

PENGUNAAN MINERAL ZEOLIT SEBAGAI PEMBENA TANAH PERTANIAN DALAM HUBUNGAN DENGAN STANDARISASINYA DAN PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN PANGAN

M. Al-Jabri

(Balai Penelitian Tanah Bogor)
Email: muhammad_aljabri46@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penggunaan mineral zeolit sebagai pembena tanah pertanian sudah dikenal sejak lama. Kapasitas tukar kation (KTK) zeolit $\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ yang diatur dalam SNI No 13-3494-1994 merupakan penentu lolos tidaknya uji mutu zeolit. Namun, penentuan tersebut sangat beralasan untuk direvisi. Ada beberapa alasan mengapa SNI No 13-3494-1994 dalam hubungannya dengan penetapan KTK zeolit perlu direvisi, sebab hal ini sangat memungkinkan sumber eror sebagaimana penetapan KTK tanah. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengukuran KTK zeolit untuk keperluan di bidang pertanian yang ditetapkan di 5 laboratorium yaitu: (1) Institut Pertanian Bogor dengan menggunakan metode pengadukan (pengocokan)-sentrifusi-dekantasi, (2) Laboratorium tanah pelayanan jasa Balai Penelitian Tanah dengan menggunakan metode perkolasi yang diukur secara kolorimetri auto analyzer, (3) Laboratorium penelitian/uji tanah Balai Penelitian Tanah dengan menggunakan menggunakan metode perkolasi yang diukur secara spektrometri, (4) PT. Sucofindo, dan (5) Puslitbang Tekmira menggunakan metode perkolasi. Hasil dari kajian uji mutu KTK dari zeolit-A dan zeolit-B dari lima laboratorium ekstrim berbeda, hal ini disebabkan oleh perbedaan prosedur metode penetapannya, kualitas zeolit (kadar dan jenisnya), kehalusan zeolit, nisbah zeolit terhadap larutan ammonium asetat. Kriteria KTK zeolit untuk keperluan pertanian berdasarkan SNI diusulkan direvisi kedalam 5 kelas: (1) $\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas A); $100 - 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas B); $80 - 60 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas C), $60 - 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas D), $< 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas E). Hasil kajian uji efektivitas zeolit pada kondisi di rumah kaca menunjukkan bahwa pemberian pembena tanah zeolit dapat meningkatkan hasil gabah bernas sekitar 19,41% dimana rata-rata bobot gabah padi bernas tanpa zeolit adalah 61,22 gram/pot, sedangkan dengan zeolit adalah 73,30 gram/pot. Pemberian ZKK yang dikombinasikan dengan pupuk kandang jauh lebih tinggi meningkatkan bobot kering jagung pipilan yaitu 8,44 ton/ha dibandingkan dengan tanpa ZKK yaitu 5,65 ton/ha.

Kata kunci: Zeolit; Pembena tanah

ABSTRACT

THE UTILIZING OF ZEOLITE MINERALS AS AGRICULTURE SOIL CONDITIONER IN RELATION TO ITS STANDARIZATION AND INCREASING FOOD CROP. The used of zeolite mineral as soil ameliorant on agricultural had been known since long time ago. Cation exchange capacity (CEC) of zeolite is $\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ which regulated on SNI No 13-3494-1994 is a determining quality of zeolite test. However, it is very reasonable to be revised. There are several reason why determining CEC of zeolite on SNI No 13-3494-1994 must to be revised, because there is an error as possible as on determining CEC of soil. The research aimed to study the measurement of CEC zeolite for agricultural which conducted on five laboratories were (1) Bogor Agricultural University by using stirring (shaking)-sentrifusi-decantation methods, (2) Service Soil Laboratory at Indonesian Soil Research Institute by using percolation method that measured by calorimetric auto analyzer, (3) Soil Laboratory at Indonesian Soil Research Institute by using percolation method that measured by spectrometry, (4) PT. Sucofindo, and (5) Research and Development Centre for Mineral and Coal Technology by using percolation method. The result from quality test of CEC zeolite A and zeolite B from five laboratories was significant different, because the difference procedures of the method such as zeolite quality (grade and types), zeolite fineness, and ratio of zeolite to ammonium acetate solution. The criteria of CEC zeolite for agricultural on SNI recommended to be revised on five types are (1) $\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (class A); $100 - 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (class B); $80 - 60 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (class C), $60 - 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (class D), $< 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (class E). The result from test of zeolite effectiveness on green house condition showed that distributing of zeolite soil ameliorant could improving grain yield pithy about 19,41% with the average weight of grain pithy with zeolite are 73,30 gram/pot, while without zeolite are 61,22 gram/pot. Giving the combination of ZKK with manure increasing higher the dry weight loose maize is 8,44 tons/ha than without giving the ZKK is 5,65 tons/ha.

Keywords: Zeolite, soil ameliorant

PENDAHULUAN

Inovasi teknologi pengelolaan mineral zeolit sebagai pembenah tanah tidak terlepas dari standar mutunya. Jika kualitas mineral zeolit tidak memenuhi kriteria persyaratan teknisnya, seperti jumlah dan jenis zeolit serta KTK zeolit sangat rendah maka fungsinya sebagai bahan pembenah tanah dipastikan tidak berpengaruh terhadap perbaikan tanah, sehingga hasil tanaman tidak dapat ditingkatkan. Dalam kaitan ini produsen dan konsumen zeolit perlu dilindungi. Tidak semua laboratorium melakukan penetapan KTK zeolit 100% mengacu pada SNI 13-3494-1994 [1], sebab laboratorium tertentu melakukan modifikasi, namun buku metode penetapannya tidak dipublikasikan. Oleh karena itu, sangat beralasan jika SNI 13-3494-1994 untuk direvisi setelah dilakukan penelitian dahulu oleh tim teknis. Informasi tentang penetapan KTK zeolit dapat diperoleh dari beberapa instansi pemerintah seperti: (1) Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum; (2) Laboratorium Puslitbang Tekmira; (3) Laboratorium tanah IPB; (4) PT. Sucofindo; (5) Balai Penelitian Tanah.

Laboratorium Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum (1991) [2] membuat panduan tentang pengukuran kapasitas tukar kation (KTK) zeolit yang mengacu pada SNI 13-3494-1994. Meskipun dalam panduan pengukuran KTK zeolit menulis adanya bahan etanol 80%, tetapi dalam tata cara pengukuran KTK setelah larutan ammonium asetat sebanyak 100 cm^3 dituangkan dan harus habis dalam waktu 4 jam, dan setelah larutan yang tertampung dalam botol penampung larutan hasil pertukaran kation tidak menginstruksikan contoh dibilas dengan etanol 80%. Instruksi prosedur selanjutnya adalah mengisi botol penampung reagen penukar kation dengan larutan KCl 10% sebanyak 100 cm^3 yang harus habis dalam waktu 4 jam juga. Jika saja tidak ada pencucian dengan etanol 80%, maka dipastikan jumlah kation NH_4^+ yang ditukar dengan larutan KCl 10% sangat tinggi, sehingga dipastikan terjadi overestimasi dalam penetapan KTK. Nisbah contoh zeolit dengan larutan ammonium asetat (1:500 atau 1:333) tanpa menyebutkan disangga pada pH 7,0 yaitu 0,2 atau 0,3 gram serbuk zeolit terhadap 100 cm^3 larutan ammonium asetat.

Laboratorium Puslitbang Tekmira membuat panduan tentang pengukuran KTK zeolit yang mengacu pada SNI 13-3494-1994 (Jatmika, *Personnal communication*; 2009). Namun nisbah contoh zeolit dengan larutan ammonium asetat tanpa menyebutkan disangga pada pH 7,0 dengan menimbang contoh serbuk zeolit 0,5 atau 0,6 gram terhadap 60 cm^3 larutan ammonium asetat (nisbah 1:120 atau 1:100) adalah lebih sempit dibandingkan dengan nisbah SNI 13-3494-1994 (1:500 atau 1:333). Meskipun ada tahap pencucian dengan etanol (80%), tetapi hanya 40 ml sehingga relatif lebih rendah, sehingga tahap pencucian dengan etanol tidak sempurna dan proses pencuciannya tidak bersih, kemudian pada saat dilakukan tahap pertukaran dengan KCl atau NaCl akan menghasilkan pengukuran NH_4^+ lebih tinggi dan nilai KTK zeolite *overestimate*. Agar waktu yang diperlukan pada tahap penjujukan dengan larutan ammonium asetat dan tahap pertukaran dengan KCl 10% yang harus habis dalam waktu 2 jam, maka dalam pelaksanaannya akan mengalami kesulitan, kecuali ada alat penyedot otomatis.

Laboratorium tanah IPB membuat panduan tentang pengukuran KTK zeolit, dimana nisbah contoh zeolit dengan larutan ammonium asetat yang disangga pada pH 7,0 yaitu 5 gram serbuk zeolit terhadap 100 cm^3 larutan ammonium asetat (nisbah 1:20), dimana metode yang digunakan adalah metode pengadukan (pengocokan)-sentrifusi-dekantasi (Suwardi, 2008 ; *Personnal communication*). Prosedur metode penetapan KTK zeolit yang ditetapkan di IPB sama seperti penetapan KTK tanah.

Laboratorium PT. Sucofindo belum mempunyai panduan penetapan KTK zeolit, sebab pada saat itu masih sedang mencari prosedur metode penetapan KTK zeolit baru, sehingga penanggungjawab laboratorium tidak bisa memberikan panduannya, sebab masih dirahasiakan (Masri, 2008; *Personnal communication*).

Di Balai Penelitian tanah terdiri dari dua laboratorium, masing-masing adalah laboratorium penelitian tanah dan laboratorium pelayanan jasa. KTK zeolit yang ditetapkan di ke dua laboratorium ini adalah mengikuti prosedur penetapan KTK tanah, yaitu metode perkolasi (Page *et al.*, 1984) [3] yang mengacu pada Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006. Namun penetapan KTK zeolit yang mengacu pada Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 tidak berlaku lagi

sejak dikeluarkan Permentan No. 28/Permentan/SR.130/5/2009, dimana Permentan No. 28/Permentan/SR.130/5/2009 menyebutkan bahwa KTK zeolit ditetapkan sesuai SNI 13-3494-1994. Adanya berbagai acuan standardisasi KTK zeolit, maka hal ini mengisyaratkan perlunya komunikasi interaktif lintas Departemen untuk mempersamakan persepsi tentang penetapan KTK zeolit dengan penyeragaman prosedur secara nasional.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengukuran KTK zeolit untuk keperluan di bidang pertanian yang ditetapkan di 5 laboratorium.

TINJAUAN PUSTAKA

Zeolit sebagai pembenh tanah adalah mineral dari senyawa aluminosilikat terhidrasi dengan struktur berongga dan mengandung kation-kation alkali yang dapat dipertukarkan. Zeolit sebagai pembenh yang diberikan ke dalam tanah sesuai dengan dosis anjuran dapat memperbaiki sifat-sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, sehingga produksi pertanian dapat ditingkatkan (Pond dan Mumpton, 1984; Torii *et al.*, 1979; Townsend, 1979; Suwardi, 2007) [4], [5], [6] [7]. Sifat khas dari zeolit sebagai mineral yang berstruktur tiga dimensi, bermuatan negatif, dan memiliki pori-pori yang terisi ion-ion K, Na, Ca, Mg dan molekul H₂O, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran ion dan pelepasan air secara bolak-balik.

Penelitian tentang perilaku pengaruh bahan induk zeolitik serta perilaku mineral zeolit terhadap perlakuan aktivasi, pertukaran kation serta selektifitas penyerapan kation untuk dapat mempelajari proses yang berkaitan dengan reaksi fisik dan kimia di dalam tanah di Indonesia relatif sangat langka (Astiana, 1993) [8]. Selanjutnya dilaporkan bahwa batuan zeolitik-Cikembar mengandung mineral zeolit mordenit 19,5% dan klinoptilolite 7,05%; batuan zeolitik-Bayah mengandung mineral zeolit mordenit 38,8% dan klinoptilolite 18,9%; batuan zeolitik-Cikalong mengandung mineral zeolit mordenit 63,1% dan klinoptilolite 10,0%; kadar K dan Fe tertinggi dari batuan zeolitik-Cikembar masing-masing 3,81 K₂O% dan 2,59 Fe₂O₃%; batuan zeolitik-Bayah mengandung Ca tertinggi 1,83%; sedangkan zeolit-Cikalong Na₂O tertinggi 1,10% dan MgO 0,92%.

Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jawa Timur (2006) [9] melaporkan yang dalam Prakata, bahwa Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-7168-2006 [10], bahwa syarat mutu zeolit sebagai bahan pembenh tanah pertanian telah disusun oleh Panitia Teknis. Standar Komoditi Tambang dan Uji Mineral/Logam ini telah disepakati oleh *stakeholders* yang terkait, antara lain perusahaan tambang selaku produsen, Asosiasi Zeolit Indonesia, perguruan tinggi/lembaga penelitian, dan instansi teknis terkait, serta Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional. Diharapkan dengan tersusunnya SNI ini dapat digunakan sebagai pedoman untuk menjamin penyediaan komoditi tambang dengan mutu yang standar. SNI ini merupakan hasil forum konsensus nasional yang dilaksanakan di Jakarta pada tanggal 13-15 Desember 2004. Fakta di lapangan menunjukkan masih ditemui zeolit yang tidak memenuhi standar mutu, hal ini kemungkinan disebabkan kualitas zeolitnya relatif rendah.

Sehubungan dengan adanya kasus analisis KTK zeolit yang masih dibawah standar nilai KTK menurut Permentan tentang Pembenh tanah Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006, sehingga menimbulkan keresahan dari pihak produsen, sebab produksinya terancam tidak dapat dijualbelikan dan tenaga kerja terancam di PHK kan. Keresahan pihak produsen zeolit adalah sehubungan dengan pengujian yang tidak relevan antara lembaga penguji dengan lembaga pengusul parameter KTK zeolit, dimana hasil pengujian KTK sering lebih rendah dibandingkan dengan acuan KTK menurut Permentan tentang Pembenh tanah Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 dan SNI masing-masing dengan standar mutu KTK zeolit $\geq 80 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$ dan $\geq 100 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$. Nilai KTK zeolit yang rendah kemungkinan disebabkan kualitas zeolitnya memang rendah. Dixon dan Weed (1989) [11] melaporkan bahwa pembentukan zeolit di alam jarang yang murni, sebab ada kontaminasi dengan mineral lain, metal, kuarsa, atau jenis zeolit lain. Kemudian pengukuran KTK zeolit yang rendah juga dapat disebabkan pada tahap penjuenan dengan larutan ammonium asetat, maka ukuran kation NH₄⁺ lebih besar dari ukuran pori-pori zeolit, sehingga tidak dapat memasuki ruang pori-pori dan mencegah terjadinya pertukaran kation antara kation NH₄⁺ dari larutan penjuenan dngan kation-kation yang sudah ada di ruang pori-pori dalam struktur zeolit (Ming dan Dixon, 1987) [12].

Meskipun prosedur penetapan KTK zeolit yang berasal dari luar negeri dapat langsung diaplikasi. Peneliti berkewajiban tidak hanya melakukan modifikasi metode penetapannya, tetapi juga dilakukan uji korelasi antara KTK zeolit dengan kation-kation bermuatan positif (NH_4^+ dan K^+) yang diserap tanaman. Oleh karena itu, instansi-instansi terkait hendaknya secepatnya saling berkoordinasi untuk melakukan kaji ulang penetapan KTK zeolit dan kemungkinan modifikasinya yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan (pertanian dan industri).

Permentan tentang Pembenh tanah Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 hanya mengatur pupuk organik dan pembenh tanah saja. Meskipun Permentan tersebut mengatur pupuk organik (padat dan cair), tetapi untuk pembenh tanah baru berlaku dalam bentuk padat. Salah satu parameter dalam Permentan tersebut adalah KTK yang hanya diperuntukkan pembenh tanah zeolit. Kriteria KTK zeolit yang ditetapkan adalah $\geq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Sedangkan kriteria parameter lainnya seperti: Bahan aktif (sintetis) yang direkayasa kimia; pH 4 – 8; Kadar logam berat ($\text{As} \leq 10 \text{ ppm}$, $\text{Hg} = \leq 1 \text{ ppm}$, $\text{Pb} = \leq 50 \text{ ppm}$, dan $\text{Cd} \leq 10 \text{ ppm}$) masih bersifat umum. Sejak tahun 2009 Permentan tentang Pembenh tanah Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 direvisi menjadi Permentan No. 28/Pert/SR.130/5/2009 dengan kriteria KTK zeolit mengacu pada SNI 13-3494-1994.

METODE PENELITIAN

Percobaan di Laboratorium

KTK zeolit ditetapkan di lima laboratorium, masing-masing adalah: (1) Institut Pertanian Bogor (IPB) menggunakan metode pengadukan (pengocokan)-sentrifusi-dekantasi (Anonymous, 2008) [13]; (2) Balai Penelitian Tanah (Balittanah) menggunakan metode perkolasi yang diukur secara kolorimetri auto analyzer pada laboratorium tanah pelayanan jasa (Sulaeman *et al.*, 2005) [14]; (3) Balittanah menggunakan menggunakan metode perkolasi yang diukur secara spektrometri pada laborototium penelitian/uji tanah (Sulaeman *et al.*, 2005); (4) P.T. Sucofindo tidak menyebutkan nama metode penetapannya karena belum ada publikasi ilmiahnya (Masri, 2008; Kepala laboratorium hasil tambang untuk pupuk; *Personnal communication*); (5) Puslitbang Tekmira menggunakan metode perkolasi (Jatmika, 2008; *Personnal communication*).

Percobaan Pot di Rumah Kaca

Tujuh kilogram tanah sawah mineral masam dengan jenis tanah Latosol diambil dari Desa Dukuh, Cibungbulang (Bogor) dimasukkan ke dalam pot bervolume 10 liter diberi air, kemudian tanah diaduk sampai berlumpur dengan ketinggian air mulai dari 2 cm dan secara bertahap sesuai dengan pertumbuhan tanaman ketinggian air dinaikkan sampai 10 cm. Bibit padi varietas Ciherang umur 12 hari ditanam pada saat tanah sudah digenangi dua minggu. Sebelas perlakuan adalah: (1) Kontrol lengkap; (2) 0 liter PTBE/ha + NPK standar; (3) 15 liter PTBE/ha + NPK standar; (4) 30 liter PTBE/ha + NPK standar; (5) 60 liter PTBE/ha + NPK standar; (6) 120 liter PTBE/ha + NPK standar; (7) 0 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK/ha; (8) 15 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK/ha; (9) 30 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK/ha; (10) 60 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK/ha; (11) 120 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK/ha. Pupuk NPK standar sebagai pupuk dasar diberikan dalam bentuk urea (667 kg/ha), SP-36 (320 kg/ha), dan KCl (320 kg/ha). Rancangan percobaan yang digunakan adalah acak lengkap yang diulang dua kali. PTBE adalah pembenh tanah cair yang mengandung CaO total 25,99 (%) dan MgO total 7,34%.

Pengujian ZKK terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung

Disamping itu, dilakukan juga pengujian ZKK petakan percobaan ukuran 4 m x 5 m di Desa Cicadas, Ciampea (Bogor) terhadap pertumbuhan tanaman jagung, dimana takaran zeolit yang diberikan 800 kg ZKK/ha dikombinasikan dengan 2 ton pupuk kandang/ha.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan di Laboratorium

Hasil analisis dua jenis zeolit dari CV. Minatama Lampung yang dianalisis di laboratorium pengujian Tekmira disajikan pada Tabel 1.

Hasil analisis KTK dua jenis zeolit (Zeolit KN dan Zeolit KR) dari CV. Minatama Lampung yang ditetapkan laboratorium pengujian Puslit Tekmira disajikan pada Tabel 2.

KTK dua jenis zeolit (Zeolit KN dan Zeolit KR) masing-masing 129,81 dan 137,05 $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$

¹ tersebut sudah memenuhi syarat SNI 13-3494-1994 yaitu ≥ 100 [cmol₍₊₎ kg⁻¹].

Jenis Zeolit-A dan Zeolit-B juga dilakukan di laboratorium dengan XRD di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian di Bogor disajikan pada Gambar 1.

Dari hasil analisis Zeolit-A (Lama) dan Zeolit-B (Baru) di laboratorium mineralogi.

BBSDLP jika dibandingkan dengan laboratorium pengujian di Puslit Tekmira relatif sama, yaitu mengandung Zeolit Klinoptilolite dan Albit (Zeolit-A) serta Zeolit Klinoptilolite dan Kristobalit (Zeolit-B). Zeolit-B ada inklusi mineral smektit.

Kapasitas tukar kation (KTK) dua contoh zeolit dengan merek dagang ZKK disajikan pada Tabel 3.

KTK contoh zeolit A dan B yang ditetapkan di laboratorium tanah IPB pada nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:20 dengan nilai masing-masing 88 dan 82 cmol₍₊₎ kg⁻¹ sudah memenuhi persyaratan Permentan No.02/Pert/HK.060/2/2006 yaitu ≥ 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹, bahkan jika nisbahnya diperlebar 1:100 sampai 1:500 maka nilainya sesuai dengan persyaratan menurut SNI.

KTK contoh zeolit A yang ditetapkan di laboratorium penelitian tanah dan uji tanah di Balittanah pada nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:20, 1:100, 1:200, 1:300, 1:400, 1:500 semuanya tidak memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya ≤ 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Sedangkan KTK zeolit B pada nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:100 dengan nilai 84 cmol₍₊₎ kg⁻¹ sudah memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 yaitu ≥ 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹.

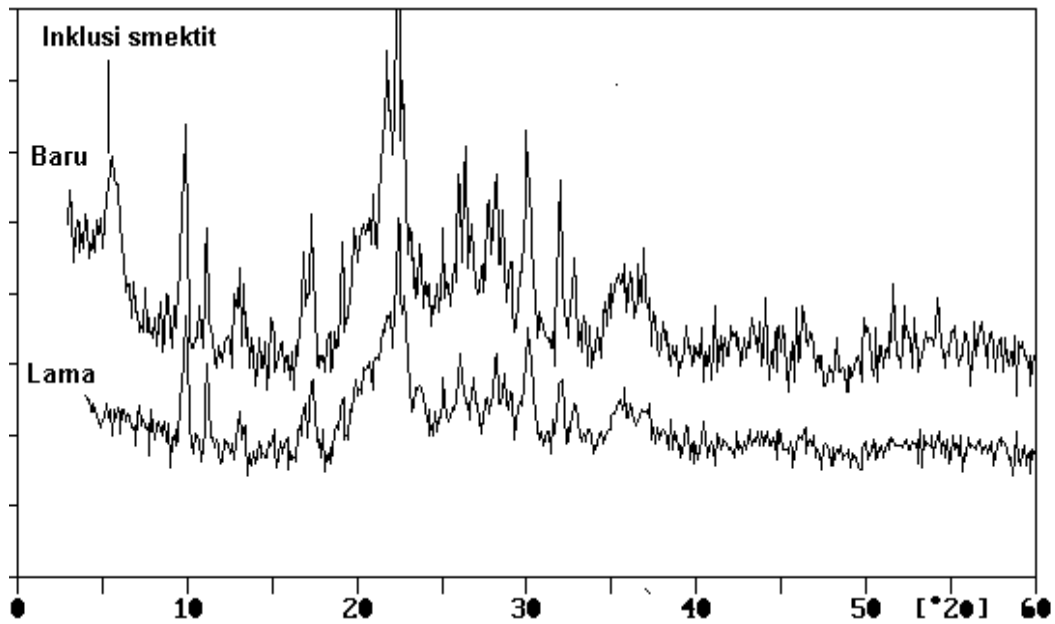
Tabel 1. Hasil analisis dua jenis zeolit dari CV. Minatama Lampung yang dianalisis di laboratorium pengujian Tekmira

Nomor Lab	2115/2007	2116/2007	Metode
Tanda	Zeolit KN	Zeolit KR	SNI 13-3608-1994
SiO ₂ (%)	68,50	72,20	SNI 13-3608-1994
Al ₂ O ₃ (%)	13,17	11,55	SNI 13-3608-1994
Fe ₂ O ₃ (%)	2,98	2,06	SNI 13-3608-1994
TiO ₂ (%)	0,14	0,12	SNI 13-3608-1994
K ₂ O (%)	1,88	2,36	SNI 13-3608-1994
Na ₂ O (%)	1,06	0,91	SNI 13-3608-1994
CaO (%)	2,47	1,98	SNI 13-3608-1994
MgO (%)	1,15	0,96	SNI 13-3608-1994
LOI (%)	8,42	7,70	SNI 13-3608-1994

Keterangan : Contoh dianalisis dari bahan kering (100-105^o C)

Tabel 2. Hasil analisis KTK dua jenis zeolit (Zeolit KN dan Zeolit KR) dari CV. Minatama Lampung yang ditetapkan laboratorium pengujian Puslit Tekmira

Nomor Lab	2115/2007	2116/2007
Tanda	Zeolit KN	Zeolit KR
KTK [cmol ₍₊₎ kg ⁻¹]	129,81	137,05



Gambar 1. Jenis Zeolit-A (contoh lama sedikit lebih kasar) dan Zeolit-B (contoh baru yang lebih halus) juga dilakukan di laboratorium dengan XRD di Balai Besar Litbang SDLP Bogor

Tabel 3. Kapasitas tukar kation (KTK) dua contoh zeolit dengan merek dagang ZKK ditetapkan di 5 laboratorium tanah

Nisbah contoh terhadap NH ₄ asetat	Metode penetapan KTK zeolit [cmol ₍₊₎ kg ⁻¹] dari 5 laboratorium									
	(1) IPB		(2) Balittanah (Lab. Penelitian dan Uji Tanah)		(3) Balittanah (Lab. Pelayanan Jasa)		(4) PT Sucofindo Metode ekstraksi AAS		(5) Puslit Tekmira	
	Zeolit (A) No. Lab. A.324 4/ 2008	Zeolit (B) No. Lab. A.324 5/ 2008	Zeolit (A) No. Lab. LPUT /PP/0 59/ 08	Zeolit (B) No. Lab. LPUT/P P/ 060/ 08	Zeolit (A)	Zeolit (B)	Zeolit (A) No. Lab. 21880/ DBBP AB	Zeolit (B) No. Lab. 21881/ DBBPA B	Zeolit (A) No. Lab. 6468/ 2008	Zeolit (B)
1:20	88	82	64	60	36	88	52	60	92	Tbd*
1:100	118	115	78	84	53	91	-	-	-	-
1:200	136	130	73	89	44	80	-	-	-	-
1:300	149	137	60	86	45	64	-	-	-	-
1:400	153	145	75	85	49	65	-	-	-	-
1:500	172	162	69	86	42	75	-	-	-	-

Keterangan : Tbd = tidak bisa diukur

KTK contoh zeolit A yang ditetapkan di laboratorium penelitian pelayanan jasa di Balittanah pada nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:20, 1:100, 1:200, 1:300, 1:400, 1:500 semuanya tidak memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya ≤ 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Sedangkan KTK zeolit B pada nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:20, 1:100, 1:200 masing-masing dengan nilai 88, 91, dan 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹ sudah memenuhi persyaratan Permentan No.

02/Pert/HK.060/2/2006 ≥ 80 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Semakin lebar nisbah tanah terhadap NH₄OAc 1:300, 1:400, 1:500 maka KTK ≤ 80 cmol kg⁻¹.

KTK contoh zeolit A dan B yang ditetapkan di PT. Sucofindo masing-masing 52 dan 60 cmol kg⁻¹ tidak memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya ≤ 80 cmol kg⁻¹.

KTK contoh zeolit A yang ditetapkan di Puslit. TEKMIIRA 92 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$ sudah memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya $\geq 80 \text{ cmol kg}^{-1}$. KTK contoh zeolit B yang ditetapkan di Puslit. TEKMIIRA tidak dapat diukur, hal ini disebabkan larutan penjenuh sulit tercuci. Ada beberapa kemungkinan nilai KTK zeolit yang ditetapkan di laboratorium Puslit Tekmira lebih tinggi dibandingkan dengan KTK zeolit yang ditetapkan di laboratorium di Balitanah, antara lain: (1) pada tahap penjenuhan, nisbah contoh zeolit dengan larutan ammonium asetat di laboratorium Puslit Tekmira lebih lebar (0,5 atau 0,6 gram serbuk zeolit dijenuhi 60 cm^3 larutan ammonium asetat (nisbah 1:120 atau 1:100), sedangkan di laboratorium Balittanah 1:20; (2) pada pencucian, etanol (80%) yang diberikan hanya 40 ml relatif rendah, sehingga proses pencuciannya tidak bersih, kemudian pada saat dilakukan tahap pencucian dengan KCl atau NaCl akan menghasilkan pengukuran NH_4^+ lebih tinggi dan nilai KTK zeolite *overestimate*.

Sehubungan pada tahap penjenuhan contoh zeolit dengan larutan ammonium asetat dan tahap pertukaran dengan KCl 10% yang harus habis dalam waktu kurang dari 4 jam, maka dalam pelaksanaannya sebaiknya dipasang alat penyedot otomatis. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian hubungan lamanya waktu penyedotan: 0,5; 1; 2; 3; 4 jam terhadap nilai KTK zeolit.

Al-Jabri (2008) [15] melaporkan bahwa nilai KTK zeolit yang diukur di laboratorium Balittanah mengacu pada Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 dengan metode perkolasi sering lebih rendah dari nilai KTK zeolit menurut SNI 13-3496-1994 yang diukur dengan metode perkolasi yang dilanjutkan dengan destilasi. Prosedur penetapan KTK zeolit yang ditetapkan di laboratorium Balittanah mengacu pada prosedur penetapan KTK tanah, sehingga berdasarkan penilaian menurut SNI 13-3496-1994 sering dinilai rendah. Rendahnya nilai KTK zeolit ini adalah disebabkan karena: (1) perbedaan

prosedur penetapannya, (2) kualitas zeolit yang relatif rendah. Adanya perbedaan metode penetapan KTK zeolit ini membawa akibat yang kurang menguntungkan produsen zeolit yang akan mendaftarkan produknya sebagai pembenh tanah di Departemen Pertanian. Berdasarkan hal tersebut di atas, kami mengusulkan untuk memperbaiki/merevisi standar mutu dan prosedur penetapan KTK zeolit untuk pertanian agar sesuai dengan kebutuhan. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan dalam penetapan KTK zeolit, hal ini disebabkan perbedaan prosedur. Meskipun prosedur penetapan KTK zeolit berbeda, tetapi dihadapkan sumber eror. Tiga tahap sumber eror dalam penetapan KTK zeolit adalah: (1) tahap penjenuhan tempat pertukaran kation dengan spesifik kation (NH_4^+ dari larutan ammonium asetat 1 N pH 7.0); (2) tahap pencucian dengan etanol 80% untuk membuang kelebihan larutan penjenuh; (3) tahap pertukaran dengan larutan KCl atau NaCl (Page *et al.*, 1984). Perlu diketahui bahwa KTK zeolit yang ditetapkan di 5 laboratorium tersebut diatas tidak ada satupun yang menjalankan prosedur penetapan KTK menurut SNI 13-3496-1994.

Percobaan Pot di Rumah Kaca

Pengaruh perlakuan PTBE dan ZKK terhadap bobot gabah padi bernas dan analysis of variance masing-masing disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

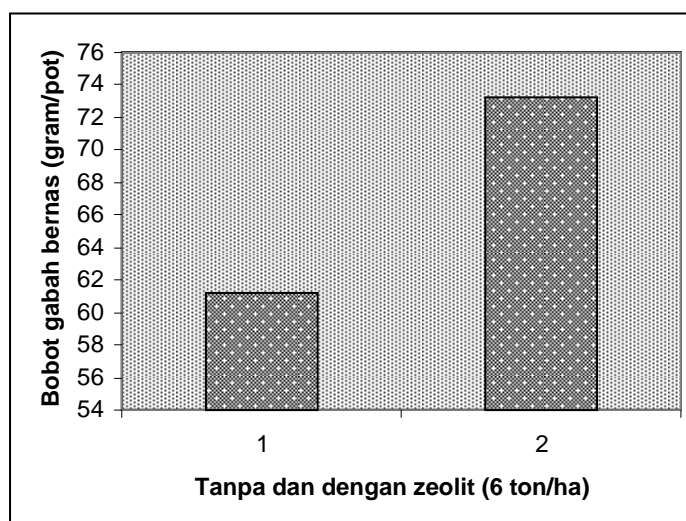
Peningkatan pemberian PTBE tidak berpengaruh terhadap peningkatan bobot gabah padi bernas (Tabel 4). Hasil kajian uji efektivitas zeolit pada kondisi di rumah kaca menunjukkan bahwa pemberian pembenh tanah zeolit dapat meningkatkan hasil gabah bernas sekitar 19,73% dimana rata-rata bobot gabah padi bernas tanpa zeolit adalah 61,22 gram/pot, sedangkan dengan zeolit adalah 73,30 gram/pot (Gambar 2).

Aplikasi pembenh tanah tidak harus 6 ton/ha, tetapi dapat diberikan secara bertahap dengan dosis 500 kg/ha setiap musim tanam.

Tabel 4. Pengaruh perlakuan PTBE dan ZKK terhadap bobot gabah padi bernas

No.	Perlakuan	Ranking	Rata-rata bobot gabah padi bernas (gram/pot)#
1.	Kontrol lengkap	11	46,22 c
2.	0 liter PTBE/ha + NPK standar*	6	63,89 ab
3.	15 liter PTBE/ha + NPK standar	7	63,21 ab
4.	30 liter PTBE/ha + NPK standar	9	59,19 bc
5.	60 liter PTBE/ha + NPK standar	8	63,12 ab
6.	120 liter PTBE/ha + NPK standar	10	56,69 bc
Rata-rata bobot gabah bernas tanpa ZKK			61,22
7.	0 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK**	4	72,52 ab
8.	15 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK	5	71,25 ab
9.	30 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK	3	72,56 ab
10.	60 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK	1	76,92 a
11.	120 liter PTBE/ha + NPK standar + 6 ton ZKK	2	73,29 ab
Rata-rata bobot gabah bernas dengan ZKK			73,30

Keterangan: * = Pupuk NPK standar sebagai pupuk dasar diberikan dalam bentuk urea (667 kg/ha), SP-36 (320 kg/ha), dan KCl (320 kg/ha); ** ZKK = Zeo Kap Kan CV. Mina Tama Lampung; # = Angka bobot gabah padi bernas yang terletak pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama adalah tidak berbeda menurut uji Duncan Multiple Range Test pada taraf 5%.



Gambar 2. Pengaruh tanpa zeolit (1) dan pemberian 6 ton ZKK/ha (2) terhadap peningkatan hasil gabah bernas pada kondisi di rumah kaca

Tabel 5. Pengaruh pemberian ZKK terhadap serapan hara N dan K

Perlakuan	BK (g/pot)	% N	N diserap (g N/pot)	% K	K diserap (g K/pot)	Bobot gabah (gram/pot)
NPK	46,90	2,31	1,0833	0,49	0,2298	61,22
NPK + Zeolit	51,66	2,35	1,2140	0,66	0,3410	73,30

Pengaruh pemberian ZKK terhadap serapan hara N dan K serta bobot gabah pada kondisi di rumah kaca disajikan pada Tabel 5.

Pada pertumbuhan vegetatif maksimum, pemberian ZKK meningkatkan serapan N dan K masing-masing sebanyak 12 % dan 48%.

Serapan hara N pada saat tanaman berumur 8 MST pada perlakuan ZKK adalah 1,2140 g N/pot atau setara 19,36 kg N/ha (43 kg urea/ha) membuktikan bahwa serapan hara belum maksimal, sebab disamping NH_4^+ dijerap partikel liat, juga NH_4^+ banyak dijerap dalam pori-pori zeolit yang secara lambat masih akan dilepaskan pada fase pengisian

biji, bahkan sisanya dalam zeolit masih akan dilepaskan pada musim tanaman berikutnya. Serapan K saat tanaman berumur 8 MST pada perlakuan ZKK 0,3410 g K/pot atau setara 106 kg K/ha (203 kg KCl/ha) menunjukkan bahwa pada saat yang bersamaan bahwa serapan hara K jauh lebih banyak.

Pupuk Urea dan KCl yang diberikan ke tanah yang sebelumnya sudah diberi zeolit, maka kation NH_4^+ -Urea dan kation K^+ -KCl dapat terperangkap sementara dalam pori-pori zeolit yang sewaktu-waktu dilepaskan secara perlahan-lahan untuk diserap tanaman. Banyak sedikitnya kation NH_4^+ dan K^+ sangat ditentukan oleh radius dari ke dua jenis kation tersebut. Dalam bentuk atom N maka radius atom N adalah 0,73 Å, sedangkan radius atom K adalah 1,96 Å (Frank Brescia *et al.*, 1975) [16]. Jumlah radius penggabungan atom N dan H dalam bentuk kation NH_4^+ maka radiusnya adalah jumlah radius dari ke dua jenis atom tersebut. Smirnov *et al.* (1997) [17] melaporkan bahwa *ionic size* NH_4^+ dan K^+ masing-masing adalah 1,33 dan 1,47 Å. Ukuran maksimum dari ion yang dapat memasuki pori-pori zeolit adalah dikendalikan oleh dimensi dari channel zeolit. Klinoptilolite memberikan sumber K yang dilepaskan secara lambat, hal ini mengakibatkan inovasi teknologi pupuk urea dan KCl yang dicampur zeolit dengan perbandingan tertentu kemungkinan mengakibatkan K^+ dari pupuk KCl sulit memasuki ke dalam pori-pori zeolit

klinoptilolite. Sebaliknya NH_4^+ dari pupuk urea lebih mudah memasuki pori-pori zeolit untuk ditahan sementara dan secara lambat akan dilepaskan lagi untuk diserap akar tanaman, sehingga pupuk urea yang diberikan lebih efisien. Jika takaran pupuk yang diberikan sesuai anjuran maka residu pupuk berakhir lebih lama dengan peningkatan hasil yang lebih tinggi.

Peningkatan serapan N secara lambat dan serapan K yang lebih cepat pada perlakuan yang diberi zeolit meningkatkan bobot gabah sampai 73,30 gram/pot, sedangkan bobot gabah bernas pada perlakuan NPK adalah 61,22 gram/pot (Tabel 5). Tidak diragukan lagi bahwa inovasi teknologi pembena tanah zeolit dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, sehingga hasil tanaman dapat ditingkatkan. Dalam pengembangan inovasi teknologi pembena tanah zeolit untuk pertanian, maka *quality control* terhadap perdagangannya harus dilakukan periodik.

Pemberian ZKK yang dikombinasikan dengan pupuk kandang (Gambar 3) berpengaruh positif terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman dengan bobot kering biji jagung pipilan 8,44 ton/ha jauh lebih baik dibandingkan dengan kontrol dengan bobot kering biji jagung pipilan 5,65 ton/ha (Gambar 4).



Gambar 3. Pengaruh pemberian 800 kg ZKK/ha + 2 ton pupuk kandang/ha + pupuk NPK standar terhadap pertumbuhan tanaman jagung dengan bobot kering biji jagung pipilan 8,44 ton/ha



Gambar 4. Pertumbuhan jagung pada kontrol yang hanya diberi pupuk NPK standar (tanpa ZKK) dengan bobot dengan bobot kering biji jagung pipilan 5,65 ton/ha

KESIMPULAN

1. KTK zeolit-A dan zeolit-B yang ditetapkan di 5 laboratorium menunjukkan nilai yang berbeda-beda dengan nilai < dari standar SNI 13-3496-1994 ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$), kecuali jika nisbah zeolit:ammonium asetat diperlebar (1:100) sebagaimana yang ditetapkan di IPB.
2. KTK zeolit-A dan zeolit-B yang ditetapkan di IPB pada nisbah tanah: $\text{NH}_4\text{OAc} = 1:20$ dengan nilai masing-masing 88 dan 82 $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ sudah memenuhi persyaratan Permentan No.02/Pert/HK.060/2/2006 ($\geq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$), tetapi lebih rendah dari standar SNI 13-3496-1994 ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$); Jika nisbahnya diperlebar 1:100 - 1:500 maka nilainya sesuai dengan persyaratan menurut SNI ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$).
3. KTK zeolit-A yang ditetapkan di laboratorium penelitian tanah dan uji tanah di Balittanah pada nisbah zeolit: NH_4OAc (1:20, 1:100, 1:200, 1:300, 1:400, 1:500) semuanya tidak memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya $\leq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Sedangkan KTK zeolit B pada nisbah zeolit: $\text{NH}_4\text{OAc} = 1:100$ dengan nilai 84 $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ sudah memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 yaitu $\geq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, tetapi nilainya lebih rendah dari persyaratan menurut SNI 13-3496-1994 ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$).
4. KTK zeolit A yang ditetapkan di laboratorium penelitian pelayanan jasa di Balittanah pada nisbah tanah : NH_4OAc (1:20, 1:100, 1:200, 1:300, 1:400, 1:500) semuanya tidak memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya $\leq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Sedangkan KTK zeolit-B pada nisbah tanah: NH_4OAc (1:20, 1:100, 1:200) masing-masing 88, 91, dan 80 $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ sudah memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 $\geq 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, tetapi nilainya lebih rendah dari persyaratan menurut SNI 13-3496-1994 ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$), bahkan semakin lebar nisbah tanah: NH_4OAc (1:300, 1:400, 1:500 maka KTK $\leq 80 \text{ cmol} \text{ kg}^{-1}$).
5. KTK zeolit-A dan zeolit-B yang ditetapkan di PT. Sucofindo masing-masing 52 dan 60 $\text{cmol} \text{ kg}^{-1}$ tidak memenuhi persyaratan menurut SNI 13-3496-1994, dan nilainya lebih rendah dari KTK Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 (80 $\text{cmol} \text{ kg}^{-1}$).
6. KTK zeolit-A yang ditetapkan di Puslit. TEKMIIRA 92 $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ sudah memenuhi persyaratan Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006 sebab nilainya $\geq 80 \text{ cmol} \text{ kg}^{-1}$, tetapi nilainya lebih rendah dari persyaratan menurut SNI 13-3496-1994 ($\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$).
7. Berdasarkan fakta tersebut diatas, maka perlu perbaikan/penyeragaman prosedur metode penetapan KTK zeolit.
8. Pemberian 6 ton ZKK/ha pada kondisi di rumah kaca dapat meningkatkan hasil gabah bernas sekitar 19,41% sebagai akibat adanya peningkatan serapan hara; Pemberian 800 kg ZKK/ha yang dikombinasikan dengan 2 ton pupuk kandang/ha pada kondisi di lapang

meningkatkan bobot kering biji jagung pipilan 49,38% dibanding tanpa zeolit.

Saran:

1. Pengembangan inovasi teknologi pembena tanah mineral zeolit untuk keperluan pertanian yang banyak dilakukan oleh swasta sangat beralasan didukung oleh pemerintah.
2. Kriteria KTK berdasarkan SNI diusulkan direvisi kedalam 5 kelas: (1) $\geq 100 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas A); $100 - 80 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas B); $80 - 60 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas C), $60 - 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas D), $< 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (kelas E).
3. Prosedur metode penetapan KTK zeolit yang mengacu pada SNI No 13-7168-2006 sangat beralasan untuk direvisi, namun realisasinya dapat dilakukan jika ada institusi penggeraknya, kemudian ditindaklanjuti dengan penelitian kerjasama diantara instansi pemerintah dan swasta terkait untuk melakukan modifikasi prosedur penetapannya secara nasional.
4. Prosedur metode penetapan KTK zeolit di Indonesia perlu diseragamkan, dimana metode penetapan KTK zeolit sama seperti metode penetapan KTK tanah, yaitu metode perkolasi yang dimodifikasi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. R. Sugianto, MBA, Direktur Utama CV. MINA TAMA di Tanjungkarang (Bandar Lampung) yang telah memberikan contoh zeolit untuk penelitian.
2. Dr. Diah Setyorini, peneliti di Kelompok Peneliti (Kelti) Kesuburan Tanah dan Dr. Dedy Nursyamsi sebagai ketua Kelti Kesuburan Tanah di Balittanah yang telah memberikan dana untuk analisis KTK zeolit.
3. Bambang Hendro, selaku pimpinan laboratorium mineralogy di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Bogor yang telah menganalisis contoh zeolit berasal dari Lampung, dan menyediakan waktu untuk berdiskusi tentang penetapan jenis zeolit dengan XRD.

DAFTAR PUSTAKA

1. SNI. 13-3496-. BSN (ICS 73.080).
2. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum. 1991. Pengukuran kapasitas pertukaran kation mineral zeolit. ICS 73.080. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
3. Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeny. 1984. Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Ageonomy, Inc.. Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
4. Pond, W. G., and F. A. Mumpton (Ed). 1984. Zeo-agriculture: Use natural zeolites in agriculture and aquaculture. International Committee on Natural Zeolite, Westview Press, Boulder, CO.
5. Torii, K. M., M. Hotta, and M. Asaka. 1979. Quantitative Estimation of Mordenite and Clinoptilolite In Sedimentary Rock (II). Journal Japan Association Mineral Economic Geology 74 (8).
6. Townsend, R. P. 1979. The properties and application of zeolites. The Proceeding of A Conference Organized Jointly by the Inorganic Cehemicals Group of the Chemical Society and the Chemical Industry. The City University, London, April 18th - 20th.
7. Suwardi. 2007. Pemanfaatan zeolit untuk Perbaikan Sifat-sifat Tanah dan Peningkatan Produksi Pertanian. Disampaikan pada Semiloka Pembena Tanah Menghemat Pupuk Mendukung Peningkatan Produksi Beras, di Departemen Pertanian, Jakarta 5 April 2007. (Tidak dipublikasikan).
8. Astiana, S. 1993. Perilaku mineral zeolit dan pengaruhnya terhadap perkembangan Tanah. Program Pascasarjana. IPB.
9. Dinas Pertanian dan Perdagangan Provinsi Jawa Timur. 2006. Syarat Mutu Zeolite sebagai Bahan Pembena Tanah. Lembaga Sertifikasi Produk. Balai Pengujian Sertifikasi Mutu Barang dan Lembaga Tembakau Surabaya. SNI 13-7168-2006.
10. SNI 13-7168. Lembaga Sertifikasi Produk. Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jawa Timur. Balai

- Pengujian Sertifikasi Mutu Barang dan Lembaga Tembakau Surabaya.
11. Dixon, J. B., and S. B. Weed. 1989. Minerals in Soil Environments. Second Edition. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. USA. 1243 p.
 12. Ming, D. W., and J. B. Dixon. 1987. Quantitative determination of clinoptilolite in soil by a cation-exchange capacity method. *Clays Clay Miner.* 35: 463-468.
 13. Anonymous. 2008. Kapasitas tukar kation dan basa-basa yang dapat dipertukarkan. Laboratorium Tanah. IPB.
 14. Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Analisis kimia tanah, tanaman, dan air. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. 136 halaman.
 15. Al-Jabri, M. 2008. Kajian metode penetapan kapasitas tukar kation (KTK) zeolit sebagai pembenah tanah untuk lahan pertanian terdegradasi. 2008. *Jurnal Standardisasi*. VI. 10. No. 2: p 56 – 63.
 16. Frank Brescia, John Arents, Herbert Meislich, Amos Turk. 1975. *Fundamentals of Chemistry*. Academic Press. Inc. New York. San Francisco. London. A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich. Publishers. 625 p.
 17. Smirnov, L. S., I. Natkaniec, S. I. Bragin, L. A. Shuvalov, and S. N. Sulyanov. 1997. Ammonium dynamic in $Rb_{1-x}(NH_4)_xSCN$ mixed crystal at 10 K. *Proceeding of the first European Conference on Neutron Scattering*. Volume 234 – 236, 1997, pages 66 – 67.

BIODATA

M. Al-Jabri. Peneliti Utama dengan bidang keahlian rekomendasi pemupukan berimbang hara makro dan mikro, pembenah tanah bahan organik dan zeolit. Penulis mendapatkan gelar Ph.D/Dr (jurusan Kesuburan Tanah) pada tahun 2002 di Fakultas Pascasarjana, Universitas Padjadjaran Bandung, sedangkan S1 dan S2 masing-masing diperoleh pada tahun 1972 dan 1987 dari Institut Pertanian Bogor.