

Kinetika *Slow-Released* Pupuk Urea Terenkapsulasi Dalam Alginat

Kinetics of Slow-Released Urea Encapsulated in Alginate

Reviana Indah Dwi Suyatmo^{1*}, Lukman Nulhakim²

Email: revianastmi@gmail.com

¹Teknik Kimia Polimer, Politeknik Sekolah Tinggi Manajemen Industri Jakarta

²Teknik Kimia, Universitas Jayabaya Makassar

Diterima: 05 Mei 2022 / Disetujui: 30 Desember 2022

ABSTRAK

Pupuk urea merupakan komoditas yang penting di sektor pertanian. Pupuk urea yang digunakan petani seringkali terbawa air sehingga pelepasannya tidak efisien. Oleh karena itu diperlukan proses enkapsulasi pupuk urea agar pelepasannya dapat dikontrol. Alginat dapat digunakan sebagai pelapis berbagai material. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui diameter rata-rata hasil enkapsulasi urea dengan alginat dan hasil uji pelepasan pupuk urea terenkapsulasi dalam alginat dalam air. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan urea terenkapsulasi dalam alginat serta permodelan kinetika slow-release urea terenkapsulasi. Enkapsulasi urea dalam alginat menghasilkan butiran dengan diameter rata-rata 3,01 mm. Uji pelepasan urea dalam air masih terjadi setelah waktu 20 menit. Berdasarkan hasil permodelan diperoleh data nilai difusivitas efektif urea dalam butiran sebesar $5,2342 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ dan koefisien transfer massa urea dari permukaan butiran ke badan cairan sebesar $1,9684 \times 10^{-06} \text{ m/s}$.

Kata Kunci: Alginat, Enkapsulasi, *Slow-Release*, Urea

ABSTRACT

Urea fertilizer is an important commodity in the agricultural sector. Urea used by farmers is often carried away by water so that its release is inefficient. Therefore, it is necessary to encapsulate urea so that its release can be controlled. Alginate can be used as a coating for various materials. In this study, the preparation of urea encapsulated in alginate and slow-release kinetics modeling was done. The encapsulated urea in alginate produced granules with an average diameter of 3.01 mm. The urea release test in water still occurred after 30 minutes. Based on the modeling, the effective diffusivity value of urea in granules was $5,2342 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ and the mass transfer coefficient of urea from the surface of the granules to the liquid was $1,9684 \times 10^{-06} \text{ m/s}$.

Keywords: Alginate, Encapsulation, *Slow-Release*, Urea



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

A. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara agraris dimana sebagian besar penduduknya memiliki mata pencaharian di bidang pertanian. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), Produksi Domestik Bruto (PDB) sektor pertanian di Indonesia pada tahun 2013-2018 terus mengalami kenaikan dan pada tahun 2019 menempati urutan kedua

terbesar. Peningkatan sektor pertanian ini berdampak pada peningkatan konsumsi pupuk seperti pupuk urea. Berdasarkan data BPS, konsumsi domestik pupuk urea di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 5,4 juta ton/tahun dan merupakan angka yang tertinggi dibandingkan konsumsi pupuk lainnya.

Pupuk urea mengandung unsur nitrogen yang sangat diperlukan dalam pertumbuhan tanaman. Kelemahan penggunaan pupuk urea adalah ketika musim hujan, kemungkinan butir urea larut dan terbawa air sangat tinggi. Hal ini dapat menyebabkan tanaman tidak memperoleh kandungan dari pupuk secara efisien karena banyak pupuk yang secara tidak langsung terbuang. Oleh karena itu, perlu enkapsulasi pupuk urea untuk memperbaiki sifat permeabilitas terhadap air sehingga laju pelepasan pupuk urea dapat secara lambat atau secara slow-release.

Biodegradable material seperti selulosa, kitosan, dan alginat dapat digunakan sebagai coating materials untuk enkapsulasi pupuk. Tetapi penggunaan material tersebut dalam coating pupuk memiliki keterbatasan dalam efisiensi pengeluaran kandungan di dalam pupuk (FernándezPérez et al., 2008; Han et al., 2009; Ni et al., 2011; Zhong et al., 2013).

Alginat merupakan polimer yang umum digunakan untuk mengenkapsulasi makanan, obat dan bakteri (Szekalska dkk., 2016). Biodegradable material seperti alginat dapat digunakan sebagai coating materials untuk enkapsulasi pupuk. Alginat memiliki potensi untuk

mengkapsulasi pupuk karena polimer tersebut larut didalam air dan ramah lingkungan. Ketika sodium alginat dilarutkan ke dalam air dan kemudian diekstruksi ke dalam larutan CaCl₂, maka larutan alginat akan berubah menjadi gel karena terjadi ikat silang antara polimer alginat dan ion Ca²⁺ (Leong et al., 2016).

Modeling merupakan suatu proses yang menggambarkan data eksperimen, sehingga model tersebut dapat menjelaskan karakteristik sistem (Bender, 2000). Modeling merupakan suatu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi biaya eksperimen. Kecepatan pelepasan pupuk urea terenkapsulasi dapat dimodelkan atau dijabarkan dengan persamaan-persamaan matematis sebagai berikut:

Input - Output = Akumulasi

$$4\pi(r + \Delta r)^2 D_e \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} - 4\pi r^2 D_e \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_r = 4\pi r^2 \Delta r \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$(r + \Delta r)^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} - r^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_r = r^2 \Delta r \frac{1}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$\frac{(r + \Delta r)^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} - r^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_r}{\Delta r} = \frac{r^2}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

Jika diambil lim $\Delta r \rightarrow 0$, maka

$$\frac{(r + \Delta r)^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} - r^2 \left. \frac{\partial C'}{\partial r} \right|_r}{\Delta r} = \frac{r^2}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C'}{\partial r} \right) = \frac{r^2}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$r^2 \frac{\partial^2 C'}{\partial r^2} + 2r \frac{\partial C'}{\partial r} = \frac{r^2}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 C'}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C'}{\partial r} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 C'}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C'}{\partial r} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial C'}{\partial t} \quad (1)$$

dengan kondisi awal sebagai berikut:

$$t = 0 \quad r = 0 \quad C' = C'_0$$

dan kondisi batas sebagai berikut:

$$r = 0 \quad \frac{\partial C'}{\partial r} = 0$$

$$r = R \quad D_e \frac{\partial C'}{\partial r} = k_c (C - C'|_R)$$

dimana

- De = difusivitas efektif urea dalam butiran alginat
 kc = koefisien perpindahan massa gliserol dari permukaan luar padatan ke badan utama cairan
 R = jari-jari terluar padatan,
 C' = konsentrasi urea di dalam butiran
 C'o = konsentrasi urea awal di dalam butiran alginat

Neraca massa A di badan cairan:

Input – Output = Akumulasi

$$4\pi R^2 k_c N (C - C'|_R) - 0 = V \frac{dC}{dt}$$

$$4\pi R^2 k_c N (C - C'|_R) = V \frac{dC}{dt} \quad (2)$$

Dengan kondisi awal :

$$t = 0 \quad C = 0$$

Dengan

- C = konsentrasi urea di dalam badan cairan
 N = jumlah butir
 V = volume air

Persamaan (1) dan (2) di atas diselesaikan dengan menggunakan method of lines menggunakan software matlab berdasarkan pengamatan konsentrasi urea di dalam air (C). Nilai De dan kc yang memenuhi adalah nilai keduanya memberikan Sum of Absolute Relative Difference (SARD) yang minimum yang ditunjukkan pada persamaan berikut

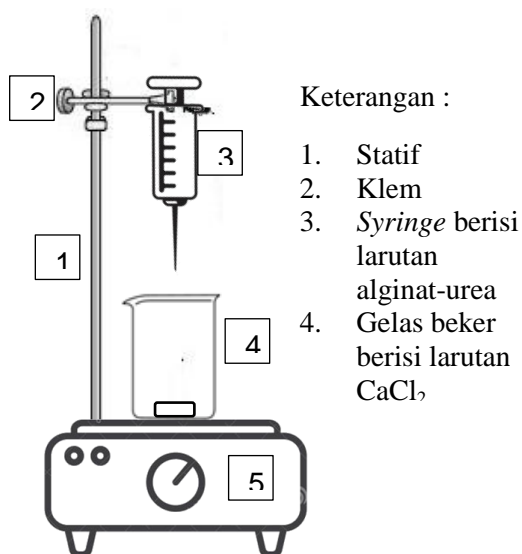
Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui diameter rata-rata hasil enkapsulasi urea dengan alginat dan hasil uji pelepasan pupuk urea terenkapsulasi dalam alginat dalam air.

B. METODE PENELITIAN

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk urea, alginat, *aquadest*, etanol, dan CaCl₂. Peralatan yang digunakan antara lain *hotplate*, *magnetic stirrer*, gelas beker, gelas ukur, termometer, timbangan analitik, erlenmeyer, dan *syringe*.

Alginat sebanyak 2 gram dilarutkan dalam akuades 100 ml lalu didiamkan selama 1 jam untuk memungkinkan deaerasi. Setelah itu, urea sebanyak 10 gram dilarutkan dalam akuades 100 ml kemudian dimasukkan ke dalam larutan alginat hingga bercampur. Campuran larutan alginat-pupuk urea diekstrusi ke dalam larutan CaCl₂ 0,05 M. Ekstrusi

menggunakan *syringe* seperti terlihat pada Gambar 1. Setelah semua butiran alginat terbentuk, diamkan butiran alginat dalam larutan CaCl_2 selama 10 menit tanpa diaduk. Butiran alginat yang terbentuk kemudian diukur diameternya dan diuji pelepasannya.

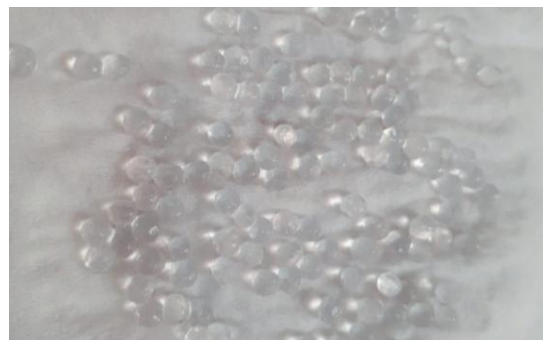


Gambar 1. Ekstrusi Larutan Alginat-Urea ke dalam Larutan CaCl_2

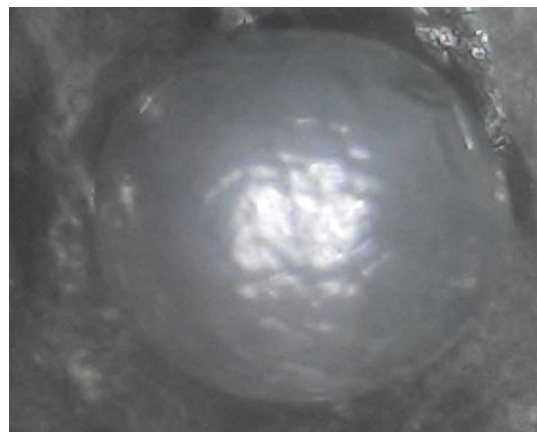
Pupuk urea terenkapsulasi sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam akuades 100 ml dalam erlenmeyer. Sampel diambil pada waktu tertentu dan dilakukan analisa konsentrasi amonia pada cairan. Pengukuran diameter butir hasil enkapsulasi dilakukan menggunakan digital mikroskop pembesaran 1000x. Konsentrasi NH_3 dapat diasumsikan sama dengan konsentrasi nitrogen yang terdapat dalam larutan. Nitrogen dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

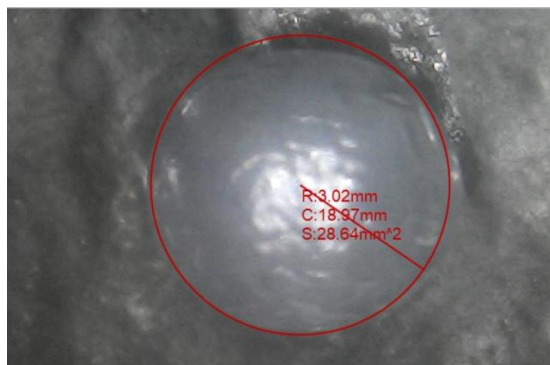
Penelitian ini dimulai dengan membentuk butiran alginat-pupuk urea. Pembentukan butiran ini cukup sulit karena harus disesuaikan jarak dari *syringe* ke larutan CaCl_2 . Jika jaraknya terlalu jauh, maka yang terbentuk adalah droplet, bukan butiran. Hasil butiran alginat-urea dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Urea Terenkapsulasi dalam Alginat



Gambar 3. Butir Alginat-Urea



Gambar 4. Hasil Pengukuran Diameter Butiran Alginat-Urea Menggunakan Digital Mikroskop Pembesaran 1000x

Butiran alginat-urea diukur diameternya menggunakan digital mikroskop pembesaran 1000x. Dari 10 butir random, diperoleh nilai diameternya 3,01 mm pada tiap butir. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pembentukan butiran dilakukan dengan baik karena distribusi ukurannya seragam. Hasil pengukuran diameter butir alginat-urea dapat dilihat pada Gambar 4.

Proses selanjutnya setelah terbentuk butiran urea yang terenkapsulasi dalam alginat adalah melakukan uji pelepasan. Uji pelepasan dilakukan di dalam air selama 30 menit. Konsentrasi urea dalam air pada saat uji pelepasan, diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrometer. Pengambilan sampel dilakukan hingga waktu 30 menit seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, nilai absorbansi larutan urea setelah 30 menit masih belum konstan.

Untuk mengetahui konsentrasi larutan urea, perlu dibuat kurva standar. Kurva standar dibuat dengan mengukur absorbansi larutan urea yang sudah diketahui konsentrasinya. Data untuk membuat kurva standar dapat dilihat pada Tabel 2 sedangkan kurva standar dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Absorbansi Larutan Urea dalam Uji Pelepasan

Waktu, (menit)	Absorbansi	
	Hasil Pengukuran	Rata-Rata
0	0	0
1	0,132	0,132
2,5	0,134 0,136	0,135
5	0,142 0,159	0,1505
7,5	0,149 0,169	0,159
10	0,151 0,135	0,143
12,5	0,149 0,188	0,1685
15	0,181 0,205	0,193
17,5	0,149 0,167	0,158
20	0,274 0,282	0,278
30	0,224 0,182	0,203

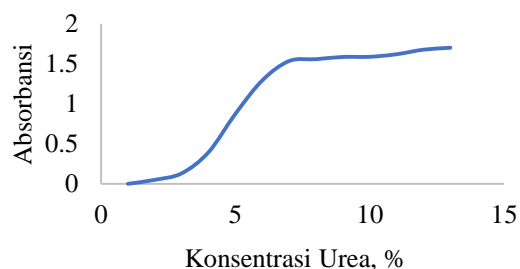
Sumber: Hasil Penelitian 2022

Tabel 2. Data Kurva Standar

Konsentrasi Urea, %	Absorbansi
0,0001	0,0500
0,0050	0,1310
0,0100	0,3950
0,0500	0,8750
0,1000	1,2930
0,2000	1,5360
0,3000	1,5590
0,4000	1,5870
0,5000	1,5890
1,0000	1,6210
3,0000	1,6780

Konsentrasi Urea, %	Absorbansi
5,0000	1,7020

Sumber: Hasil Penelitian 2022



Gambar 5. Kurva Standar

Tabel 3. Konsentrasi Larutan Urea Hasil Uji Pelepasan

Waktu, menit	Konsentrasi Urea, mmol/m ³
0 (blangko)	0
1	3,0114
2,5	3,0455
5	3,2216
7,5	3,3182
10	3,1364
12,5	3,4261
15	3,7045
17,5	3,3068
20	4,6705

Sumber: Hasil Penelitian 2022

Berdasarkan kurva standar dan hasil absorbansi larutan dari uji pelepasan urea-alginat, diperoleh data pada Tabel 3. Data konsentrasi pada Tabel 3 ini yang digunakan pada program matlab, untuk mencari nilai k_c dan D_e . Berdasarkan hasil run program matlab, diperoleh nilai $k_c = 1,9684 \times 10^{-06}$ m/s dan $D_e = 5,2342 \times 10^{-10}$ m²/s dengan SARD = 0,4812. Nilai difusivitas ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Imawan dkk. (2018) mengenai enkapsulasi urea dengan *Na-lignosulfonate* dimana hasil koefisien

difusinya adalah $0,94 \times 10^{-6}$ m²/jam atau $2,61 \times 10^{-10}$ m²/s.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa butiran enkapsulasi urea dalam alginat berdiameter rata-rata 3,01 mm; konsentrasi urea masih belum konstan setelah 30 menit uji pelepasan; berdasarkan permodelan, diperoleh nilai koefisien perpindahan massa urea dari permukaan butiran ke badan cairan atau $k_c = 1,9684 \times 10^{-06}$ m/s dan difusivitas efektif urea dalam butiran atau $D_e = 5,2342 \times 10^{-10}$ m²/s dengan SARD = 0,4812. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan melakukan pengujian lain seperti FTIR dan SEM untuk mengetahui struktur kimia dan morfologi urea terenkapsulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bender, E. A. 2000. An Introduction to Mathematical Modeling. Dover Publication, New York.
- Fernández-Pérez M., Garrido-Herrera F.J., González-Pradas E., Villafranca-Sánchez M., Flores-Céspedes F. 2008. Lignin and ethylcellulose as polymers in controlled release formulations of urea. *Journal of Applied Polymer Science*, 108 (6): 3, 796-803.
- Han X.Z., Chen S.S., Hu X.G. 2009. Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating. *Desalination*, 240 (1-3), 21-26.
- Kurniawan, Y. S., Imawan, A. C., Lukman, M. F., Trioyono, J., and Siswanta, D.

2017. Synthesis and Kinetic Study of the Urea Controlled Release Composite Material: Sodium Lignosulfonate from Isolation of Wood Sawdust-Sodium Alginate-Tapioca. Indonesian Journal of Chemistry, 18(1), 108-115.
- Kaliyathan, A.V., Mathew, A., Rane, A.V., Kanny, K., Thomas, S. 2018. Fundamental Biomaterials : Polymer. Woodhead Publishing, Cambridge
- Leong, J.Y.. 2016. Review Advances in fabricating spherical alginate hydrogels with controlled particle designs by ionotropic gelation as encapsulation systems. Particuology, Volume 24, 44-60.
- Ni B.L., Liu M.Z., Lü S.Y., Xie L.H., Wang Y.F. 2011. Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer. Journal of agricultural and food chemistry, 59 (18): 10, 169-175.
- Szekalska, M., Puciłowska, A., Szymań, E., 2016. Review Article Alginate: Current Use and Future Perspectives in Pharmaceutical and Biomedical Applications. International Journal of Polymer Science.
- Zhong K., Lin Z.T., Zheng X.L., Jiang G.B., Fang Y.S., Mao X.Y., Liao Z.W. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. Carbohydrate Polymers, 92 (2): 1, 367-376.