

Submitted : 19 Desember 2020

Revised : 24 Februari 2021

Accepted : 13 April 2021

ANALISIS KANDUNGAN NITRAT, NITRIT, DAN AMONIA DALAM AIR SEBAGAI MEDIUM RELEASE DARI PUPUK UREA PELEPASAN TERKENDALI UNTUK MENGIDENTIFIKASI PENGARUHNYA TERHADAP LINGKUNGAN

Dandi Irwanto¹, Rozak¹, Reynaldo Langgeng Adi Wardana², Fakhri Muhammad², Muhammad Luthfi², Maulana Suyuti², Indar Kustiningsih¹, Retno Sulisty Dhamar Lestari², Jayanudin^{1,2,*}

¹Magister Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Raya Jkt Km 4 Serang-Indoensia

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman km.3 Cilegon-Indonesia

*Email: jayanudin@untirta.ac.id

Abstrak

Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dalam lingkungan hasil dari pelepasan pupuk urea konvensional menjadi parameter terhadap pencemaran lingkungan. Pupuk urea lepas terkendali diharapkan mampu mengurangi pencemaran lingkungan karena mampu mengurangi kandungan nitrogen disebabkan oleh meningkatnya efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dari *release* pupuk urea lepas terkendali dalam medium air. pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali menggunakan metode *crosslink* emulsi. Pupuk urea pelepasan terkendali yang terbentuk dilakukan uji *release* dalam medium air (aquadest). Medium *release* kemudian dianalisis untuk mengetahui kandungan nitrat, nitrit, dan amonia sebagai parameter pencemaran lingkungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan nitrat dan nitrit yang di uji *release* mulai 1 – 30 hari masih dibawah ambang batas. Sedangkan kandungan amonia seluruh variabel masih tinggi. Hal ini disebabkan kemungkinan kondisi medium *release* yang digunakan berupa aquadest dengan pH netral sehingga banyak terbentuk amonia.

Kata Kunci: Pupuk Urea, Pelepasan Terkendali, Nitrat, Nitrit, Amonia, *Crosslink* Emulsi

Abstract

The content of nitrate, nitrite, and ammonia in the environment from the release of conventional urea fertilizers becomes a parameter for environmental pollution. Urea fertilizer controlled-release is expected to reduce environmental pollution because it reduces nitrogen due to increased nutrient use efficiency (NUE) by plants. The purpose of this study was to analyze the nitrate, nitrite, and ammonia from the controlled release of urea fertilizer in water medium. Preparation of urea fertilizer controlled-release using the emulsion crosslinking method. The controlled release of urea fertilizer was tested for release in water medium (aquadest). The medium release then analyzed to determine the nitrate, nitrite, and ammonia as parameters of environmental pollution. The analysis results showed that the composition of nitrate and nitrite which was released up to 30 days was still below the threshold. Meanwhile, the ammonia content of all variables was still high. This was due to the possibility that the release medium used is aquadest with a neutral pH so that a lot of ammonia was formed.

Keywords: Urea Fertilizer, Controlled Release, Nitrate, Nitrite, Amonia, Emulsion Crosslinking

1. PENDAHULUAN

Pupuk sintesis memberikan peran penting untuk ketahanan pangan karena dapat meningkatkan produksi panen hampir 50% (Jayanudin, et al., 2020a; Chen, et al., 2018). Salah satu pupuk yang banyak digunakan petani adalah urea yang mampu menyediakan nitrogen (N) sebesar 46% (Sarkar, et al., 2014). Pupuk urea konvensional mempunyai kelemahan yaitu mudah larut dalam air dan yang diserap oleh tanaman hanya 30-35% sehingga sisanya akan hilang karena curah hujan, irigasi, dan aliran air (Guo et al., 2018; Tong, et al., 2018). Penambahan pupuk urea lebih lanjut dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan nitrogen akibat hilang oleh aliran air dan hujan. Penambahan urea yang berulang menyebabkan melimpahnya kandungan nitrogen di lingkungan.

Berlebihnya kandungan urea (nitrogen) berakibat pada kerusakan lingkungan seperti pencemaran air tanah, eutrofikasi dan toksisitas air, penurunan kualitas tanah, merusak keanekaragaman hayati, bahkan dapat mengganggu kesehatan manusia. Selain itu, dapat menyebabkan efek rumah kaca karena transformasi nitrogen menjadi NO dalam konsentrasi yang besar (Guo et al., 2018; Wu and Liu, 2008; Himmah et al., 2018; Chen, et al., 2018; Ni, et al., 2011). Transformasi nitrogen menjadi nitrat, nitrit, dan amonia di atas ambang batas dalam air tanah bisa menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Jika nitrat masuk ke dalam tubuh dapat terkonversi menjadi nitrit yang bereaksi dengan asam amino membentuk nitrosamine yang bersifat racun. kandungan nitrit dan amonia merupakan racun untuk organisme air (Erkekoglu et al., 2009; Mawaddah, et al., 2016).

Untuk mengatasi kekurangan dari pupuk urea konvensional yang berkaitan dengan efisiensi penyerapan nutrisi yang rendah dan bisa menimbulkan pencemaran lingkungan maka bisa dilakukan dengan membuat pupuk pelepasan terkendali (*Controlled release fertilizer*). Cara ini dapat efektif karena dapat melepaskan nutrisi secara terkendali dengan periode tertentu dan juga meminimalkan pencucian (*leaching*), menguapnya pupuk, dan mengurangi bahaya lingkungan. Pupuk pelepasan terkendali bisa dibuat dengan melapisi atau menjerap pupuk urea dengan bahan polimer atau biopolimer. Metode pembuatan pupuk pelepasan terkendali telah banyak dikembangkan seperti menggunakan *spray drying* (Franca, et al., 2018), gelas ionik (Perez, et al., 2016), reaksi taut silang antara polimer dengan glutaraldehida sebagai *crosslinker* (Jayanudin dan Lestari, 2020b), dan metode *crosslink* emulsi (Jayanudin, et al., 2019). Bahan pelapis dan penjerap juga beragam mulai dari polimer sintesis sampai dengan polimer alam seperti kitosan, alginat, formaldehida, *carboxymethyl cellulose*, dan lain-lain (Danarto, et al., 2017; Olad, et al., 2018; Jayanudin dan Lestari, 2020b).

Metode *crosslink* emulsi digunakan dipenelitian ini merupakan metode yang sederhana dan serbaguna. Metode ini melibatkan reaksi taut silang antara polimer sebagai penyalut dan *crosslinker*. Polimer

yang digunakan adalah kitosan karena biokompatibel dan biodegradabel dan aman untuk lingkungan. *Glutaraldehyde saturated toluene* (GST) sebagai *crosslinker* disebabkan memiliki kemampuan untuk mentaut silang secara seragam (Thanoo, et al., 1992). Beberapa faktor yang mempengaruhi preparasi pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali dengan metode *crosslink* emulsi diantaranya adalah rasio antara bahan inti (urea) dan polimer (kitosan), konsentrasi polimer, rasio volume fase terdispersi dengan fase kontinu, dan konsentrasi *crosslinker*. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh massa urea awal yang digunakan untuk pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali terhadap kandungan amonia, nitrat, dan nitrit dimana komponen ini berpengaruh pada pencemaran lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui komposisi dari nitrat, nitrit, dan amonia pada pupuk urea lepas terkendali untuk mengetahui pengaruhnya terhadap lingkungan terhadap ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah Republik Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1. BAHAN PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah urea dari PT. Pupuk Sriwijaya, larutan glutaraldehida dengan konsentrasi 25 % (v/v) dan larutan asam asetat glasial dari Merck, toluene teknis dengan konsentrasi 96 % (v/v), heksana dan petroleum eter teknis di mana ketiganya dari CV Tri Jaya Dinamika. Kitosan dengan derajat deasetilasi (DD) sebesar 87,2 % diproduksi oleh Biotech Surindo. Minyak nabati Sunco diproduksi oleh PT Sarwana Nusantara.

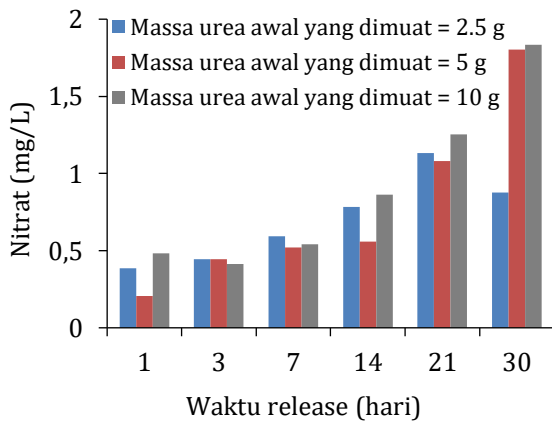
2.2. PREPARASI PUPUK UREA PELEPASAN TERKENDALI

Pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali menggunakan metode *crosslink* emulsi dengan kitosan sebagai penyalut yang ditaut silang dengan *glutaraldehyde saturated toluene* (GST) sebagai *crosslinker*. Metode ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Jayanudin, et al., 2019. Sebanyak 2,5; 5; dan 10 g urea dimasukkan dalam larutan kitosan pada konsentrasi 4 % (w/v). Kitosan dilarutkan menggunakan asam asetat dengan konsentrasi 1 % (v/v). Pupuk urea dimasukkan ke dalam 50 mL larutan kitosan kemudian diaduk sampai larut. Larutan tersebut dimasukkan dalam 400 mL minyak nabati, campuran tersebut diaduk selama 1 jam menggunakan homogenizer untuk membentuk emulsi. Selanjutnya emulsi yang terbentuk ditetesi GST secara bertahap. Setelah selesai penambahan GST dimasukkan 2 mL larutan glutaraldehida 25 % (v/v) untuk lebih mengeraskan mikrosfer kitosan yang terbentuk. Tahap terakhir adalah penyaringan, pencucian dengan petroleum eter dan heksana, dan pengeringan dalam oven. Kitosan mikrosfer berisi urea dimasukkan dalam air sebagai medium *release* dan diredam selama 1, 3, 7, 14, 21, dan 30 hari untuk mengetahui komposisi nitrat, nitrit, dan amonia sebagai parameter pencemaran lingkungan. 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

Pupuk urea lepas terkendali diuji *release* dalam medium air kemudian dianalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia. Gambar 1-3 menunjukkan pengaruh massa urea yang dimuat dalam kitosan mikrosfer sebagai pembuatan pupuk pelepasan terkendali. Kandungan nitrat, nitrit, dan amonia dapat menunjukkan bahwa pupuk urea pelepasan terkendali lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pupuk urea konvensional yang *release* dalam medium air.

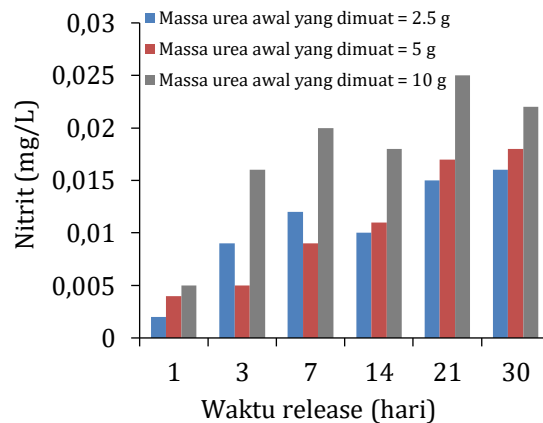


Gambar 1. Kandungan nitrat yang dihasilkan pupuk urea pelepasan terkendali karena pengaruh perubahan massa urea awal pada berbagai waktu *release* dalam medium air

Kandungan nitrat yang dari mikrokapsul yang direndam dalam air berpengaruh terhadap perubahan massa urea yang dimuat dalam pupuk pelepasan terkendali. Gambar 1 menunjukkan bahwa massa awal urea yang dimuat dalam pembentukan pupuk urea pelepasan terkendali dapat meningkatkan kandungan nitrat ketika pupuk tersebut *release*. Walaupun terdapat beberapa pengecualian terutama untuk massa urea 2,5 dan 5 gram, dimana pada *release* di hari ke-1, 7, 14, dan 21 kandungan nitrat dari pupuk urea pelepasan terkendali yang menggunakan urea 2,5 g lebih rendah dibandingkan dengan 5 g. Akan tetapi, pada waktu *release* 30 hari kandungan nitrat dari pupuk urea pelepasan terkendali yang menggunakan massa awal urea 5 g lebih tinggi dibandingkan dengan 2,5 g. Beberapa hal yang dimungkinkan terjadi yaitu konsentrasi nitrogen *release* dari pupuk urea lepas terkendali dari urea awal 2,5 g lebih tinggi dibandingkan dengan 5 g. Pupuk urea lepas terkendali untuk berat awal 2,5 yang *release* hari ke 30 kandungan nitratnya lebih kecil dibandingkan dengan hari ke-21. Hal ini dapat bisa disebabkan oleh rendahnya proses transformasi amonia menjadi nitrat. Konsentrasi nitrogen yang *release* menentukan kandungan nitrat yang merupakan transformasi dari nitrogen melalui proses nitrifikasi. Laju *release* nitrogen (urea) ditentukan oleh bahan pelapis atau penjerap dari urea yaitu kitosan. Ketidakteraturan

atau perbedaan kekuatan dinding pelapis atau penjerap urea menyebabkan laju *release* urea (nitrogen) juga berbeda.

Kandungan nitrat terendah yang dihasilkan dari pupuk urea pelepasan terkendali yaitu 0,205 mg/L sedangkan tertinggi 1,835 mg/L. Kandungan nitrat dan nitrit dalam tanah dapat mencemari sumber air disekitarnya. Kandungan nitrat dan nitrit yang lebih disebabkan oleh tingginya pelarutan urea dapat menyebabkan menurunnya kualitas air tanah. Batas maksimum kandungan nitrat dalam air besar yaitu 10 mg/L (Mawaddah, et al., 2016). Berdasarkan standar kandungan nitrat dan nitrit dari Peraturan menteri kesehatan Republik Indonesia no. 32 tahun 2017 bahwa kandungan nitrat dari pupuk urea pelepasan terkendali masih dibawah ambang batas yaitu batas maksimum 10 mg/L.



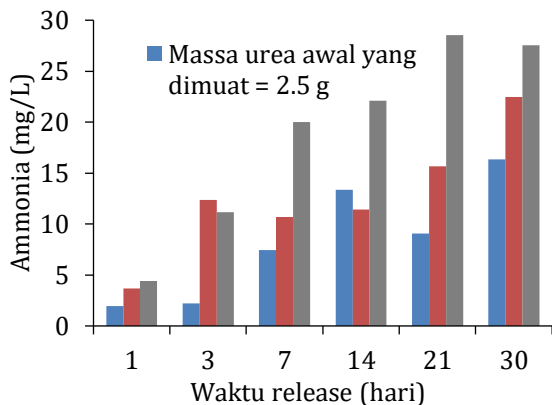
Gambar 2. Analisis nitrit yang dihasilkan dari perubahan massa urea awal yang dimuat untuk pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali

Parameter pencemaran air karena pengaruh pupuk urea adalah kandungan nitrat, nitrit, dan amonia. Penggunaan urea yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat dalam tanah. Faktor ini yang menyebabkan terganggunya keseimbangan nitrat dan nitrit dalam tanah (Fan, et al., 2010; Mawaddah, et al., 2016). Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan kitosan menyebabkan kandungan nitrit dalam air menjadi lebih rendah. Massa awal urea yang digunakan untuk pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali mempengaruhi kandungan nitrit dalam air. Peningkatan massa awal urea menyebabkan kandungan nitrit menjadi lebih besar. Hal ini disebabkan karena konsentrasi nitrogen yang *release* juga meningkat. Peningkatan nitrogen menyebabkan transformasi nitrogen menjadi nitrit juga meningkat.

Kandungan nitrit terendah dihasil dari pupuk urea pelepasan terkendali yang menggunakan massa awal 2,5 g dengan waktu *release* hari ke-1 yaitu sebesar 0,002 mg/L dan tertinggi 0,025 mg/L dari massa urea awal 10 g dengan *release* pada hari ke-21. Ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah melalui Peraturan menteri kesehatan Republik Indonesia no. 32 tahun 2017 untuk kandungan nitrit dalam air maksimal 1 mg/L. Hal ini menunjukkan

bahwa kandungan nitrit yang dihasilkan dari pupuk urea pelepasan terkendali masih jauh dibawah ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah.

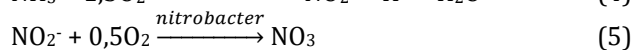
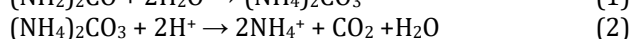
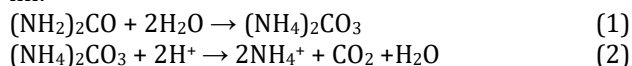
Gambar 3 memperlihatkan kandungan amonia dari pelepasan nitrogen dari pupuk urea pelepasan terkendali dalam medium air. Seperti Gambar 1 dan 2 yang menunjukkan bahwa peningkatan kandungan nitrat dan nitrit dengan meningkatkannya massa urea awal yang digunakan untuk pembuatan pupuk urea pelepasan terkendali. Kandungan amonia terkecil adalah 1,924 mg/L dihasilkan dari perendaman pupuk urea pelepasan terkendali di hari pertama untuk 2,5 g massa awal dari urea.



Gambar 3. Kandungan amonia dari pupuk urea pelepasan terkendali yang *release* dalam medium air berdasarkan perubahan massa awal urea

Kandungan tertinggi dari amonia yang dihasilkan dari perendaman pupuk urea pelepasan terkendali dengan massa urea awal 10 g pada hari ke-21 yaitu sebesar 28,525 mg/L. Berdasarkan kandungan amonia dari setiap parameter menghasilkan amonia diatas ambang batas yaitu 0,5 mg/L (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001).

Nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman adalah ammonium dan nitrat. Komponen ini dihasilkan dari hidrolisis urea melalui beberapa rangkaian reaksi kimia dan peran bakteri yang ada dalam tanah. Hidrolisis urea menjadi karbamat kemudian dengan penambahan ion H⁺ berubah menjadi ammonium. Selanjutnya ammonium dapat berubah menjadi amonia karena adanya penambahan OH. Amonia dengan bantuan bakteri nitrifikasi dalam tanah dapat berubah menjadi senyawa nitrat yang berlangsung secara aerob. Faktor yang menyebabkan masih tingginya kadar amonia dalam air sebagai medium *release* disebabkan perubahan ammonium menjadi amonia dan tidak terjadinya transformasi atau nitrifikasi dari amonia yang berubah menjadi nitrat. Hal ini disebabkan oleh media *release* dari pupuk urea pelepasan terkendali ini dilakukan dalam medium air. Hidrolisis urea menjadi nitrat dapat dilihat pada mekanisme reaksi yang disusun oleh Bernhard, (2010) dan Mawaddah, et al (2016) seperti reaksi 1-5 berikut ini:



Tingginya kandungan amonia pada media *release* dari pupuk urea pelepasan terkendali dapat juga disebabkan oleh kondisi pH medium *release*. Medium *release* yang digunakan adalah aquadest pada pH 7 (netral). Kondisi ini dapat mempengaruhi reaksi kesetimbangan antara amonia dan ammonium seperti reaksi 6-7.



Pada kondisi pH netral atau basa (pH > 7), NH₃ akan terbentuk dan hilang melalui emisi sedangkan pada pH asam (pH < 7), kebanyakan NH₃ akan terkonversi menjadi amonium (NH₄⁺) dan tidak dapat menguap. Amonium cenderung kurang mengalami pencucian dari tanah dibandingkan dengan pupuk yang mengandung nitrogen lainnya seperti nitrat (NO₃⁻) karena ion amonium dapat mengikat koloid tanah yang bermuatan negatif, sehingga menggantikan kation lain, misalnya, Ca²⁺ dan Mg²⁺ (Pearson and Stewart 1993; Alderighi et al. (1999); Sigurdarson, et al., 2018).

Berdasarkan analisis dilakukan pada pupuk urea pelepasan terkendali menghasilkan kandungan nitrat dan nitrit yang masih dibawah ambang batas yang ditentukan Pemerintah. Sedangkan untuk kandungan amonia didapatkan masih dalam jumlah besar yang kemungkinan dipengaruhi oleh aquadest sebagai medium *release*.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis kandungan nitrat dan nitrit yang dianalisis dari pupuk urea pelepasan terkendali masih dibawah ambang batas yang ditentukan melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Sedangkan untuk kandungan amonia masih tinggi yang disebabkan oleh penggunaan aquadest sebagai medium *release* pada pH netral sehingga banyak terbentuk NH₃. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut untuk *release* dalam tanah dan dianalisis kandungan nitrat, nitrit, dan amonia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih untuk Jurusan Teknik Kimia yang telah menyediakan fasilitas peralatan laboratorium sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alderighi, L., Gans, P., Ienco, A., Peters, D., Sabatini, A., & Vacca, A. (1999). Hyperquad simulation and speciation (HySS): A utility program for the investigation of equilibria involving soluble and partially soluble species. *Coordination Chemistry Reviews*, 184(1), 311-318. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(98\)00260-4](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(98)00260-4)

- Bernhard, A. (2010). The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. *Nature Education Knowledge*, 2(2), 1-8.
- Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 613-614(October), 829-839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- Danarto, Y. C., Nugrahey, A., & Noviani, S. M. (2017). Kinetika Slow Release Pupuk Urea Berlapis Chitosan Termodifikasi. *Equilibrium*, 16(36).
- Erkekoglu, P., Sipahi, H., & Baydar, T. (2009). Evaluation of nitrite in ready-made soups. *Food Analytical Methods*, 2(1), 61-65. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9045-0>
- 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. <https://doi.org/10.4141/CJSS09105>
- França, D., Medina, Â. F., Messa, L. L., Souza, C. F., & Faez, R. (2018). Chitosan spray-dried microcapsule and microsphere as fertilizer host for swellable - controlled release materials. *Carbohydrate Polymers*, 196, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.014>
- Guo, H., White, J. C., Wang, Z., & Xing, B. (2018). Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 6, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.009>
- Himmah, N. I. F., Djajakirana, G., & Darmawan, D. (2018). Nutrient Release Performance of Starch Coated NPK Fertilizers and Their Effects on Corn Growth. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 15(2), 104-114. <https://doi.org/10.15608/stjssa.v15i2.19694>
- Jayanudin, Fahrurrozi, M., Wirawan, S. K., & Rochmadi. (2019). Preparation of Chitosan Microcapsules Containing Red Ginger Oleoresin Using Emulsion Crosslinking Method. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 17(1), 1-9. <https://doi.org/10.1177/2280800018809917>
- Jayanudin, J., & Lestari, R. S. D. (2020a). Enkapsulasi dan Karakterisasi Pelepasan Terkendali Pupuk NPK Menggunakan Kitosan Yang Ditaut Silang Dengan Glutaraldehid. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 110-125. <https://doi.org/10.20961/alchemy.16.1.34711.110-125>
- Jayanudin, & Lestari, R. S. D. (2020b). Fertilizer encapsulation to improve the nutrients use efficiency of plant through slow/controlled release to ensure food security. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(2), 1074-1082. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1325572>
- Mawaddah, A., Roto, & 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. <https://doi.org/10.1021/jf202131z>
- Olad, A., Zebhi, H., Salari, D., Mirmohseni, A., & Reyhani Tabar, A. (2018). Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil. *Materials Science and Engineering C*, 90(July 2017), 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.04.083>
- Pearson, J., & Stewart, G. (1993). The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New Phytologist*, 125(2), 283-305. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03882.x>
- Perez, J. J., & Francois, N. J. (2016). Chitosan-starch beads prepared by ionotropic gelation as potential matrices for controlled release of fertilizers. *Carbohydrate Polymers*, 148, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.054>
- Sarkar, S., Datta, S. C., & Biswas, D. R. (2015). Effect of Fertilizer Loaded Nanoclay/Superabsorbent Polymer Composites on Nitrogen and Phosphorus Release in Soil. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 85(2), 415-421. <https://doi.org/10.1007/s40011-014-0371-2>
- Sigurdarson, J. J., Svane, S., & Karring, H. (2018). The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 17(2), 241-258. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9466-1>
- Thanoo, B. C., Sunny, M. C., & Jayakrishnan, A. (1992). Cross-linked Chitosan Microspheres: Preparation and Evaluation as a Matrix for the Controlled Release of Pharmaceuticals. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 44(4), 283-286. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1992.tb03607.x>
- Tong, X., He, X., Duan, H., Han, L., & Huang, G. (2018). Evaluation of controlled release urea on the dynamics of nitrate, ammonium, and its nitrogen release in black soils of Northeast China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph15010119>
- Wu, L., & Liu, M. (2008). Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*, 72(2), 240-247. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.08.020>