Vol. 23 No.2 (Juli 2022) 159-164
e-ISSN 2548-6101 p-ISSN 1411-318X

Jurnal Teknologi Lingkungan

Journal Homepage: ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL

Modifikasi Pupuk Urea Pelepasan Terkendali dan Pengaruhnya terhadap Lingkungan

Modification of Controlled Release Urea Fertilizer and Its Effect on the Environment

JAYANUDIN[1,2*], RETNO S.D. LESTARI[1], MUHAMMAD LUTHFI[1], MAULANA SUYUTI[1]

[1] Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman KM.3, Cilegon 42435, Indonesia
[2] Applied Biomaterial and Product Engineering Laboratory, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman km.3, Cilegon 42435, Indonesia
*jayanudin@untirta.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received 9 March 2022
Accepted 21 July 2022
Published 31 July 2022

Keywords:
Controlled release urea
Chitosan
Environmentally friendly
Emulsion crosslinking
Fertilizer

ABSTRACT

Controlled release urea fertilizer is one solution to increase the efficiency of nutrient absorption by plants and is more environmentally friendly. The aims of this study was to determine the yield and water absorption of controlled release urea fertilizer and analyze the content of nitrate, nitrite, and ammonia as environmental pollution parameters. Controlled release urea fertilizer was prepared using the emulsion crosslinking method with chitosan as the matrix. Urea was dissolved in chitosan then added in oil and stirred to form an emulsion. Next, glutaraldehyde saturated toluene (GST) as a crosslinker was dripped slowly and then continuously stirred for 2 hours. Urea loaded-chitosan microspheres (controlled release urea fertilizer) were dried and analyzed. Furthermore, the yield, water absorption, and analysis of nitrate, nitrite, and ammonia from the released urea was determined. Controlled release urea fertilizer obtained yield was 91.3–97.28%, water absorption of 78.87–91.61%. Analysis of nitrate, nitrite, and ammonia from the study concluded that urea fertilizer contained in chitosan microspheres is more environmentally friendly.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:
Diterima 9 Maret 2022
Disetujui 21 Juli 2022
Diterbitkan 31 Juli 2022

Kata kunci:
Urea pelepasan terkendali
Kitosan
Ramah lingkungan
Crosslink emulsi
Pupuk

ABSTRAK

Pupuk urea pelepasan terkendali merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman dan lebih ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan *yield* dan daya serap air dari pupuk urea pelepasan terkendali dan analisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia sebagai parameter pencemaran lingkungan. Pupuk urea pelepasan lambat dibuat menggunakan metode *crosslink* emulsi dengan kitosan sebagai matriksnya. Urea dilarutkan dalam larutan kitosan kemudian dimasukkan ke dalam minyak dan diaduk untuk membentuk emulsi. Selanjutnya, *glutaraldehyde saturated toluene* (GST) sebagai *crosslinker* diteteskan secara perlahan dan terus diaduk selama 2 jam. Kitosan mikrosfer berisi urea (pupuk urea pelepasan terkendali) dikeringkan dan dianalisis. Selanjutnya, menentukan *yield*, daya serap air, dan menganalisis nitrat, nitrit, dan amonia dari hasil urea yang rilis. Pupuk urea pelepasan terkendali diperoleh *yield* sebesar 91,3–97,28%, daya serap air sebesar 78,87–91,61% . Analisis nitrat, nitrit, dan amonia dari pupuk menyimpulkan bahwa pupuk urea pelepasan terkendali lebih ramah lingkungan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan pokok. Indonesia disebut sebagai Negara Pertanian karena peningkatan hasil pertanian menjadi salah satu penopang kehidupan bangsa. Peran pupuk sangat berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas hasil pertanian. Penggunaan pupuk yang berlebihan juga berdampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini membuat Pemerintah Indonesia mengatur penggunaan pupuk melalui Peraturan Menteri Pertanian untuk menerapkan dosis standar penambahan urea yang disesuaikan dengan tingkat produktivitasnya. Pada tingkat produksi yang rendah (< 5 ton/ha) dibutuhkan 200 kg/ha urea. Pada tingkat produktivitas sedang (5–6 ton/ha), dibutuhkan 250–300 kg/ha urea. Sedangkan pada tingkat produksi yang tinggi (> 6 ton/ha) dibutuhkan urea sebesar 300–400 kg/ha (Peraturan Menteri Pertanian No. 40 Tahun 2007).

Perhitungan perkiraan kelebihan nitrogen yang tidak terserap di lingkungan jika menggunakan urea dengan dosis 400 kg/ha, dikaitkan dengan kandungan nitrogen dalam urea dan persentase penyerapan nitrogen oleh tanaman adalah sekitar 64,4 kg/ha. Transformasi nitrogen dimulai untuk membentuk amonium dan kemudian dioksidasi menjadi nitrit. Selanjutnya nitrit diubah menjadi nitrat oleh bakteri (Ni *et al*., 2011). Urea merupakan pupuk yang paling banyak digunakan karena mengandung komponen nitrogen tertinggi yaitu sekitar 46% dan juga pupuk urea mudah ditangani dan murah (Hussain *et al*., 2012). Akan tetapi, efek negatif dari nitrogen yang berlebihan adalah mencemari lingkungan karena kontaminasi nitrat dalam tanah dan air permukaan. Efek lain adalah urea dapat terhidrolisis dengan cepat menjadi amonium dan menguap menjadi amonia dan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan (Maharani & Novan, 2017; Rekowski *et al*., 2020). Urea dapat dengan mudah larut dalam air, hal ini yang menyebabkan sisa urea yang tidak terserap oleh tanaman bisa menyebabkan eutrofikasi ekosistem, degradasi kualitas air, menimbulkan efek rumah kaca, dan mengganggu rantai makanan dalam ekosistem (Hussain *et al*., 2012; Ni *et al*., 2011; Bortoletto-Santos *et al*., 2018). Transformasi nitrogen menjadi nitrat, nitrit, dan amonia di atas ambang batas dalam air tanah dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Jika nitrat masuk ke dalam tubuh dapat diubah menjadi nitrit yang bereaksi dengan asam amino membentuk nitrosamin yang beracun. Sedangkan nitrit dan amonia bersifat racun bagi organisme akuatik (Erkekoglu *et al*., 2009).

Pengembangan untuk memodifikasi pupuk diharapkan dapat mengatasi permasalah yang disebabkan oleh pupuk konvensional. Pupuk pelepasan terkendali dan lambat dapat mengatur dan mengendalikan kadar nutrisi yang dilepas sehingga sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Metode untuk membuat pupuk pelepasan terkendali sudah banyak dilaporkan seperti dengan metode *rotary drum*, *pan coating*, *fluidized bed*, *crosslinking*, dan larutan polimerisasi (Lawrencia *et al*., 2021). Bahan yang digunakan sebagai pelapis atau komposit yang dapat terdiri dari bahan sintesis atau alami juga telah banyak dilaporkan seperti polistirena, poliuretan, polisulfon, polivinil alkohol, kitosan, alginat, selulosa, pati, dan lain-lain (Lawrencia *et al*., 2021). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *crosslink* emulsi. Metode ini sudah dilaporkan sebelumnya untuk preparasi kitosan mikrosfer sebagai pembawa urea (Jayanudin *et al*., 2021). Parameter yang menjadi fokus dipenelitian tersebut adalah perubahan rasio volume fase terdispersi dengan fase kontinyu dan kecepatan pengadukan menghasilkan *yield* sebesar 87,01–96,71% dan daya serap air sekitar 79,77–89,25%. Penelitian ini tidak menganalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia. Penelitian ini juga dilanjutkan oleh Irwanto *et al.,* (2021) yang menganalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dari hasil pelepasan urea dalam medium air berdasarkan perubahan berat awal urea yang ditambahkan ketika preparasi pupuk urea pelepasan terkendali. Kandungan nitrat terendah dari pupuk urea pelepasan terkendali yaitu 0,205 mg/l sedangkan tertinggi 1,835 mg/l. Untuk kandungan tertinggi nitrit yaitu sebesar 0,025 mg/l dan untuk kandungan amonia tertinggi yaitu 28,525 mg/l. Berdasarkan peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 bahwa untuk nitrat dan nitrit masih di bawah ambang batas sedangkan untuk amonia nilainya di atas ambang batas. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba untuk menganalisis pengaruh konsentrasi larutan kitosan untuk menentukan *yield* dan daya serap pupuk urea pelepasan lambat. penelitian ini juga akan menganalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia berdasarkan pengaruh konsentrasi larutan kitosan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh konsentrasi larutan kitosan untuk preparasi pupuk urea pelepasan lambat terhadap hasil (*yield)* dan daya serap air serta menganalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dari hasil pelepasan pupuk urea pelepasan lambat.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: urea, larutan glutaraldehid 25% (v/v), toluena teknis 96% (v/v), kitosan (derajat deasetilasi/ DD = 87,2% dan viskositas 37,10 cps), minyak nabati, asam asetat glasial, petroleum eter, dan n-heksana teknis. Penelitian dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Untirta pada tahun 2020.

2.2 Metode

Pembuatan pupuk urea pelepasan lambat menggunakan metode *crosslink* emulsi. Tahapan penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilaporkan oleh Jayanudin *et al.,* (2021). Kitosan dilarutkan untuk menghasilkan konsentrasi 2% (w/v), 3% (w/v), dan 4% (w/v) menggunakan larutan asam asetat dengan konsentrasi 2% (v/v). Urea sebanyak 5 g dimasukkan dalam larutan kitosan kemudian diaduk sampai sampai homogen. Kemudian dimasukkan ke minyak nabati kemudian diaduk menggunakan *homogenizer* dengan kecepatan 20.000 rpm untuk membentuk emulsi. Tahap selanjutnya adalah penambahan 20 ml *glutaraldehyde saturated toluene* (GST) sedikit demi sedikit sambil tetap

diaduk selama 2 jam. Pupuk urea pelepasan terkendali yang terbentuk disaring dan dicuci mengunakan petroleum eter dan heksana, kemudian dikeringkan. Pupuk urea pelepasan terkendali dianalisis *yield*, daya serap air, serta dianalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia.

2.3 Menentukan *Yield* Pupuk Pelepasan Terkendali

Yield pupuk urea pelepasan terkendali ditentukan dengan menghitung perbandingan berat pupuk urea pelepasan terkendali dengan berat campuran kitosan dan pupuk urea, seperti ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$\%\,Yield = \frac{Berat\ pupuk\ urea\ pelepasan\ terkendali}{Berat\ kitosan + berat\ urea} \times 100\% \quad (1)$$

2.4 Menentukan Daya Serap Air

Analisis daya serap air dari pupuk urea pelepasan terkendali berisi pupuk urea menggunakan modifikasi dari metode yang dilakukan oleh Liang dan Liu (2006). Pupuk urea pelepasan terkendali kering seberat 1 g direndam dalam 50 ml air dan didiamkan selama 1, 3, 7, 14, 21, dan 30 hari. Setelah itu pupuk urea pelepasan terkendali disaring lalu langsung ditimbang. Air yang terserap dalam pupuk urea pelepasan terkendali kering dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$DA = \frac{M}{M_0} - 1 \quad (2)$$

Keterangan :
DA = daya serap air
M = berat pupuk urea pelepasan lambat yang menyerap air (g)
M_0 = berat pupuk urea pelepasan lambat kering (g)

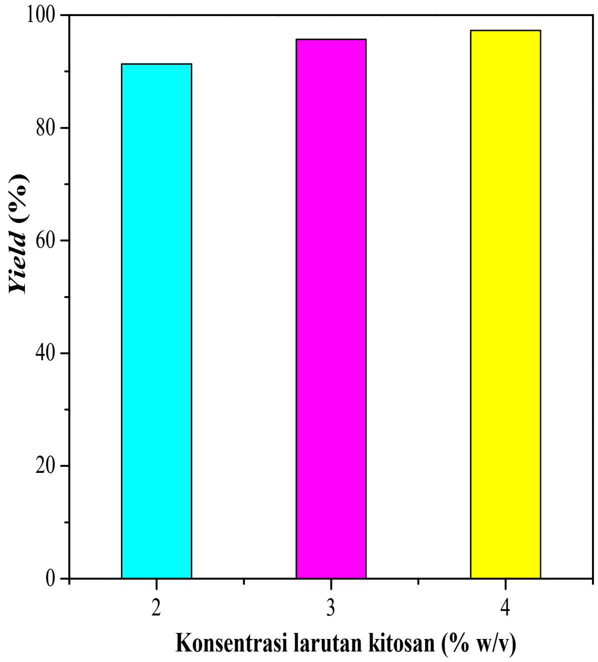
2.5 Analisis Nitrat, Nitrit, dan Amonia

Analisis tiga parameter tersebut menggunakan spektrofotometri yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti untuk nitrat (SNI 06-2480-1991), nitrat (SNI 06-6989.9-2004), dan amonia (SNI 06-6989.30-2005).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Yield*

Proses pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali dilakukan dengan metode *crosslink* emulsi telah berhasil dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan kitosan. Gambar 1 menunjukkan pengaruh konsentrasi larutan kitosan dan berat awal urea (rasio berat urea dengan volume larutan kitosan) terhadap *yield* pupuk urea pelepasan terkendali. Peningkatan konsentrasi kitosan mampu meningkatkan *yield* pupuk urea pelepasan terkendali. *Yield* dari pupuk urea pelepasan terkendali berdasarkan perubahan konsentrasi larutan kitosan adalah 91,3% untuk 2% (w/v) kitosan, 95,69% untuk 3% (w/v) kitosan, dan 97,28% untuk 4% (w/v) kitosan. Viskositas larutan kitosan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi kitosan yang menyebabkan pupuk urea pelepasan terkendali lebih padat. Faktor lain adalah semakin banyaknya *droplet* emulsi yang membentuk pupuk urea pelepasan terkendali setelah ditautsilang dengan GST. Peningkatan konsentrasi kitosan sebagai matriks mampu mengurangi mobilitas urea dalam *droplet* (Biswal *et al*., 2011; Ramachandran *et al*., 2011), hal ini yang menyebabkan *yield* juga meningkat.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi larutan kitosan terhadap *yield* pupuk urea pelepasan terkendali

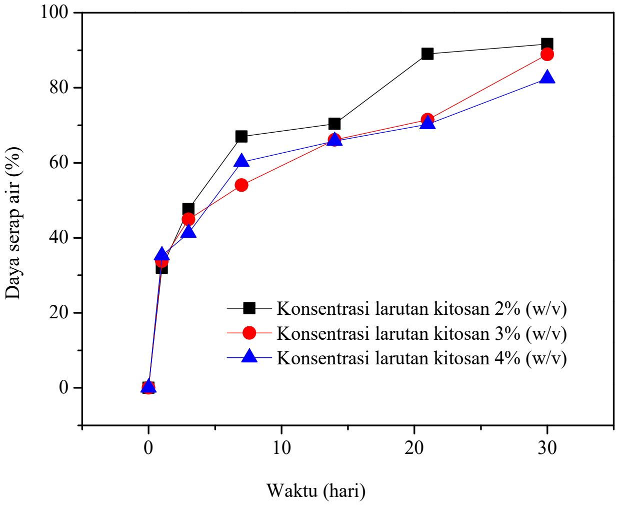
3.2 Daya Serap Air

Daya serap air perlu diselidiki untuk diketahui karena berpengaruh pada jumlah urea yang dilepaskan. Daya serap air juga berkorelasi dengan kepadatan dinding pupuk pelepasan terkendali hasil dari ikat silang kitosan dengan glutaraldehida

Gambar 2 memperlihatkan persentase daya serap air dari pupuk urea pelepasan terkendali yang dipreparasi berdasarkan perubahan konsentrasi kitosan. Daya serap air ditentukan dengan merendam pupuk urea pelepasan terkendali dalam air suling dengan waktu mulai dari 1–30 hari. Kenaikan waktu perendaman diikuti oleh kenaikan daya serap air. Perubahan konsentrasi larutan kitosan terhadap daya serap air tidak mengalami perubahan yang signifikan. Misalkan, perendaman sampai hari ke-14 belum terjadi perbedaan yang berarti. Pada Gambar 2 terlihat bahwa pupuk urea pelepasan terkendali dari 2% (w/v) konsentrasi kitosan menghasilkan daya serap air sebesar 70,3%, sedangkan pupuk urea pelepasan terkendali dari 3% (w/v) konsentrasi kitosan adalah 66,9%, dan pupuk urea pelepasan terkendali dari 4% (w/v) konsentrasi kitosan sebesar 65,78%. Akan tetapi, setelah 14 hari perendaman perbedaan daya serap air cukup besar. Pada akhir perendaman yaitu 30 hari, daya serap air dari pupuk urea pelepasan terkendali yang dipreparasi dari 2% (w/v) kosentrasi kitosan yaitu 91,61%, 3% (w/v) kosentrasi kitosan sebesar 88,92%, dan daya serap air sebesar 82,43% untuk 4% (w/v) konsentrasi kitosan.

Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi kitosan mengakibatkan penurunan daya serap

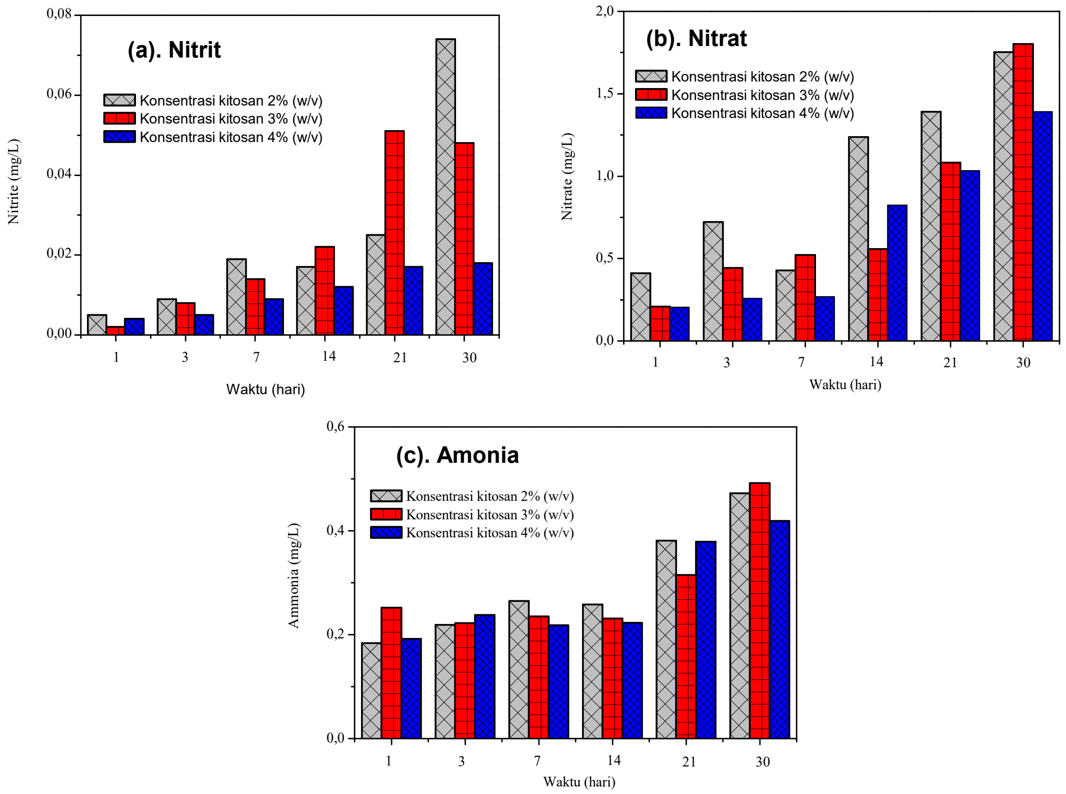
air. Konsentrasi kitosan menyebabkan semakin banyak terbentukannya ikatan silang sehingga kerapatan ikatan silang menjadi meningkat dan menjadi *rigid*. Jaringan polimer yang kaku menyebabkan kemampuan menyerap air menurun karena pengurangan difusi air dalam pupuk urea pelepasan terkendali. Hasil yang sama dilaporkan oleh Erizal dan Wikanta (2011) yaitu peningkatan konsentrasi kitosan mengakibatkan penyerapan air menurun. Patel dan Patel (2014) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi polimer (kitosan) menyebabkan dinding mikrosfer menjadi lebih tebal dengan jumlah pori yang lebih sedikit. Hal ini yang kemungkinan menyebabkan penurunan daya serap air.



Gambar 2. Daya serap air dari kitosan mikrosfer yang direndam dalam air suling. Pupuk urea pelepasan terkendali ini dipreparasi berdasarkan perubahan konsentrasi larutan kitosan

3.3 Analisis Nitrat, Nitrit, dan Amonia terhadap Pencemaran Lingkungan

Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dapat menunjukkan bahwa pupuk urea pelepasan terkendali lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pupuk urea konvensional yang dilepaskan dalam medium air. Gambar 3 memperlihatkan perubahan kandungan nitrat, nitrit, dan amonia hasil dari uji *release* pupuk urea pelepasan terkendali berdasarkan perubahan konsentrasi larutan kitosan. Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia merupakan parameter pencemaran lingkungan akibat dari pelucutan urea dalam air. Urea konvensional mudah tercuci oleh aliran air sehingga menyebabkan daya serap urea oleh tanaman menjadi rendah. Kandungan urea berlebih dalam konsentrasi tinggi mempengaruhi atau menggangu keseimbangan nitrat dan nitrit dalam tanah (Fan *et al*., 2010; Mawaddah *et al*., 2016). Gambar 3 menunjukkan kandungan nitrat, nitrit, dan amonia tertinggi dihasilkan dari pupuk urea pelepasan terkendali berbahan dinding kitosan dengan konsentrasi rendah yaitu 2% (w/v) dan 3% (w/v). Konsentrasi nitrat tertinggi yaitu 1,802 mg/l dan terendah 0,205 mg/l sedangkan untuk nitrit, kandungan tertinggi sebesar 0,074 mg/l dan terendah sebesar 0,002 mg/l. Kadar ammonia yang teranalisis dengan nilai tertinggi sebesar 0,492 mg/l dan terendah sebesar 0,184 mg/l. Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia selama proses pelepasan mulai dari 1–30 hari adalah fluktuatif, akan tetapi secara umum peningkatan waktu *release* meningkatkan kadar nitrat, nitrit, dan amonia.



Gambar 2. Analisis kandungan nitrit (a) nitrit, (b) nitrat, dan (c) amonia dari pupuk urea pelepasan terkendali dalam medium air pada berbagai waktu berdasarkan perubahan konsentrasi larutan kitosan

Pemerintah Indonesia mengeluarkan peraturan mengenai ambang batas kandungan nitrat, nitrit, dan ammonia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, yang mengatur bahwa kandungan ambang batas untuk nitrat, nitrit, dan amonia adalah maksimal 10 mg/l, 1 mg/l, dan 0,5 mg/l. Hasil analisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dari penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan ambang batas yang telah telah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk urea pelepasan terkendali lebih ramah lingkungan

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah sukses dilakukan dengan mendapatkan *yield* dan daya serap air sebesar 91,3–97,28% dan 78,87–91,61%. Berlandaskan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 bahwa hasil analisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia berada di bawah ambang batas. Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dari uji pupuk urea pelepasan lambat yaitu nitrat sebesar 0.205–1,802 mg/l, nitrit sebesar 0.205–1,802 mg/l, dan amonia sebesar 0.184–0.492 mg/l.

PERSANTUNAN

Kesuksesan penelitian ini berkat penggunaan semua fasilitas yang ada di Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Oleh karena itu semua penulis sangat berterima kasih atas dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Biswal, I., Dinda, A., Mohanty, S., Dhara, M., Das, D., Chowdary, K.A., & Si, S. (2011). Influence of drug/polymer ratio on the encapsulation efficiency of highly hydrophilic drug. Asian Journal of Chemistry, 23(5), 1973–1978.

Bortoletto-Santos, R., Guimarães, G.G.F., Junior, V.R., Da Cruz, D.F., Polito, W.L., & Ribeiro, C. (2020). Biodegradable oil-based polymeric coatings on urea fertilizer: N release kinetic transformations of urea in soil. Scientia Agricola, 77(1), 1–9.

Erkekoglu, P., Sipahi, H., & Baydar, T. (2009). Evaluation of nitrite in ready-made soups. Food Analytical Methods, 2(1), 61–65.

Erizal, E., & Wikanta, T., (2011). Synthesis of Polyethylene Oxide (Peo)–Chitosan Hydrogel Prepared By Gamma Radiation Technique. Indonesian Journal of Chemistry, 11(1), 16–20.

Fan, J., Hao, M., & Malhi, S.S. (2010). Accumulation of nitrate-N in the soil profile and its implications for the environment under dryland agriculture in northern China: A review. Canadian Journal of Soil Science, 90(3), 429–440.

Hussain, M.R., Devi, R.R., & Maji, T.K., (2012). Controlled release of urea from chitosan microspheres prepared by emulsification and cross-linking method. Iranian Polymer Journal, 21(8), 473–479.

Irwanto, D., Wardana, R.L.A., Muhammad, F., Luthfi, M., Suyuti, M., Kustiningsih, I., & Lestari, R.S.D. (2021). Analisis Kandungan Nitrat, Nitrit, Dan Amonia Dalam Air Sebagai Medium Release Dari Pupuk Urea Pelepasan Terkendali Untuk Mengidentifikasi Pengaruhnya Terhadap Lingkungan, Jurnal Integrasi Proses, 10(1), 57–61.

Jayanudin, Lestari, R.S.D., Kustiningsih, I., Irawanto, D., Bahaudin, R., Wardana, R.L.A., Muhammad, F., Suyuti, M., & Luthfi, M., (2021). Preparation of chitosan microspheres as carrier material to controlled release of urea fertilizer. South African Journal of Chemical Engineering, 38, 70–77.

Lawrencia, D., Wong, S.K., Low, D.Y.S., Goh, B.H., Goh, J.K., Ruktanonchai, U.R., Soottitantawat, A., Lee, L.H., & Tang, S.Y. (2021). Controlled release fertilizers: A review on coating materials and mechanism of release. Plants, 10(2), 1-26.

Liang, R., & Liu, M. (2006). Preparation and properties of coated nitrogen fertilizer with slow release and water retention. Industrial and Engineering Chemistry Research, 45(25), 8610–8616.

Maharani, D.K & Novan, A. (2017). Effect of Zeolite-Chitosan Composites Coating on Urea Fertilizer as Slow Release Fertilizer. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 8(6), 770-774.

Mawaddah, A., Roto, R., & Suratman, A. (2016). Pengaruh Penambahan Urea Terhadap Peningkatan Pencemaran Nitrit dan Nitrat Dalam Tanah. Jurnal Manusia dan Lingkungan, 23(3), 360–364.

Ni, B., Liu, M., Lü, S., Xie, L., & Wang, Y., (2011). Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59(18), 10169–10175.

Patel, K.S. & Patel, M.B. (2014). Preparation and evaluation of chitosan microspheres containing nicorandil, International Journal of Pharmaceutical Investigation. 4(1), 32–37.

Peraturan Menteri Pertanian No. 40/Permentan/OT.140/4/2007. Rekomendasi Pemupukan N, P, dan K pada Padi Sawah Spesifik Lokasi.

Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tanggal 14 Desember 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Kelas II).

Ramachandran, S., Nandhakuma, S., & Dhanaraju, M.D. (2011). Formulation and Characterization of Glutaraldehyde Cross-Linked Chitosan Biodegradable Microspheres Loaded with Famotidine. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 10(3), 309–316.

Rekowski, A., Wimmer, M.A., Hitzmann, B., Hermannseder, B., Hahn, H., & Zörb, C. (2020). Application of urease inhibitor improves protein composition and bread-baking quality of urea fertilized winter wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 183(2), 260–270.

SNI-06-2480-1991, (1991). Metode Pengujian Kadar Nitrat Dalam Air Dengan Alat Spektrofotometer Secara Brusin Sulfat. Badan Standar Nasional Indonesia.

SNI-06-6989.30-2005, (2005). Cara uji kadar ammonia dengan spektrofotometer secara fenat. Badan Standar Nasional Indonesia.

SNI 06-6989.9-2004, (2004). Air dan Air Limbah – Bagian 9 : Cara Uji Nitrit (NO2-N) Secara Spektrofotometri. Badan Standar Nasional Indonesia .