

Formulasi dan Pola Kelarutan N Pupuk Urea-Zeolit Lepas Lambat

Formulation and N Solubility Trend of Slow Release Urea-Zeolit Fertilizer

Wiwik Hartatik¹, Eti Mardiyati², Heri Wibowo¹, Agus Sukarto³, Yusron⁴

¹ Balai Penelitian Tanah, Jalan Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16124, Jawa Barat, Indonesia

² Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jalan M.H Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340, DKI Jakarta, Indonesia

³ Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jalan Jendral Gatot Subroto No. 10, Jakarta 12710, DKI Jakarta, Indonesia

⁴ Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Jalan Tentara Pelajar No. 1, Cimanggu, Bogor 16124, Jawa Barat, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 11 Oktober 2019

Disetujui: 17 Mei 2020

Dipublikasi online: 31 Mei 2020

Kata kunci:

Efisiensi
Pemupukan
Kelarutan N
Kitosan
Penyalutan

Keywords:

Efficiency
Fertilization
N Solubility
Chitosan
Encapsulation

Direview oleh:

Linca Anggria, Eni Maftu'ah

Abstrak. Upaya pengendalian pelepasan Urea secara perlahan dapat dilakukan dengan memformulasi pupuk Urea dengan Zeolit dan penyalutan Kitosan sehingga dapat menyediakan hara N secara lambat, dan meningkatkan efisiensi pemupukan, produktivitas tanah dan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah memformulasi dan mempelajari kelarutan N dari formula pupuk Urea dan Zeolit yang berukuran submikron dan yang disalut dengan Kitosan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium dengan rancangan percobaan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah 1) Kontrol lengkap (tanpa pupuk), 2) Urea prill (pupuk standar), 3) Formula Urea + Zeolit, dan 4) Formula Urea + Zeolit + Kitosan. Pengamatan yang dilakukan yaitu kelarutan N-total, N-NH₄ dan N-NO₃ selama inkubasi 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula pupuk Urea + Zeolit dengan perbandingan 3:2 yang disalut Kitosan memberikan kelarutan N-total sebesar 25,43% pada inkubasi 12 minggu dibandingkan Urea prill sebesar 43,43%. Selama inkubasi perlakuan kontrol memberikan kelarutan N-total paling rendah, karena kadar N tanah awal rendah. Formula pupuk Urea + Zeolit yang disalut Kitosan dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui kelarutan N yang *slow release* sehingga mampu mengurangi penguapan dan pencucian pupuk Urea.

Abstract. The efforts to slow down Urea release can be conducted by formulating of Urea and Zeolit, and followed by chitosan encapsulation. The formulation can release Nitrogen (N), increase the efficiency of fertilization, and increase soil and crop productivity. This research was aimed to formulate and evaluate the solubility of N from Urea and submicron-sized Zeolit followed by coating with chitosan. The experiment was conducted from April to December 2012 at the Laboratory with experimental design of completely randomized design with three replications. The treatments tested were 1) Complete control, 2) Prilled Urea, 3) Formula of Urea + Zeolit, and 4) Formula of Urea + Zeolit + chitosan. Observations included solubilities of total N, NH₄-N, and NO₃-N during the incubation of 2, 4, 6, 8, 10, and 12 weeks. The results showed that the formula of Urea + Zeolit fertilizer with the ratio of 3:2, encapsulated with chitosan gave a total N-solubility of 25.43% at 12 weeks incubation, which was significantly lower than that of prilled Urea of 43.43%. During the incubation, the control treatment gave the lowest total N-solubility, because of the low initial N soil content. The formula of Urea + Zeolit coated with chitosan can increase fertilizer efficiency through slow release N solubility so as to reduce volatilization and leaching of Urea fertilizer.

Pendahuluan

Pupuk Urea yang beredar di pasaran saat ini umumnya dalam bentuk butiran (prill dan granul/tablet), dan kebiasaan petani aplikasi pupuk Urea dengan cara disebar. Kelemahan pupuk Urea prill yaitu mudah larut dalam air, mudah menguap dan mudah tercuci (Freney *et al.* 1992; Zhu 1992). Aplikasi pupuk Urea prill dengan cara disebar akan tidak efisien, karena kelarutan Urea prill dalam air yang sangat tinggi, sehingga pada kondisi tertentu akan terjadi kehilangan N melalui *run off* (Chichester *et al.* 1992), pencucian (*leaching*) (Cameron *et al.* 2002), dan penguapan. Upaya menekan kehilangan Urea yang cukup

besar, maka kelarutan Urea dikendalikan pelepasannya sesuai fase pertumbuhan dan kebutuhan tanaman. Usaha untuk meningkatkan efisiensi pupuk Urea telah dilakukan dengan beberapa cara diantaranya 1) memperkeras butiran 2) memperbesar butiran seperti Urea granul dan Urea briket 3) memperkeras dan memperbesar butiran sekaligus seperti Urea tablet dan 4) melapisi butiran dengan suatu senyawa lain seperti Urea disalut sulfur, Urea disalut silika, Urea disalut asam humat, Urea disalut *formaldehyde* (Shaviv 2000).

Peningkatan efisiensi pemupukan salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi nano. Pemanfaatan teknologi nano mampu mengontrol atau

* Corresponding author: wiwik_hartatik@yahoo.com

memanipulasi sampai ukuran skala atom (Kuzma *et al.* 2006; Jain *et al.* 2018). Dalam bidang pertanian, teknologi nano bermanfaat dalam banyak hal antara lain meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, pestisida, dan bahan amelioran lainnya (Joseph *et al.* 2006), maupun sebagai material yang melepas hara terkendali (Appell *et al.* 2013), meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil panen, sensor untuk mengetahui kualitas tanah, pestisida, dan pupuk hayati (Choudhary *et al.* 2018).

Ukuran skala nano dari bahan coating dapat membuat pupuk menjadi *slow release*. Bahan coating berukuran nano dapat dicampur dan dimiling dengan bahan pupuk sehingga dapat diaplikasikan di sekitar perakaran tanaman dan dapat menyediakan unsur hara secara perlahan-lahan dan tepat sasaran dan sesuai kebutuhan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian, bahwa proses blending antara Zeolit sebagai *supporting agent* dan pupuk Urea dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, karena unsur nitrogen dalam Urea diikat dan bereaksi pada seluruh permukaan Zeolit yang luasnya mencapai $20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ bahkan mencapai $10.9015 \pm 0.0268 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ Bruaner–Emmett–Teller (BET) (Ramesh *et al.* 2014).

Penelitian dan pengembangan nanoteknologi pada pupuk adalah upaya memanipulasi bahan pembawa Zeolit secara terkendali dari struktur skala nano dan mengintegrasikannya ke dalam komponen material yang lebih besar. Sifat khas dari Zeolit sebagai mineral alami berstruktur tiga dimensi bermuatan negatif dan memiliki pori-pori yang terisi ion-ion K, Na, Ca, Mg, dan molekul H_2O , sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran ion dan pelepasan air secara bolak-balik (Arryanto *et al.* 2012).

Zeolit adalah mineral dari senyawa aluminosilikat terhidrasi dengan struktur berongga dan mengandung kation-kation alkali yang dapat dipertukarkan. Salah satu parameter Zeolit alam yang dijadikan acuan uji mutunya adalah nilai kapasitas tukar kation (KTK). Mengacu pada SNI KTK Zeolit 13-3494-1994, Zeolit dinyatakan lolos uji mutu jika nilai KTK-nya $\geq 100 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Zeolit alam merupakan salah satu mineral yang banyak terdapat di Indonesia. Zeolit mempunyai sifat-sifat: higroskopis, luas permukaan yang tinggi, KTK (Kapasitas Tukar Kation), dan daya adsorpsi-desorpsi yang tinggi (Arryanto *et al.* 2012).

Menurut Sastiono 2004, Zeolit dimanfaatkan untuk berbagai keperluan disebabkan oleh beberapa sifat dasar dan peran yang dimiliki yaitu: 1) Mempunyai rongga yang luas dan saluran sehingga dapat terisi oleh air dan apabila air ini dilepaskan, rongga akan dapat diisi kembali oleh

bahan lain berupa cairan atau gas. 2) Bersifat sangat polar sehingga dapat menyerap jenis gas lebih banyak dengan daya serap yang diakibatkan oleh adanya medan listrik yang timbul dari muatan anion dan kation antar kristal. 3) Ukuran rongga relatif halus antara $4-7 \text{ \AA}$ yang dapat dimanfaatkan untuk *sieving molekuler*. Sifat molekuler ini dapat diubah oleh adanya pertukaran ion. Hal ini disebabkan karena kedua kation yang diserap dan kation kerangka berada sama pada saluran rongga (Barrer 1978). 4) Pertukaran kation. Kation-kation yang dapat dipertukarkan terikat secara tidak kuat dalam kerangka tetrahedral dimana kation ini mudah ditukar dengan cara pencucian oleh larutan pekat dari kation-kation lain (Hidayat *et al.* 2005). Untuk dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, Zeolit alam yang diambil diaktivasi terlebih dahulu dengan tujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus Zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dalam mineral Zeolit. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu secara fisika atau secara kimia. Umumnya adsorpsi merupakan kombinasi dari kedua cara tersebut (Rosita *et al.* 2004).

Pupuk *slow release* adalah pupuk yang tersedia lambat dan secara perlahan dapat menyediakan hara untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Pupuk *slow release* adalah salah satu alternatif teknologi untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. Unsur N dapat hilang melalui volatilisasi ammonia, proses nitrifikasi, denitrifikasi mikrobial, pencucian dan hilang melalui *runoff* (Chichester *et al.* 1992; Choudhury *et al.* 2005; Jiao *et al.* 2012; Fang *et al.* 2015). Terdapat bermacam jenis pupuk *slow release* yang sudah di produksi dan tersedia di pasar yaitu Urea granul, Urea tablet, Urea coated silika, Urea coated sulfur (Peoples *et al.* 1995; Shoji *et al.* 1995; Shaviv 2000). Menurut Trenkel (2010) prosedur utama untuk mempersiapkan pupuk *slow release* adalah dengan menyalut (*coating*) pupuk biasa dengan bahan yang tidak larut air (*insoluble water*), *semipermeable* atau *impermeable* yang memiliki pori-pori sehingga tekanan air kelarutan pupuk dan laju pelepasan hara dapat dikontrol. Salah satu kesepakatan tentang pupuk *slow release* mengacu pada Gugus Tugas Komite Standardisasi Eropa (CEN) (Kloth 1996). Pupuk *slow release* adalah tingkat *release* pupuk tidak boleh lebih dari pupuk biasa serta tidak lebih dari 75% *release* dalam 28 hari (Trenkel 2010).

Upaya pengendalian pelepasan Urea secara perlahan dapat dilakukan dengan memformulasi pupuk Urea dengan Zeolit dalam skala nano/submikron. Mineral Zeolit yang berukuran submikron dapat digunakan sebagai bahan pembawa atau filler yang berperan dalam *release* hara secara bertahap. Perubahan ukuran butir dalam bentuk

submikron diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan dan mengurangi dosis pupuk. Zeolit sebagai mineral aluminosilikat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen, dan berkontribusi pada peningkatan serapan N melalui kontrol retensi ion amonium (Bernardi *et al.* 2016). Bahan pembawa pupuk nitrogen adalah Zeolit alam dengan pertimbangan memiliki struktur mikroporos, ketersediaan melimpah, harga murah, dan dapat dicampurkan dengan baik dengan komponen pupuk.

Kitosan adalah suatu polisakarida berbentuk linier yang terdiri dari monomer N-asetil glukosamin (GlcNAc) dan D-glukosamin (GlcN) (Lizardi-Mendoza *et al.* 2016). Bentuk derivatif deasetilasi dari polimer ini adalah kitin. Kitin adalah jenis polisakarida terbanyak ke dua di bumi setelah selulosa dan dapat ditemukan pada eksoskeleton invertebrata dan beberapa fungi pada dinding selnya. Kusumastuti *et al.* 2019 menyatakan bahwa multilayer kitosan-polianion seperti kitosan-alginat (CA) 5, kitosan-pektin (CP) 5, dan kitosan-TPP (CT) 5 mampu membentuk lapisan sebagai pelapis granul pupuk yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi pelepasan nitrogen pupuk. Peningkatan konsentrasi Kitosan mengakibatkan penurunan pelepasan nitrogen setelah satu hari atau setelah 30 hari diinkubasi dalam air (Roshanravan *et al.* 2015).

Tujuan penelitian ini adalah memformulasi dan mempelajari kelarutan N dari pupuk Urea dan Zeolit yang berukuran submikron yang disalut dengan Kitosan.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan April – Desember 2012 di Laboratorium Pusat Penelitian Fisika LIPI, BPPT, dan Balai Penelitian Tanah, Sindang Barang Bogor. Bahan yang digunakan adalah Zeolit, pupuk Urea dan Kitosan. Tahapan penelitian sebagai berikut:

Pembuatan Partikel Sub Mikron dari Bahan Baku Pupuk

Untuk mendapat bahan pupuk yang berukuran submikron dengan teknik *ball milling* dengan menggunakan *high energy milling*. Milling dengan *high energy milling* pada dasarnya adalah teknik penggilingan mekanik, penghancuran yang terjadi karena penggerusan bubuk yang terdapat di permukaan bola pada saat berbenturan dengan bola lain sehingga besar tumbukan yang diberikan oleh bola adalah sebesar gaya benturan per satuan luas permukaan bola yang bertumbukan. Analisis

Particle Size Analyzer (PSA) dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dan struktur bahan.

Enkapsulasi Urea-Zeolit dan Penyalutan dengan Kitosan

Enkapsulasi adalah proses pencampuran pupuk Urea dengan Zeolit dengan perbandingan tertentu kemudian dilakukan penghalusan dengan teknik *ball milling*. Urea dienkapsulasi ke dalam Zeolit dengan menggunakan teknik *ball milling* kemudian disalut dengan Kitosan. Urea dicampurkan dengan Zeolit dengan perbandingan 3:2 kemudian dilakukan teknik *ball milling*. Proses penghalusan ini selain berfungsi untuk memperkecil ukuran juga untuk mempercepat masuknya Urea ke dalam pori-pori Zeolit dan terjerap di dalamnya. Selanjutnya, Zeolit yang mengandung Urea disalut dengan senyawa polimer (Kitosan) sehingga diharapkan akan bersifat *slow release* (Tomaszewska *et al.* 2006; Ni *et al.* 2009).

Optimasi Perbandingan Zeolit dan Urea

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pendahuluan untuk mengetahui rasio perbandingan Urea dan Zeolit dengan kandungan N yang paling tinggi. Beberapa formula pupuk dengan perbandingan tertentu dibuat yaitu Zeolit, formula Urea dan Zeolit dengan perbandingan 1:1, formula Urea dan Zeolit dengan perbandingan 2:3 dan formula Urea dan Zeolit dengan perbandingan 1:2. Kemudian beberapa formula tersebut dianalisis dengan parameter kadar N-organik, N-NH₄, N-NO₃ dan N-total.

Kelarutan Beberapa Jenis Pupuk N

Rancangan percobaan yang digunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah 1) kontrol lengkap (tanpa pupuk), 2) Urea prill, 3) formula Urea + Zeolit, dan 4) formula Urea + Zeolit yang disalut Kitosan.

Percobaan kelarutan N dalam tanah dari beberapa jenis pupuk N menggunakan bahan tanah sebanyak 2 kg (bobot kering oven 105 °C) per pot. Setiap pot, kecuali perlakuan kontrol lengkap, diberi pupuk Urea prill, formula Urea + Zeolit dan Urea + Zeolit disalut Kitosan dengan dosis pupuk 4 kg per tanaman (setara dengan 10 g pot⁻¹). Dosis pupuk berdasarkan kebutuhan hara N tanaman kelapa sawit. Untuk mengetahui pola kelarutan yang jelas maka dosis dilipatkan menjadi empat kali. Tanah dan pupuk dicampur merata, kemudian tanah diairi sampai kapasitas lapang kemudian diinkubasi sampai 12 minggu. Selama inkubasi kelembapan tanah dipertahankan kapasitas lapang dengan melakukan penimbangan pot setiap hari. Pengamatan dilakukan dengan mengambil sampel tanah

pada 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 minggu setelah inkubasi untuk ditetapkan N-NH₄, N-NO₃ dan N-total.

Karakteristik Zeolit yang Digunakan

Karakteristik Zeolit yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1. Zeolit dari Cipatujah, Ciamis, Jawa Barat berwarna biru muda. Kadar logam berat Pb, Cd, As, dan Hg dibawah ambang batas yang diperbolehkan. Zeolit dari Cipatujah mempunyai nilai KTK 43,02 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ dan pH 8,11. Nilai KTK mineral Zeolit sangat berkaitan dengan kemurnian dari Zeolit.

Sifat Kimia Tanah yang Digunakan dalam Penelitian

Tanah yang dipakai dalam penelitian ini memiliki

tekstur liat dengan tingkat kemasaman yang tergolong sangat masam. Tanah memiliki kandungan C-organik, N-total dan rasio C/N tergolong rendah. Kadar P potensial tergolong tinggi dan P tersedia tergolong sedang. Kadar K potensial tergolong rendah dan K dapat ditukar tergolong sedang. Kadar kation dapat ditukar (Ca, Mg, Na, dan Al) tergolong sangat rendah sampai rendah. Demikian juga kejenuhan basa yang sangat rendah dan kapasitas tukar kation tergolong rendah. Berdasarkan uraian di atas maka tanah penelitian mempunyai kesuburan yang rendah yang ditunjukkan oleh kandungan C-organik, kation tukar, kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation yang rendah (Tabel 2).

Tabel 1. Karakteristik Zeolit yang digunakan

Table 1. Characteristics of Zeolites used

Zeolit	Jenis analisis						
	pH	KTK cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Pb	Cd	As	Hg	Kadar Air %
Zeolit Cipatujah	8,11	43,02	2,4	td	td	0,2	9,98

Tabel 2. Sifat kimia tanah yang digunakan untuk penelitian

Table 2. Soil chemical properties for this research

Jenis Analisis	Nilai analisis
Tekstur	
Pasir	9
Debu	28
Liat	63
pH H ₂ O	3,8
C (%)	1,35
N (%)	0,15
C/N	9
P ₂ O ₅ -HCl 25% (mg100g ⁻¹)	60
K ₂ O-HCl 25% (mg100 g ⁻¹)	19
P-Bray 1 (ppm)	7,3
P Olsen (ppm)	7,3
K ₂ O morgan (ppm)	186
Nilai Tukar Kation	
Ca-dd (cmol(+))kg ⁻¹	0,28
Mg-dd (cmol(+))kg ⁻¹	0,25
K-dd (cmol(+))kg ⁻¹	0,37
Na-dd (cmol(+))kg ⁻¹	0,12
KTK (cmol(+))kg ⁻¹	12,51
Kejenuhan Basa (%)	8
Al- dapat ditukar (cmol(+))kg ⁻¹	5,53
H- dapat ditukar (cmol(+))kg ⁻¹	1,57

Hasil dan Pembahasan

Optimasi Perbandingan Zeolit dan Urea

Hasil analisis kadar N formulasi pupuk Urea-Zeolit dalam bentuk submikron yang diambil secara komposit disajikan pada Tabel 3. Formula pupuk Urea-Zeolit dengan perbandingan Urea-Zeolit sebesar 2:3 memberikan hasil analisis kadar N-total, N-organik dan N-NO₃ tertinggi yaitu berturut-turut sebesar 21,79%, 18,67% dan 1,86%. Perlakuan perbandingan Urea-Zeolit sebesar 1:2 memberikan kadar N-NH₄ sedikit lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Selanjutnya untuk penelitian kelarutan N dipilih perbandingan Urea-Zeolit sebesar 2:3.

Kadar N-organik menunjukkan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan kadar N-NH₄ dan N-NO₃, hal ini karena kadar N-organik yang berada dalam rongga-rongga Zeolit lebih tinggi dari kadar N-NH₄ dan N-NO₃. Rendahnya kadar N-NH₄ dan N-NO₃ diduga karena proses *milling* menyebabkan volatilisasi N. Kehilangan N melalui volatilisasi amonia bervariasi dari 0 hingga >50% dari pupuk N yang diaplikasikan tergantung teknik pemupukan

dan kondisi lingkungan (Bacon *et al.* 1986; Keller *et al.* 1986; Black *et al.* 1989; Freney *et al.* 1992). Pada tanah sawah, volatilisasi ammonia dapat mencapai 20% hingga 80% dari total N yang hilang dari sumber pupuk (De Datta *et al.* 1989; Freney *et al.* 1990; Mosier *et al.* 1989; Zhu 1992).

Hasil pengukuran *Particle Size Analyzer (PSA)* menunjukkan bahwa formula Zeolit-Urea yang telah disalut dengan Kitosan mempunyai ukuran diameter rata-rata berturut-turut 1769,2 nm (pengukuran 1), 1921,1 nm (pengukuran 2). Berdasarkan data tersebut formula pupuk Zeolit-Urea yang disalut dengan Kitosan berukuran submikron dan belum mencapai ukuran nano < 100 nm (gambar 1).

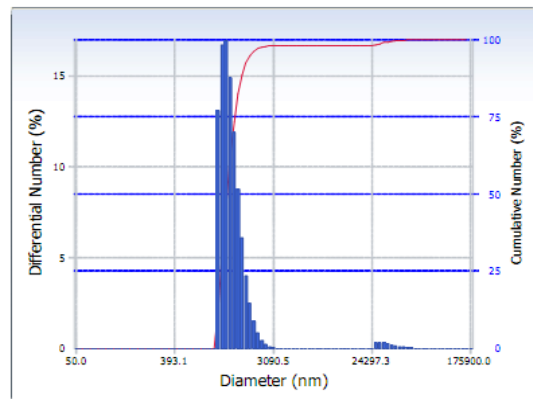
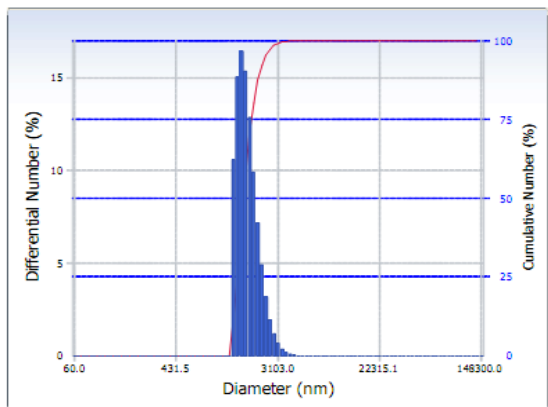
Kadar N-NH₄

Kadar N-NH₄ dalam tanah selama inkubasi 12 minggu umumnya lebih tinggi dari kadar N-NO₃, hal ini diduga tanah yang diambil lebih lembap dari kadar air kapasitas lapang. Semakin lama inkubasi kadar NH₄ meningkat pada perlakuan Urea prill dan Urea + Zeolit, sedangkan pada

Tabel 3. Kadar N dari beberapa formula Urea dan Zeolit

Table 3. Concentration N from several Urea and Zeolite formulas

No.	Komposisi	Kadar N			
		N-organik	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Total
.....%.....					
1.	Zeolit	0,36	0,23	0,03	0,62
2.	Urea - Zeolit 1 : 1	16,41	0,45	0,60	17,45
3.	Urea - Zeolit 2 : 3	18,67	1,25	1,86	21,79
4.	Urea - Zeolit 1 : 2	15,45	1,33	1,57	18,35



Gambar 1. Distribusi diameter Urea- Zeolit yang disalut kitosan

Figure 1. Distribution of Urea- Zeolite diameter coated with chitosan

perlakuan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan kadar N-NH₄ menurun pada 8 dan 10 minggu setelah inkubasi, hal ini menunjukkan setelah inkubasi 6 minggu penyalutan Kitosan menyebabkan kelarutan N-NH₄ menurun. Kadar N-NH₄ pupuk yang terlarut dalam tanah pada perlakuan kontrol berkisar 24,67-1056,00 ppm; Urea prill berkisar 711,00-1555,00 ppm; Urea + Zeolit berkisar 541,67-1267,00 ppm; Urea + Zeolit + Kitosan berkisar 78,67-1082,00 ppm. Perlakuan kontrol memberikan kadar N-NH₄ terendah selama 12 minggu inkubasi, sedangkan perlakuan Urea prill memberikan kadar N-NH₄ tertinggi, diikuti oleh Urea + Zeolit, sedangkan perlakuan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan memberikan kadar N-NH₄ nyata lebih rendah dari perlakuan Urea prill dan Urea + Zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa formula Urea + Zeolit yang disalut dengan Kitosan memberikan kelarutan N-NH₄ *slow release* (Tabel 4).

Kadar N-NO₃

Kadar N-NO₃ dalam tanah pada perlakuan kontrol berkisar 57,33-135,33 ppm; Urea prill berkisar 109,20-777,00 ppm; Urea + Zeolit berkisar 111,50 - 673,67 ppm; Urea + Zeolit + Kitosan berkisar 114,87-576,33 ppm. Kadar N-NO₃ semua pupuk yang dicoba meningkat dengan semakin lamanya masa inkubasi 12 minggu. Perlakuan kontrol memberikan kadar N-NO₃ terendah

mulai 4-12 minggu inkubasi. Pada inkubasi 12 minggu perlakuan Urea prill memberikan kadar N-NO₃ tertinggi, diikuti oleh Urea + Zeolit dan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan. Formulasi Urea dengan Zeolit dan penyalutan Kitosan memberikan pelepasan Urea yang lebih lambat dari Urea prill, hal ini ditunjukkan dengan data perlakuan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan memberikan kadar N-NO₃ yang tidak berbeda nyata dengan Urea + Zeolit, namun berbeda nyata dengan Urea prill pada inkubasi 12 minggu (Tabel 5).

Kadar N-total

Kadar N-total dan persentase kelarutan N-total selama inkubasi 12 minggu disajikan dalam Tabel 6 dan 7. Kadar N-total pada inkubasi minggu kedua perlakuan Urea prill dan Urea + Zeolit berturut-turut sebesar 3821,07 dan 3892,1 ppm nyata lebih tinggi dari kontrol dan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan, ini berarti perlakuan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan lebih lambat melepas N. Persentase kelarutan N-total dari Urea prill sebesar 23,59% sedangkan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan sebesar 7,77%. Formula pupuk Urea + Zeolit diperoleh dengan proses blending antara Urea dengan Zeolit dengan perbandingan 3:2 dalam mesin penggiling nanopartikel. Dalam proses ini partikel Urea akan masuk atau ditangkap dalam pori-pori Zeolit, sehingga akan menimbulkan suatu ikatan elektrostatis antara NH₄⁺ dengan permukaan partikel

Tabel 4. Kadar N-NH₄ dari beberapa pupuk N selama inkubasi 12 minggu

Table 4. Concentration of NH₄ of some N fertilizer during 12 weeks incubation

No	Perlakuan	NH ₄ (ppm)					
		Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12
1.	Kontrol	570,67 a*	60,33 b	24,67 c	58,00 b	342,67 b	1056,00 b
2.	Urea prill	811,87 a	730,00 a	711,00 b	883,33 a	1119,00 a	1555,00 a
3.	Urea + Zeolit	880,60 a	541,67 a	892,00 b	885,33 a	914,00 b	1267,00 b
4.	Urea + Zeolit disalut kitosan	84,00 b	365,67 ab	1082,00 a	856,00 a	78,67 b	86,67 c

Tabel 5. Kadar N-NO₃ dari beberapa pupuk N selama inkubasi 12 minggu

Table 5. Concentration of NO₃ of different forms of N fertilizers during 12 weeks of incubation

No	Perlakuan	NO ₃ (ppm)					
		Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12
1.	Kontrol	115,67 a*	80,00 c	57,33 c	90,00 b	104,67 b	135,33 b
2.	Urea prill	109,20 a	167,67 a	295,00 a	368,00 a	487,67 a	777,00 a
3.	Urea + Zeolit	111,50 a	133,00 b	239,33 b	362,00 a	458,67 a	673,67 ab
4.	Urea + Zeolit disalut kitosan	114,87 a	126,00 b	205,00 b	362,33 a	404,67 a	576,33 b

*Huruf yang sama dalam kolom yang sama adalah tidak beda nyata pada uji DMRT pada taraf 5%

Zeolit. Pada kondisi ini tentunya pelepasan partikel N dari Urea + Zeolit dalam tanah akan sedikit tertahan karena ikatan tersebut, sehingga release N dari Urea + Zeolit akan lebih rendah daripada *release* N dari Urea prill (Hidayat *et al.* 2015). Zeolit akan mengikat ion amonium yang dilepaskan pupuk Urea pada saat penguraian, dimana pori-pori Zeolit yang berukuran 2-8 Angstrom sesuai dengan ukuran ion amonium (Suwardi 2009).

Pada minggu keempat perlakuan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan masih memberikan kelarutan yang lebih rendah sebesar 1625 ppm. Urea + Zeolit yang disalut Kitosan diperoleh dari proses pembuatan Urea + Zeolit yang kemudian dilakukan proses penyalutan, yaitu suatu proses pelapisan Urea + Zeolit dengan Kitosan. Dengan penyalutan ini tentunya pelepasan N dalam Urea akan lebih terhambat. Sehingga sesuai trend grafik pada minggu ke-10 dan 12 kelarutan N dari Urea prill lebih tinggi dari pada kelarutan N dari Urea + Zeolit dan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan. Penyalutan bahan pupuk dengan Kitosan memiliki kemampuan dapat menyediakan hara dari pupuk secara *slow release* (Chen *et al.* 2013). Sehingga dapat menyediakan hara N secara lambat untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman, meningkatkan efisiensi pemupukan, produktivitas tanah dan tanaman.

Dari gambar 2 terlihat bahwa dengan semakin lama waktu inkubasi maka N terlarut akan semakin tinggi karena terjadinya akumulasi N yang terlarut dalam tanah. Kadar N-total tertinggi pada perlakuan Urea prill disusul Urea + Zeolit. Namun pada minggu keenam perlakuan Urea + Zeolit disalut Kitosan memberikan kadar N-total paling tinggi dibandingkan kontrol, Urea prill, dan Urea + Zeolit, hal ini diduga kation NH_4^+ yang terperangkap sementara dalam pori-pori Zeolit pada minggu keenam dilepaskan ke dalam larutan tanah.

Pada minggu kedelapan kadar N-total perlakuan Urea prill, Urea + Zeolit dan Urea + Zeolit yang disalut Kitosan

tidak terjadi perbedaan yang nyata, tetapi berbeda nyata dengan kontrol. Pada minggu kesepuluh Urea prill memberikan kadar N-total tertinggi sebesar 6240 ppm yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Perlakuan Urea + Zeolit disalut Kitosan memberikan kadar N-total yang lebih rendah dari Urea + Zeolit.

Pada minggu kedua belas Urea prill masih memberikan kadar N-total yang lebih tinggi yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan Urea + Zeolit. Perlakuan Urea + Zeolit + Kitosan memberikan kadar N-total lebih rendah sebesar 5486,67 ppm dari Urea + Zeolit walaupun secara uji statistik tidak berbeda nyata. Selama inkubasi umumnya kontrol memberikan kadar N-total paling rendah, hal ini dapat difahami karena tidak ada pemupukan N dan kadar N-total tanah awal rendah (Tabel 2).

Berdasarkan uraian diatas kelarutan formula pupuk Urea + Zeolit + Kitosan sampai inkubasi minggu keempat memberikan kelarutan N-total lebih rendah dari Urea prill, demikian juga pada inkubasi minggu kesepuluh dan duabelas. Hal ini menunjukkan bahwa formula pupuk Urea + Zeolit + Kitosan mampu melepas N secara lambat pada inkubasi 2, 4, 10, dan 12 minggu. Dengan persentase kelarutan berkisar 7,77 - 58,71%. Pencampuran Zeolit, kompos dengan Urea mampu menurunkan kehilangan Urea karena retensi Zeolit terhadap amonium dan nitrat dalam tanah (Omar *et al.* 2015), nano Zeolit mampu mengefisiensikan pemakaian Urea hingga 30-35% (Kaushik *et al.* 2014). Bahkan untuk aminopropyltrimethoxysilane (APTMS)-Zeolit mampu mengefisiensi Urea hingga 44% (Hidayat *et al.* 2015). Sedangkan Pada inkubasi 8 minggu tidak berbeda nyata dengan Urea prill, sehingga implikasi praktis dari fenomena ini formula Urea + Zeolit + Kitosan mampu mensuplai N pada saat tanaman khususnya padi membutuhkan pupuk susulan N pada fase primordia (Tabel 6).

Tabel 6. Kadar N-total dari beberapa pupuk N selama inkubasi 12 minggu

Table 6. Concentration of total N of different forms of N fertilizer during 12 weeks incubation

No	Perlakuan	N-total (ppm)					
		Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12
1.	Kontrol	2919,67 b*	1140,33 c	1082,00 c	1214,67 b	3447,33 d	4091,33 c
2.	Urea prill	3821,07 a	2497,67 a	2239,33 b	2584,67 a	6240,00 a	7232,00 a
3.	Urea + Zeolit	3892,10 a	1908,00 b	2264,67 b	2614,00 a	5472,67 b	6540,67 ab
4.	Urea + Zeolit disalut kitosan	3165,53 b	1625,00 bc	2620,33 a	2651,67 a	4753,00 c	5486,67 b

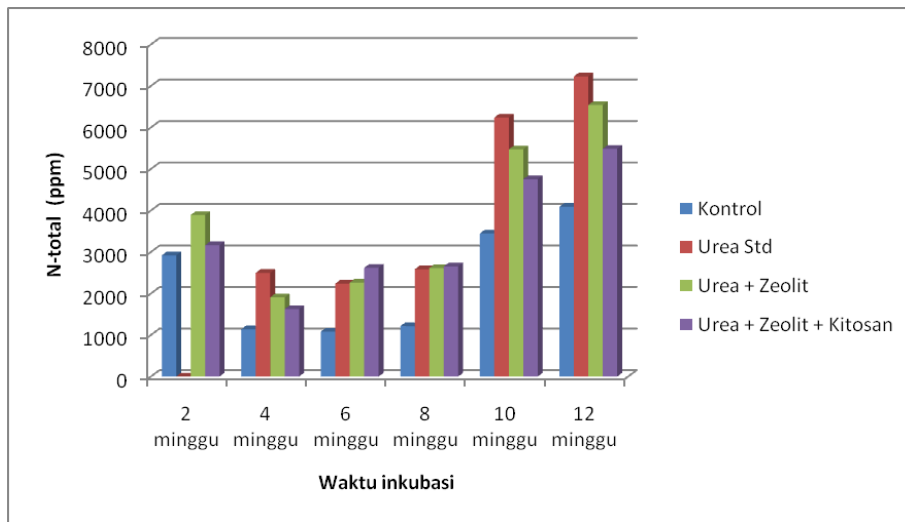
*Huruf yang sama dalam kolom yang sama adalah tidak beda nyata pada uji DMRT pada taraf 5%

Tabel 7. Persentase kelarutan N-total dari beberapa pupuk N selama inkubasi 12 minggu

Table 7. Percentage of total N solubility of different N fertilizers during 12 weeks incubation

No	Perlakuan	Persentase kelarutan N-total (%)					
		Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	Minggu 8	Minggu 10	Minggu 12
1.	Kontrol	-	-	-	-	-	-
2.	Urea prill	23,59	54,34	51,68	53,00	44,75	43,43
3.	Urea + Zeolit	24,98	40,23	52,22	53,53	37,00	37,45
4.	Urea + Zeolit disalut kitosan	7,77	29,83	58,71	54,19	27,47	25,43

*Huruf yang sama dalam kolom yang sama adalah tidak beda nyata pada uji DMRT pada taraf 5%



Gambar 2. Kelarutan N-total selama inkubasi 12 minggu

Figure 2. Total N-solubility during 12 weeks incubation

Kesimpulan

Formula pupuk Urea + Zeolit dengan perbandingan 3:2 yang disalut Kitosan memberikan kelarutan N-total sebesar 25,43% pada inkubasi 12 minggu dibandingkan Urea prill sebesar 43,43%. Semakin lama waktu inkubasi maka N-total dan N-NO₃ terlarut semakin tinggi. Formula pupuk Urea + Zeolit yang disalut Kitosan dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui kelarutan N yang *slow release* sehingga mampu mengurangi volatilisasi dan pencucian pupuk Urea.

Daftar Pustaka

Appell M, Jackson MA. 2013. Applications of nanoporous materials in agriculture.” Pp. 166–76 in ACS Symposium Series 1143: Advances in Applied Nanotechnology for Agriculture, B. Park and M. Appell (eds). Washington, DC: ACS Division of Agricultural and Food Chemistry, Inc.

Arryanto Y, Suwardi, Husaini, Affandi H, Amini S, Al Jabri M, Siagian P, Setyorini D, Rahman A, Pujiastuti Y. 2012. Zeolit dan masa depan bangsa. Ikatan Zeolit Indonesia.

Bacon PE, Hoult EH, McGarity JW. 1986. Ammonia volatilization from fertilizers applied to irrigated wheat soils. Fert. Res. 10:27-42.

Barrer RM. 1978. Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. Academic Press. London.

Bernardi AC, Polidoro JC, Monte MB, Pereira EI, Oliveira CR, Ramesh K. 2016. Enhancing nutrient use efficiency using Zeolites minerals — A Review. Advances in Chemical Engineering and Science. 6:295-304. <https://doi.org/10.4236/aces.2016.64030>

Black AS, Sherlock RR, Smith NP, Cameron KC. 1989. Ammonia volatilisation from urea broadcast in spring on to autumn-sown wheat. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 14:175-182.

- Cameron KC, Di HJ. 2002. The Use of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (dcd), to decrease nitrate leaching and nitrous oxide emissions in a simulated grazed and irrigated grassland. *Soil Use and Management*. 18(4):395-403.
- Chen C, Gao ZD, Qiu XY, Hu SW. 2013. "Enhancement of the controlled-release properties of chitosan membranes by crosslinking with suberoyl chloride." *Molecules*. 18: 7239-52.
- Chichester FW, Richardson CW. 1992. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. *J Environ Qual*. 21:587-590.
- Choudhary D, Kumar S. 2018. Nanotechnology applications in agricultural and biological engineering-A Review: Concepts, Aspects, prospects, and constraints." pp. 21–54 in *sustainable biological systems for agriculture: Emerging Issues In Nanotechnology, Biofertilizers, Wastewater, And Farm Machines*, edited by M. R. Goyal. 9 Spinnaker Way Waretown, NJ 08758: Apple Academic Press Inc.
- Choudhury AMTA, Kennedy IR. 2005. Nitrogen Fertilizer Losses from Rice Soils and Control of Environmental Pollution Problems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis - COMMUN SOIL SCI PLANT ANAL*. 36:1625-1639. 10.1081/CSS-200059104.
- De Datta SK, Trevitt ACF, Freney JR, Obcemea WN, Real JG, Simpson JR. 1989. Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen-15 balance methods. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 53:1275-1281.
- Fang Y, Koba K, Makabe A, Takahashi C, Zhu W, Hayashi T, Hokari AA, Urakawa R, Bai E, Houlton BZ, Xi D, Zhang S, Matsushita K, Tu Y, Liu D, Zhu F, Wang Z, Zhou G, Chen D, Makita T, Toda H, Liu X, Chen Q, Zhang D, Li Y, Yoh M. 2015. Microbial denitrification dominates nitrate losses from forest ecosystems. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015 Feb 3;112(5):1470-4. doi: 10.1073/pnas.1416776112. Epub 2015 Jan 20. PMID: 25605898; PMCID: PMC4321283.
- Freney JR, Denmead OT, Wood AW, Saffigna PG, Chapman LS, Ham GJ, Hurney AP, Stewart RL. 1992. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. *Fert. Res*. 31:341-349.
- Freney JR, Trevitt ACF, De Datta SK, Obcemea WN, Real JG. 1990. The interdependence of ammonia volatilization and denitrification as nitrogen loss processes in flooded rice fields in the Philippines. *Biol. Fertil. Soils* 9:31-36.
- Hidayat R, Fadillah G, Chasanah U, Wahyuningsih S, Ari HR. 2015. "Effectiveness of urea nanofertilizer based aminopropyltrimethoxysilane (aptms)-Zeolit as slow release fertilizer system." *African Journal of Agricultural Research*. 10(14):1785-88.
- Hidayat AS, Paliling L. 2005. Zeolit alam asal mula, karakteristik dan penerapannya. P3TIP-BPPT, Jakarta, hal 1-124.
- Jain, Saurabh, Ashwani K, Tejpal D, Surbhi P, Rita M. 2018. "Applications of nanotechnology in agriculture-a Review: Concepts, Aspects, Prospects, And Constraints." Pp. 1–20 in *Sustainable Biological Systems For Agriculture: Emerging Issues In Nanotechnology, Biofertilizers, Wastewater, And Farm Machines*, edited by M. R. Goyal. 9 Spinnaker Way Waretown, NJ 08758: Apple Academic Press Inc.
- Jiao P, Xu D, Wang SS, Wang Y, Liu K, Tang G. 2012. Nitrogen loss by surface runoff from different cropping systems. *Soil Research*. 50. 58-66. 10.1071/SR11152.
- Joseph T, Morrison M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. A nanoforum report, di unduh dari <http://www.nanoforum.org>.
- Kamrani S, Penther D, Ghasemi A, Riedel R, Fleck C. 2018. "Microstructural characterization of mg-sic nanocomposite synthesized by high energy ball milling." *Advanced Powder Technology*. 29(7):1742-1748.
- Kaushik G, Vishnu J, Arslan R. 2014. Manufacture and categorization of nanoporous Zeolit based N fertilizer. *African Journal of Agronomy*. 2(7):180-187.
- Keller GD, Mengel DB. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 50:1060-1063.
- Kloth B. 1996. Aglukon Spezialdünger GmbH: Reply to the request on controlled release fertilizers. Personal communication.
- Kusumastuti Y, Istiani A, Rochmadi, Purnomo CW. 2019. "Chitosan-based polyion multilayer coating on npk fertilizer as controlled released fertilizer." *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering* 2019:8.
- Kuzma J, VerHage P. 2006. Naotechnology in agriculture and food production, anticipated application. Project on Emerging Nanotechnologies. Washington. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Lizardi-Mendoza J, Monal WMA, Valencia FMG. 2016. "Chemical characteristics and functional properties of chitosan." In *Chitosan in the preservation commodities of agricultural*, eds. Silvia Bautista Banos, Gianfranco Romanazzi, and Antonio Jimenez Aparico. New York: Academic Press, 3-32.
- Mosier AR, Chapman SL, Freney JR. 1989. Determination of dinitrogen emission and retention in floodwater and porewater of a lowland rice field fertilized with 15N-urea. *Fert. Res*. 19:127-136.
- Ni B, Liu M, Lü S. (2009). Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal*. 155:892-898. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.08.025>.

- Omar L, Ahmed OH, Majid NMA. 2015. Improving ammonium and nitrate release from urea using clinoptilolite Zeolit and compost produced from agricultural wastes, *Scientific World Journal*. Hindawi Publishing Corporation. 2015(3). doi: 10.1155/2015/574201.
- Peoples MB, Freney JR, Mosier AR. 1995. Minimizing gaseous losses of nitrogen. In: Bacon PE editor. *Nitrogen fertilization in the environment*. New York:Marcel Dekker. p. 565-602.
- Ramesh K, Reddy KS, Rashmi I, Biswas AK. 2014. Nanostructured natural Zeolit : surface area , mesopore and volume distribution, and morphology. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 45(22):2878-97.
- Roshanravan B, Soltani SM, Rashid SA, Mahdavi F, Yusop MK. 2015. Enhancement of nitrogen release properties of urea-kaolinite fertilizer with chitosan binder. *Chemical Speciation and Bioavailability*. 27(1):44-51. <http://dx.doi.org/10.1080/09542299.2015.1023090>.
- Rosita N, Erawati T, Moegihardjo. 2014. Pengaruh perbedaan metode aktivasi terhadap aktivasi zeolit sebagai adsorben. *Majalah Farmasi Universitas Airlangga, Surabaya*. 4(91):20-22.
- Sastiono A. 2004. Pemanfaatan zeolit di bidang pertanian. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 3(1):36-41.
- Shaviv A. 2000. Advances in controlled release fertilizers. *Adv. Agron*. 71:1-49.
- Shoji S, Kanno H. 1995. Innovation of new agrotechnology using controlled release fertilizers for minimizing environmental deterioration. In: Hagin, Y. et al. editors. *Proceedings of the Dahlia Gredinger Memorial international workshop on controlled/slow release fertilizers*. Haifa, Israel:Technion.
- Suwardi. 2009. Teknik aplikasi zeolit di bidang pertanian. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 8:33-38.
- Tomaszewska M, Jarosiewicz A. 2006. Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination*. 198: 346-352.
- Trenkel ME. 2010. *Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*. Second. Paris: Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture M.E. Trenkel International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Zhu ZL. 1992. Efficient management of nitrogen fertilizers for flooded rice in relation to nitrogen transformations in flooded soils. *Pedosphere*. 2:97-114.