bermasa gelas. Penyebaran batuan ini terutama mengikuti daerah busur dalam vulkanik yang tersebar luas di Pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara dan Maluku. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Teknologi Mineral (1990), lebih dari 50 deposit ditemukan dan

jenis mineral zeolit yang ditemukan umumnya adalah klinoptilolit dan mordenit. Lokasi penambangan secara komersial terdapat di Lampung, Bayah, Sukabumi, Bogor, Bandung, Tasikmalaya, dan Malang. Dari sejumlah besar deposit zeolit, baru sebagian kecil yang sudah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Jumlah deposit zeolit Indonesia tidak kurang dari 250 juta ton. Dengan tingkat produksi 100-250 ribu ton/tahun, cadangan zeolit Indonesia tidak habis dalam 1000 tahun.

Tanah di Indonesia lebih dari 50% merupakan tanah yang bermasalah yang ditandai oleh

rendahnya pH tanah, kadar bahan organik, dan kapasitas tukar kation (KTK). Tanah-tanah tersebut menurut Soil Taxonomy dikelompokkan ke dalam order Oxisol, Ultisol, dan sebagian Inceptisol. Agar tanah-tanah bermasalah tersebut kondisinya tidak semakin buruk, maka perbaikan tanah harus dilakukan secara terus-menerus dengan pemberian bahan pembenah tanah seperti kompos, kapur, asam humat, dll. Zeolit yang mempunyai KTK tinggi dan strukturnya porous mempunyai prospek yang sangat baik sebagai bahan pembenah tanah. Namun demikian teknik aplikasi dan perhitungan ekonomi harus dilakukan dengan tepat agar memperoleh manfaat yang optimal.

Disamping masalah tanah, peningkatan produksi pertanian masih dihadapkan pada rendahnya efisiensi pupuk nitrogen. Hanya sekitar 40% dari urea yang diberikan ke tanah dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Vlek and Byrnes, 1986). Sementara itu usaha untuk meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen telah banyak dilakukan seperti dengan teknik pemupukan dan membuat pupuk nitrogen dalam bentuk *slow release fertilizer* (SRF). Namun pupuk SRF yang ada sekarang ini sebagian besar menggunakan bahan kimia yang meninggalkan bahan residu yang dapat merusak tanah. Sekarang orang cenderung menggunakan bahan alam seperti zeolit sebagai bahan SRF didasarkan pada sifat zeolit yang memiliki KTK tinggi dan kemampuan dapat menyerap ion amonium. Dalam prakteknya penggunaan zeolit sebagai bahan SRF dengan mencampur pupuk urea dengan zeolit kemudian dibuat dalam bentuk prill dengan alat granulasi parabola.

Paper ini akan membahas pemanfaatan zeolit di bidang pertanian khususnya teknik pemberian zeolit sebagai bahan pembenah tanah dan bahan untuk meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen sehingga dapat meningkatkan produksi pertanian.

Permasalahan Tanah Indonesia dan Kemungkinan Penggunaan Zeolit

Diantara permasalahan tanah di Indonesia adalah kadar bahan organik yang rendah, KTK rendah dan cepat merosotnya kesuburan tanah, dan kemasaman tanah tinggi. Kadar bahan organik tanah-tanah pertanian di Indonesia terus mengalami penurunan karena petani umumnya hanya memupuk dengan pupuk kimia secara terus-

menerus tanpa atau sedikit sekali dengan penambahan bahan organik. Akibatnya, selain turunnya kadar bahan organik, tanah menjadi semakin masam dan keras akibat kerusakan struktur tanah dan berkurangnya populasi sebagian besar mikroorganisme tanah. Pada kondisi seperti itu, tanah menjadi tidak responsif terhadap pemupukan sehingga produksi turun. Salah satu cara untuk meningkatkan kesuburan tanah, diperlukan pemberian pupuk organik. Namun demikian bahan organik yang diperlukan sangat banyak yaitu sekitar 10 ton/ha/tahun. Untuk itu diperlukan bahan organik dalam jumlah besar yang sering terkendala dalam pengadaannya.

Masalah tanah lainnya adalah rendahnya KTK dan cepat merosotnya kesuburan tanah. Indonesia yang terletak di daerah tropika basah selain memberikan berbagai keuntungan, juga membawa implikasi pada penurunan kualitas sumberdaya tanah yang sangat cepat. Pengikisan lapisan subur tanah, pencucian unsur-unsur hara bersama aliran permukaan, hilangnya nitrogen ke atmosfer melalui penguapan merupakan contoh fenomena yang merugikan. Akibatnya, kualitas kesuburan tanah merosot sangat cepat disertai dengan penurunan produktivitas tanah yang pada akhirnya mengurangi produksi pangan. Tanah yang dihasilkan di daerah tropika basah adalah tanah dengan KTK rendah seperti Oxisol, Ultisol, dan sebagian Inceptisol.

Untuk mengatasi permasalahan rendahnya KTK dan penurunan kualitas tanah seperti tersebut di atas, maka diperlukan bahan yang dapat meningkatkan KTK dan mengembalikan kesuburan tanah, meningkatkan daya jerap tanah terhadap pupuk, dan dapat menyimpan air lebih lama di dalam tanah. Bahan yang dapat digunakan untuk keperluan di atas selain kompos adalah zeolit. Kedua bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kelemahan. Bahan organik mempunyai kelebihan memberikan efek yang luas meliputi sifat fisik, kimia dan biologi tanah tetapi kelemahannya ketersediaannya terbatas dan mudah terdekomposisi sehingga harus sering ditambahkan ke dalam tanah. Zeolit mempunyai kelebihan strukturnya stabil di dalam tanah sehingga dapat memberikan pengaruh dalam jangka waktu yang panjang tetapi harganya masih relatif mahal. Maka jika kedua bahan pembenah tanah tersebut digabungkan, maka akan diperoleh bahan kompos-zeolit. Kompos-zeolit dapat diproduksi dengan menambahkan 10-30%

zeolit dalam proses pengomposan. Pemberian zeolit pada proses pengomposan akan menghasilkan kompos yang berkurang baunya (Suwardi, 2004). Pemberian kompos-zeolit pada dosis rendah dalam jangka panjang akan berdampak pada peningkatan kadar bahan organik dan sekaligus menambahkan zeolit ke dalam tanah. Dengan cara itu sifat-sifat tanah baik KTK maupun kadar bahan organik akan naik (Goto and Ninaki, 1980).

Zeolit sebagai Bahan Pembenah Tanah dan Campuran pupuk

Zeolit termasuk mineral dari golongan silikat, tetapi berbeda dengan mineral lain dari golongan silikat seperti feldspar, kuarsa, dan lain-lain, struktur mineral zeolit berongga. Struktur berongga ini menyebabkan zeolit mempunyai bobot isi lebih rendah, hanya sekitar $2,0 \text{ g/cm}^3$ lebih rendah dibandingkan feldspar yang besarnya $2,7 \text{ g/cm}^3$. Dalam proses pembentukannya, unsur silikon yang bervalensi 4^- sebagian digantikan oleh unsur aluminium yang bervalensi 3^+ sehingga terjadi kelebihan muatan negatif. Dengan adanya substitusi tersebut kerangka dasar dalam mineral zeolit adalah aluminium-silikat. Kelebihan muatan negatif ini kemudian dinetralkan dengan adanya kation-kation seperti kalium, natrium kalsium dan magnesium. Dalam rongga-rongga tersebut, kation-kation dan air dapat bergerak bebas.

Disamping itu telah diketahui mineral zeolit dapat meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen. Zeolit merupakan bahan alam yang memiliki KTK tinggi (120-180 meq/100g) dan berongga dengan ukuran rongga sesuai dengan ukuran ion amonium sehingga zeolit dapat menyerap ion amonium sebelum berubah menjadi nitrat. Namun demikian dari analisis zeolit di Indonesia, banyak contoh zeolit mempunyai KTK kurang dari 100 meq/100g. Hal ini disamping rendahnya KTK zeolit juga masalah analisis zeolit yang belum dibakukan sehingga bahan yang sama jika dianalisis pada laboratorium yang berbeda menghasilkan nilai KTK yang sangat berbeda.

Pada tanah-tanah yang bermasalah khususnya yang memiliki KTK rendah, efisiensi penggunaan pupuk masih sangat rendah khususnya nitrogen karena mudah hilang melalui pencucian dalam bentuk nitrat, menguap ke udara dalam bentuk gas amoniak, dan berubah ke bentuk lain yang tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Vlek dan Byrnes, 1986). Penggunaan mineral zeolit

merupakan bahan alternatif baru untuk meningkatkan efisiensi pemupukan nitrogen.

Cara Aplikasi dan Mekanisme Kerja Zeolit

Cara aplikasi zeolit di bidang pertanian khususnya untuk perbaikan sifat-sifat tanah dan sebagai bahan peningkat efisiensi pupuk. Sebagai bahan pembenah tanah, jumlah zeolit yang perlu diberikan sekitar 10-20 ton/ha, suatu jumlah yang sangat banyak. Pada tanah-tanah yang memiliki KTK sangat rendah seperti tanah berpasir, tanah Podsolik, dan tanah Oksisol, pemberian zeolit sebagai bahan pembenah tanah dapat meningkatkan KTK tanah yang dalam jangka panjang dapat mempertahankan kualitas tanah. Beberapa perkebunan tebu di Kuba yang memiliki tanah Oxisol memilih cara ini dengan memberikan zeolit sampai 6 ton/ha. Namun demikian cara ini kurang populer di Indonesia karena memerlukan modal yang sangat besar. Jika harga zeolit Rp 1000/kg maka pemberian 10 ton/ha memerlukan dana Rp 6 juta/ha.

Sebagai campuran pupuk, pemberian zeolit telah dipilih banyak petani. Zeolit dapat langsung dicampur dengan pupuk khususnya urea sebelum ditebarkan atau diberikan ke lahan pertanian. Campuran zeolit dan urea 1:1 merupakan perbandingan yang direkomendasikan. Zeolit juga dapat dicampurkan dengan pupuk urea sebelum dibuat pupuk urea granul. Jumlah 30% zeolit merupakan jumlah yang telah dipakai oleh banyak industri pupuk. Cara ini dapat menghemat penggunaan zeolit dengan hasil produksi yang cukup baik. Hasil-hasil penelitian di atas sebagian besar dilakukan dengan cara mencampur zeolit dengan pupuk.

Cara lain adalah dengan mencampur zeolit dengan pupuk bahan kompos sebelum proses pengomposan. Zeolit dapat meningkatkan mutu kompos dan dapat mengurangi bau kompos pada saat proses dekomposisi. Jumlah zeolit yang diberikan antara 10-30% bahan kompos. Pemberian kompos yang mengandung zeolit dalam jangka panjang akan meningkatkan kandungan zeolit di lahan pertanian. Disamping itu pemberian kompos merupakan cara yang sangat baik untuk mempertahankan kualitas tanah. Kompos dapat memperbaiki sifat-sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Disamping itu kompos mengandung unsur hara yang berguna bagi tanaman.

Penggunaan zeolit di bidang pertanian diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan efisiensi pemanfaatan air. Beberapa data yang diperoleh dari berbagai publikasi menunjukan bahwa zeolit tidak saja meningkatkan produksi secara kuantitas akan tetapi juga meningkatkan mutu hasil pertanian. Kedua hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan penghasilan petani sehingga pada akhirnya akan memberikan kontribusi lebih besar dalam peningkatan perekonomian nasional. Hal ini sejalan dengan program pemerintah untuk meningkatkan pangan yang bergizi tinggi, mengimbangi laju pertumbuhan penduduk dan kualitas manusia yang terus meningkat.

Pemberian zeolit pada tanah yang mempunyai KTK rendah seperti tanah Oxisol, Ultisol, dan sebagian Inceptisol dapat meningkatkan KTK tanah. Zeolit yang diberikan pada tanah, karena zeolit mempunyai kapasitas penyerapan hara terutama K dan NH_4 yang tinggi, maka kemampuan tanah dalam mengikat unsur-unsur tersebut dapat meningkat. Pengurangan kehilangan nitrogen baik karena pencucian ataupun nitrifikasi dapat meningkatkan hasil produksi tanaman.

Peningkatan produksi akibat pemberian zeolit disebabkan adanya peningkatan efisiensi nitrogen khususnya mengurangi pencucian nitrat. Penggunaan zeolit 3 dan 6 ton/ha menghasilkan akumulasi nitrogen yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol yang diperlakukan dengan pupuk N dua kali lipat. Zeolit dapat menghambat konversi NH_4 menjadi nitrat sampai 30-40%.

Dari hasil-hasil penelitian di atas terlihat bahwa zeolit dapat meningkatkan produksi gula. Cara pemberian zeolit dapat dilakukan dengan cara memperbaiki sifat-sifat kimia dan

fisik tanah dengan memberikan zeolit dosis tinggi (sampai 10 ton/ha) dapat pula diberikan dengan dosis rendah dengan cara mencampur dengan pupuk nitrogen. Kedua cara tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Berdasarkan kemampuan pertukaran terhadap kation yang tinggi, zeolit dapat mengikat dan menyimpan air dan pupuk sementara dan dengan mudah memberikan kepada tanaman pada saat memerlukan. Dengan proses kerja demikian, zeolit sering disebut sebagai agen penyedia lambat (*slow release agent*). Dalam hal ini zeolit hanya berfungsi sebagai karier dalam mengatur pelepasan hara dan air untuk tanaman. Ini perlu ditekankan karena banyak yang beranggapan bahwa zeolit sering dianggap sebagai pupuk. Ini tidak benar, karena penambahan zeolit tanpa dibarengi dengan penambahan pupuk dan bahan-bahan lain yang diperlukan tanaman, justru akan merugikan tanaman karena sebagian dari haranya akan dijerap oleh zeolit.

Pengaruh Zeolit dan Asam Humat terhadap Laju Pelepasan Nitrogen dan Produksi Padi

Jumlah anakan dan tinggi tanaman mulai terlihat berbeda ketika tanaman memasuki 4 MST, dan ketika tanaman memasuki fase generative yang ditandai pertumbuhan jumlah anakan dan tinggi tanaman konstan. Dibandingkan dengan perlakuan urea pril (UP), jumlah anakan, tinggi tanaman, dan anakan produktif lebih tinggi dengan perlakuan UZA. Dari kelima kadar asam humat, kadar humat 3% merupakan perlakuan yang menunjukkan pertumbuhan dan produksi paling baik. Pada perlakuan itu produksi meningkat 15% terhadap tanpa asam humat (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh UZA dengan berbagai kadar asam humat terhadap jumlah anakan dan tinggi tanaman 8 MST, serta anakan produktif tanaman padi

No	Perlakuan	Jumlah Anakan (buah)	Anakan Produktif (Buah)	Produksi g/pot
1	UZA-0	16,0	16,8	38.3
2	UZA -1	17,7	16,1	38.7
3	UZA-2	17,7	16,7	39.1
4	UZA-3	18,3	18,2	44.2
5	UZA-4	17,7	16,2	42.8
6	UZA-5	17,0	17,0	40.6
7	UP	15,0	15,0	37.2

Ket: UZA: pupuk urea-zeolit dengan perbandingan 70:30.

UZA-0, 1, 2, 3 ... berarti UZA yang ditambahkan 0, 1, 2, 3 ...% asam humat

Ini berarti zeolit dan asam humat dapat meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen. Dari data tersebut di atas menunjukkan bahwa zeolit dan asam humat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman padi. Pupuk UZA yang merupakan campuran dari urea, zeolit, dan asam humat dapat memperlambat pola pelepasan dari pupuk nitrogen sehingga tanaman lebih efisien dalam memanfaatkan nitrogen karena pola pelepasan nitrogen lebih lambat. Dengan makin lambatnya pelepasan nitrogen menjadi nitrat, kehilangan pupuk yang diakibatkan oleh penguapan dan pencucian semakin kecil, sehingga tanaman padi memperoleh kesempatan menyerap nitrogen lebih banyak.

Zeolit yang dicampur dengan pupuk urea mengikat ion amonium yang dilepaskan pupuk urea pada saat penguraian. Rongga zeolit yang berukuran 2-8 Angstrom sesuai dengan ukuran ion amonium. Pengikatan akan lebih efektif jika jumlah zeolit yang dicampurkan ke dalam pupuk urea semakin banyak, karena kompleks jerapan dan rongga yang dapat menangkap ion amonium semakin banyak. Namun demikian zeolit yang terlalu banyak dapat mengikat nitrogen semakin kuat. Ion amonium yang dijerap zeolit tidak segera dilepas ke dalam larutan tanah selama jumlah ion amonium dalam tanah masih tinggi. Setelah ion amonium dalam tanah berubah menjadi nitrat, persediaan ion amonium dalam rongga-rongga zeolit dilepaskan ke dalam larutan tanah. Jadi zeolit berfungsi memperlambat proses perubahan ion amonium menjadi ion nitrat.

Zeolit memiliki nilai KTK yang tinggi yang berarti mempunyai jumlah kisi-kisi pertukaran dan rongga-rongga dalam jumlah yang banyak sehingga semakin banyak jumlah ion amonium yang berasal dari pupuk nitrogen yang telah mengalami hidrolisis dijerap zeolit. Penjerapan ion amonium di dalam rongga/kisi-kisi zeolit, hanya bersifat sementara dan dengan mudah akan diberikan kepada tanaman pada saat diperlukan (Suwardi, 2002). Jika kadar N dalam larutan tanah berkurang, N yang diadsorpsi oleh zeolit akan dilepaskan secara perlahan ke dalam larutan tanah.

Asam humat yang memiliki KTK dan pH yang tinggi serta mempunyai peranan dalam merangsang pertumbuhan tanaman ternyata hanya diperlukan dalam jumlah yang sangat sedikit yaitu 3% dari campuran urea dan zeolit. Berdasarkan sifat pertukaran kation,

seperti halnya zeolit, asam humat dapat mengikat dan menyimpan sementara unsur-unsur hara dalam tanah kemudian melepaskan kembali ke tanah saat tanaman membutuhkannya. Asam humat secara fisik dapat menyelimuti pupuk nitrogen sehingga dapat menghambat proses penguapan pupuk menjadi gas amoniak. Disamping itu asam humat mengandung zat perangsang tumbuh yang memungkinkan akar tanaman berkembang dengan lebih baik. Dengan mekanisme pengikatan ion amonium, penghambatan penguapan nitrogen, dan perangsangan perkembangan akar, asam humat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman.

KESIMPULAN

1. Zeolit memiliki KTK dan kemampuan menyerap ion amonium tinggi serta berstruktur porous dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah khususnya pada tanah-tanah yang mempunyai KTK rendah seperti Oxisol, Ultisol, dan sebagian Inceptisol.
2. Aplikasi zeolit sebagai bahan pembenah tanah dapat dilakukan dengan pemberian zeolit pada tanah dengan dosis sekitar 10-15 ton/ha. Pemberian dengan jumlah sebesar itu secara ekonomis sering memberatkan petani khususnya untuk tanaman pangan. Namun jika tanah ditanami dengan tanaman hortikultura yang mempunyai nilai ekonomis tinggi atau komoditas tanaman pangan yang dihitung dalam jangka panjang maka pemberian zeolit akan menguntungkan.
3. Untuk mengurangi jumlah zeolit yang diberikan ke dalam tanah, maka cara aplikasi dapat dengan mencampur zeolit dengan pupuk urea. Perbandingan urea dan zeolit 1:1 sehingga jika dosis urea untuk sebuah komoditas 200 kg/ha, maka zeolit yang dibutuhkan hanya 200kg/ha. Pemberian zeolit akan lebih efisien jika zeolit dan pupuk urea dibuat dalam bentuk pelet. Jumlah zeolit cukup 30% dari campuran zeolit dan urea.
4. Pemberian zeolit sebagai bahan amelioran dapat dikombinasikan dengan bahan pembenah tanah lain seperti kompos, kapur, dan asam humat. Dalam prakteknya disarankan zeolit dibuat pupuk baru dalam bentuk pupuk campuran dari bahan organik, zeolit, dan asam humat. Bahan pembenah baru tersebut akan lebih

baik dibandingkan jika diberikan secara tunggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Hibah bersaing.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral. 1990. Kegunaan dan prospek zeolit di Indonesia. Laporan Ekonomi Bahan Galian, No. 72.
2. Vlek, P.L.G. and Byrnes, B.H. 1986. The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice. *Fert. Res.* 9:131-147.
3. Suwardi. 2004. Teknologi Pengomposan Bahan Organik sebagai Pilar Pertanian Organik. *Proceeding Simposium Nasional Pertanian Organik: Keterpaduan Teknik Pertanian Tradisional dan Inovatif*, Hal 25-33.
4. Goto, I. and Ninaki, M. 1980. Studies on the agricultural utilization of natural zeolites as soil conditioners. Part 2: Change of physical and chemical properties of upland soils with application of natural zeolites. *J. of Agric. Sci., The Tokyo Univ. of Agric.* 24:305-315.
5. Suwardi. 2002. Pemanfaatan Zeolit untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Pangan, Peternakan, dan Perikanan. Makalah disampaikan pada Seminar Teknologi Aplikasi Pertanian, Bogor IPB.