



BIOFARM

Jurnal Ilmiah Pertanian

ISSN Print: 0216-5430; ISSN Online: 2301-6442

Vol. 22, No. 1, April 2026

Enkapsulasi Fermentasi Urine Kambing Dalam Mikrokapsul Kalsium Alginat Dan Polyvinyl Alkohol Sebagai Pupuk Lepas Lambat

Encapsulation of Goat Urine Fermentation in Calcium Alginate and Polyvinyl Alcohol Microcapsules as Slow-Release Fertilizer

Lukman Nulhakim^{1*}, Reyhan Syahreza Muslim¹, Eko Prabowo¹, Renaufal Ariq Firdaus¹
Mubarakah Nuriani Dewi¹, Reviana Inda Dwi Suyatmo²

¹Teknik Kimia, Universitas Jayabaya, Jakarta

²Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI, Jakarta

*Korespondensi Penulis: lukman.nh.st@gmail.com

ABSTRAK

Pupuk fermentasi urine kambing merupakan salah satu pupuk cair yang potensial digunakan oleh petani, namun kelemahannya adalah jika hujan pupuk tersebut akan larut terbawa oleh aliran air hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari proses pembuatan enkapsulasi dari fermentasi urine kambing dikembangkan, dimana fermentasi urine kambing dilarutkan dengan sodium alginat dan PVA lalu dienkapsulasi ke dalam butiran alginat PVA menggunakan larutan pengikat silang CaSO_4 dan CaCl_2 serta laju kinetika lepas lambat dipelajari. Setelah butiran alginat dan PVA terbentuk, dilakukan Analisa pengukuran jari jari alginat menggunakan mikroskop digital dan Analisa kadar nitrogen dalam larutan menggunakan spektrofotometer. Enkapsulasi dilakukan dengan menggunakan alginat dan PVA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Dimana fermentasi urine kambing berhasil dienkapsulasi menggunakan alginat-PVA dengan larutan pengikat silang CaCl_2 dan CaSO_4 dengan ukuran masing masing 1,16 dan 1,11 mm. Semakin besar konsentrasi sodium alginat PVA maka akan semakin besar kadar urea yang didapatkan, dan laju gelasi alginat PVA dengan CaSO_4 jauh lebih lambat dibandingkan dengan CaCl_2 . Nilai D_e dan K_e bernilai seragam yaitu sebesar $4.00 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{detik}$ dan $3.15 \times 10^{-08} \text{ m}/\text{detik}$

Kata kunci: Alginat; Fermentasi Urine Kambing; Kadar Nitrogen; PVA

ABSTRACT

Goat urine fermentation fertilizer is one of the liquid fertilizers that has the potential to be used by farmers, but the disadvantage is that if it rains the fertilizer will dissolve and be carried away by the rainwater flow. The purpose of this study was to study the process of making encapsulation from fermented goat urine developed, where fermented goat urine was dissolved with sodium alginate and PVA and then encapsulated into PVA alginate granules using CaSO_4 and CaCl_2 crosslinking solutions and the slow release kinetics rate was studied. After the alginate and PVA granules are formed, an analysis of the alginate radius measurement using a digital microscope and an analysis of the nitrogen content in the solution using a spectrophotometer. Encapsulation was carried out using alginate and PVA with a predetermined concentration. Where goat urine fermentation was successfully encapsulated using alginate-PVA with CaCl_2 and CaSO_4 crosslinkers with sizes of 1.16 and 1.11 mm respectively. The higher the concentration of sodium alginate PVA, the higher the urea content obtained, and the gelation rate of PVA alginate with CaSO_4 is much slower than with CaCl_2 . Value of D_e and K_e are uniform, namely $4.00 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ and $3.15 \times 10^{-08} \text{ m/s}$.

Keywords: Alginate; Goat Urine Fermentation; Nitrogen Levels; PVA

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan sumber daya yang melimpah dan berbasis pada sektor pertanian. Selama periode 2018 – 2023, akumulasi tambahan nilai Produk Domestik Bruto (PDB) sektor pertanian

yang mampu dihasilkan mencapai 1.455 Triliun Rupiah dari nilai PDB Sektor pertanian tahun 2023 naik 10.8% dibandingkan dengan tahun 2018 (Akhmad Mun'im et al., 2024). Peningkatan sektor pertanian ini mengakibatkan peningkatan konsumsi pupuk di

Indonesia. Sepanjang 2023

Tabel 1. Prakiraan kebutuhan produksi nasional (juta ton)

Jenis Pupuk	2020	2030
Urea	12,40	18,22
SP-36	4,10	3,74
Za	1,6	2,21
NPK	11,63	32,89
Organik	16,5	23,56
Total	46,23	80,62

Sumber : Hadisuwito (2015)

Pada Tabel 1. Menunjukkan Gambaran kecenderungan prioritas produksi pupuk anorganik majemuk sebesar 50%, dimana sumber bahan baku pembuatan pupuk organik masih bergantung kepada bahan baku impor (Ibrahim, 2019). untuk mengurangi ketergantungan akan bahan baku impor, peningkatan produksi pupuk organik berbahan baku lokal merupakan solusi dari masalah tersebut (Hadiuwito, 2012). Pupuk organik memiliki kelebihan dibandingkan dengan pupuk anorganik antara lain dapat meningkatkan produksi dan sesuai dengan tanah. Selain itu, pupuk organik juga dapat menggemburkan tanah, memacu pertumbuhan mikroorganisme dalam tanah, serta membantu transportasi unsur hara tanah ke dalam akar tanaman (Ahmad, 2022).

Salah satu jenis pupuk organik yang memiliki potensi digunakan adalah urine kambing. Urine kambing merupakan salah satu bahan pupuk organik cair yang belum banyak dimanfaatkan oleh petani. Urine kambing mempunyai kandungan nitrogen, fosfor, kalium dan air lebih banyak jika dibandingkan dengan kotoran kambing padat (Hafyamsay, Pristiyono, & Halim, 2021). Namun, seperti pupuk organik cair lainnya, pupuk cair urine kambing memiliki kelemahan yaitu pada kondisi jenuh air dapat menyebabkan proses infiltrasi tidak lancar kedalam tanah yang menyebabkan unsur hara tidak sampai ke akar tanaman, misalnya saja pada musim hujan (Nanda, Mardiana, & Pane, 2017). Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka pupuk cair harus di enkapsulasi dengan polimer.

Penelitian yang dilakukan oleh Imawan, (Imawan, et al., 2018) menyatakan bahwa urea

yang dienkapsulasi dalam komposit natrium alginat, tapioca, dan natrium lignosulfonat, masih kurang baik dalam menghambat pelepasan urea. Penelitian lain yang dilakukan oleh Retno Sulisty, (Lestari, et al., 2020) menyatakan bahwa urea yang dienkapsulasi dengan kitosan yang ditaut silang dengan glutaraldehid menunjukkan efektifitas tertentu, pelepasan nitrogen masih cukup tinggi sehingga belum optimal sebagai pupuk lepas lambat, selain itu penggunaan glutaraldehid berpotensi menimbulkan dampak lingkungan jika tidak dikendalikan dengan baik.

Polimer lain yang biasa digunakan untuk enkapsulasi adalah Polivinil Alkohol (PVA). PVA mampu menjaga komponen aktif dan bahan lainnya yang terkandung di dalam bahan dari kontak dengan oksigen (Alina, Chelo, & Amparo, 2020). Beberapa alasan dilakukan enkapsulasi menggunakan polimer PVA yaitu, PVA memiliki harga yang murah, larut dalam air, tidak beracun dan termasuk polimer biocompatible yang banyak digunakan dalam aplikasi biomedis (Sousa, et al., 2015). Untuk mengetahui laju lepas lambat pupuk dari mikrokapsul, model matematika perlu dipelajari

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 urine kambing

terenkapsulasi dapat dimodelkan atau dijabarkan mengikuti persamaan matematis sebagai berikut (Reviana & Lukman 2022).

Input – Output = Akumulasi

$$\begin{aligned}
 4\pi(r + \Delta r)^2 D_e (\partial C' / \partial r)_{(r+\Delta r)} \\
 - 4\pi r^2 D_e (\partial C' / \partial r)_r \\
 = 4\pi r^2 \Delta r (\partial C' / \partial t) \\
 (r + \Delta r)^2 D_e (\partial C' / \partial r)_{(r+\Delta r)} - r^2 D_e (\partial C' / \partial r)_r \\
 = r^2 \Delta r (\partial C' / \partial t)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 (r + \Delta r)^2 D_e (\partial C' / \partial r)_{(r+\Delta r)} - r^2 D_e (\partial C' / \partial r)_r \\
 = r^2 \Delta r (\partial C' / \partial t) \\
 (r + \Delta r)^2 (\partial C' / \partial r)_{(r+\Delta r)} - r^2 (\partial C' / \partial r)_r \\
 = (r^2 \Delta r / D_e) (\partial C' / \partial t) \\
 (r + \Delta r)^2 (\partial C' / \partial r)_{(r+\Delta r)} - r^2 (\partial C' / \partial r)_r / \Delta r \\
 = (r^2 / D_e) (\partial C' / \partial t) \\
 \partial / \partial r (r^2 \partial C' / \partial r) = (r^2 / D_e) (\partial C' / \partial t)
 \end{aligned}$$

$$r^2 \partial^2 C' / \partial r^2 + 2r \partial C' / \partial r = (r^2 / D_e) (\partial C' / \partial t)$$

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

dengan kondisi awal sebagai berikut

$$t = 0, 0 \leq r \leq R, C' = C'_0$$

dan kondisi batas sebagai berikut

$$r = 0, \partial C' / \partial r = 0$$

$$r = R, D_e (\partial C' / \partial r)_{(r=R)} = k_c (C - C'_R)$$

dimana

De = difusivitas efektif urine kambing dalam butiran

Ke = koefisien perpindahan massa gliserol dari permukaan luar padatan ke badan utama cairan

R = jari – jari terluar padatan

C' = konsentrasi urine kambing di dalam butiran

C'o = konsentrasi urine kambing awal di dalam butiran alginate

Neraca massa A di badan cairan:

Input – Output = Akumulasi

$$4\pi R^2 k_c (C - C'_R) = V dC / dt$$

$$N(C - C'_R) = V dC / dt \quad (2)$$

Dengan kondisi awal:

$$t = 0, C = 0$$

Dengan

C = konsentrasi urine kambing 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 tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari proses pembuatan enkapsulasi dari fermentasi urine kambing dikembangkan, dimana fermentasi urine kambing dilarutkan dengan sodium alginat dan PVA lalu dienkapsulasi ke dalam butiran alginat PVA menggunakan larutan pengikat silang CaSO4 dan CaCl2 serta laju kinetika lepas lambat dipelajari

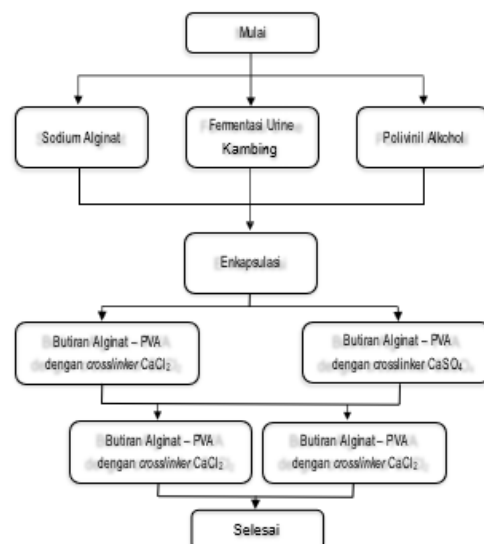
BAHAN DAN METODE

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium alginat, pupuk urea, fermentasi urine kambing, CaCl2, CaSO4, air suling dan polivinil alkohol.

Sodium alginat sebanyak 0,5 gram dan deret PVA sebanyak 0,5 gram – 2 gram, dilarutkan dalam fermentasi urine kambing 100 mL lalu diamkan selama 1 jam untuk memungkinkan daerasi. Setelah itu, PVA sebanyak 0,5 gram dan deret sodium alginat sebanyak 0,5 gram – 2 gram, dilarutkan dalam fermentasi urine kambing 100 mL lalu diamkan selama 1 jam untuk memungkinkan daerasi.

CaSO4 sebanyak 2,775 gram dilarutkan dalam air suling 500 mL. Setelah itu CaCl2 sebanyak 2,775 gram dilarutkan dalam air suling 500 mL.

Larutan pupuk cair, sodium alginat, dan PVA dimasukkan ke dalam alat suntik, lalu larutan tersebut diteteskan ke dalam larutan CaSO4 dan CaCl2 oleh syringe dengan jarak 4 cm dari permukaan larutan selagi larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer. Setelah butiran alginat terbentuk dalam larutan CaSO4 atau CaCl2, diamkan butiran yang terbentuk selama 10 menit tanpa diaduk. Butiran alginate – PVA yang terbentuk kemudian di ukur jari – jarinya dan diuji pelepasannya.

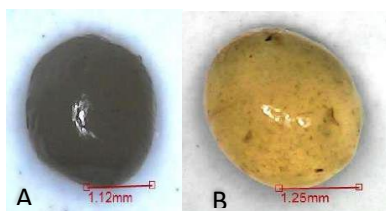


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengukuran diameter butiran alginat hasil enkapsulasi dilakukan menggunakan mikroskop digital menggunakan software HiView. Nitrogen yang terlepas dari butiran, kemudian pupuk cair dianalisa konsentrasinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang waktu 0-15 menit (Nanda, Mardiana, & Pane, 2017), menggunakan DMAB sebagai pengompleks.

HASIL DAN PEMBAHASAN

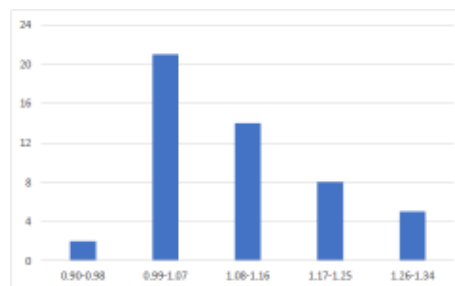
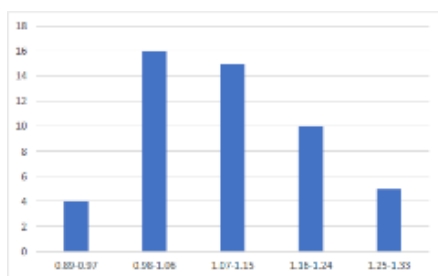
Penelitian ini dimulai dengan membentuk butiran butiran alginat – PVA. Jarak antara syringe ke larutan disesuaikan sejauh 4 cm agar terbentuk butiran bukan droplet. Hasil butiran alginat – PVA dengan CaCl_2 dan CaSO_4 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. A) Butiran alginat - PVA dengan CaCl_2 , B) Butiran alginat - PVA dengan CaSO_4

Analisis Jari – Jari Rata – Rata Butiran Alginat – PVA dan Butiran alginat - PVA terlapsi Crosslinker

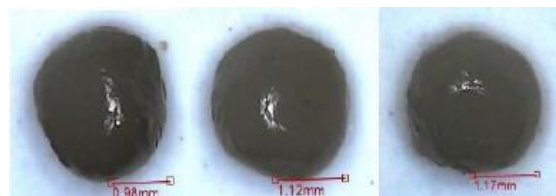
Percobaan ini dilakukan dengan dua kali percobaan, pertama butiran PVA – Alginat dengan CaCl_2 dan kedua butiran PVA – Alginat yang dilapsi CaSO_4 untuk sampel diambil masing – masing 50 butir untuk diukur jari – jarinya. Gambar 3 menjelaskan ukuran jari jari butiran alginat – PVA dengan CaCl_2 menggunakan jarum suntik. Gambar 4 menjelaskan ukuran jari – jari butiran alginat – PVA dengan CaSO_4 menggunakan jarum suntik.



Gambar 3. Hasil uji jari - jari butiran alginat - PVA dengan CaCl_2

Gambar 4. Hasil uji jari - jari butiran alginat - PVA dengan CaSO_4

Butiran alginat – PVA yang terbentuk diukur jari – jarinya menggunakan mikroskop digital dengan cara diadaptasi (Masri, Wilhm, Underwood, Bancroft, & Eccleton, 2019). Dari 50 butiran enkapsulasi, diperoleh jari – jarinya adalah antara 0,98 mm – 1,17 mm pada butiran alginat PVA dengan CaCl_2 dengan rata – ratanya 1,11 mm dan diperoleh jari – jarinya antara 1,05 mm – 1,25 mm pada butiran alginat – PVA dengan CaSO_4 dengan rata – ratanya 1,16 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pembentukan butiran alginat – PVA dilakukan dengan baik karena distribusi ukurannya cukup seragam. Hasil pengukuran jari – jari butir alginat – PVA dengan CaCl_2 dan CaSO_4 dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil uji jari-jari butiran alginat PVA dengan CaCl_2



Gambar 6. Hasil uji jari-jari butiran alginat PVA dengan CaSO_4

Dari hasil butiran pada Gambar 5 dan 6, terdapat perbedaan warna pada butiran alginat – PVA crosslinker CaCl_2 dengan CaSO_4 , dimana butiran alginat – PVA crosslinker CaCl_2 berwarna gelap dan pekat dibandingkan dengan CaSO_4 yang berwarna lebih kekuningan hal ini disebabkan oleh laju gelasi

yang bergantung pada kelarutan air dari agen crosslinker yang digunakan. Laju gelasi alginat – PVA dengan CaSO_4 jauh lebih lambat dibandingkan dengan CaCl_2 (Xie, Jiang, Dong, & Bai, 2012).

Analisis Nitrogen dalam Larutan

Proses selanjutnya setelah terbentuk butiran alginat – PVA dengan CaCl_2 dan butiran alginat – PVA dengan CaSO_4 adalah melakukan uji pelepasan. Uji pelepasan ini dilakukan di dalam air dalam waktu 15 menit. Nitrogen yang terlepas dari butiran pupuk cair dianalisa dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Nanda, Mardiana, & Pane, 2017). Untuk mengetahui konsentrasi larutan urea, pertama – tama perlu dibuat kurva standar untuk memastikan range dari kadar urea/nitrogen yang sebenarnya. Kurva standar dibuat dengan mengukur absorbansi larutan urea yang sudah diketahui konsentrasinya. Setelah didapat kurva standarnya baru siap untuk uji analisis konsentrasi kadar nitrogen dalam larutan butiran alginat – PVA

Tabel 2. Tabel hasil *slow release* urine kambing dalam butiran PVA 0,5% dan deret alginat 0,5% - 2% dengan CaCl_2

Waktu (Menit)	Konsentrasi (g/mL)			
	PVA 0,5%, Alginat 0,5%	PVA 0,5%, Alginat 1%	PVA 0,5%, Alginat 1,5%	PVA 0,5%, Alginat 2%
	dengan CaCl_2	dengan CaCl_2	dengan CaCl_2	dengan CaCl_2
1	0,0210	0,0208	0,0219	0,0217
2	0,0211	0,0213	0,0222	0,0222
3	0,0213	0,0214	0,0223	0,0224
4	0,0214	0,0216	0,0224	0,0227
5	0,0215	0,0217	0,0225	0,0229
6	0,0216	0,0218	0,0227	0,0233
7	0,0217	0,0219	0,0229	0,0235
8	0,0218	0,0220	0,0230	0,0238
9	0,0219	0,0222	0,0230	0,0240
10	0,0221	0,0224	0,0232	0,0242
15	0,0223	0,0226	0,0233	0,0245

Tabel 3. Tabel hasil *slow release* urine kambing dalam butiran PVA 0,5% - 2% dan deret alginat 0,5% dengan CaCl_2

Waktu (Menit)	Konsentrasi (g/mL)			
	PVA 0,5%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	PVA 1%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	PVA 1,5%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	PVA 2%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2
1	0,0210	0,0223	0,0223	0,0226
2	0,0212	0,0225	0,0224	0,0228
3	0,0213	0,0226	0,0225	0,0230
4	0,0214	0,0227	0,0226	0,0232
5	0,0215	0,0228	0,0228	0,0234
6	0,0217	0,0229	0,0229	0,0236
7	0,0218	0,0230	0,0231	0,0238
8	0,0219	0,0232	0,0232	0,0240
9	0,0220	0,0233	0,0233	0,0242
10	0,0221	0,0234	0,0234	0,0244
15	0,0224	0,0235	0,0242	0,0248

Tabel 4. Tabel hasil *slow release* urine kambing dalam butiran PVA 0,5% - 2% dan deret alginat 0,5% dengan CaSO_4

Waktu (Menit)	Konsentrasi (g/mL)			
	PVA 0,5%, Alginat 0,5%	PVA 1%, Alginat 0,5%	PVA 1,5%, Alginat 0,5%	PVA 2%, Alginat 0,5%
	dengan CaSO_4	dengan CaSO_4	dengan CaSO_4	dengan CaSO_4
1	0,0203	0,0203	0,0204	0,0209
2	0,0204	0,0204	0,0205	0,0211
3	0,0205	0,0205	0,0207	0,0212
4	0,0207	0,0207	0,0208	0,0214
5	0,0209	0,0208	0,0209	0,0215
6	0,0211	0,0209	0,0209	0,0216
7	0,0212	0,0211	0,0211	0,0217
8	0,0213	0,0212	0,0212	0,0218
9	0,0214	0,0213	0,0213	0,0219
10	0,0216	0,0214	0,0215	0,0219
15	0,0219	0,0218	0,0216	0,0221

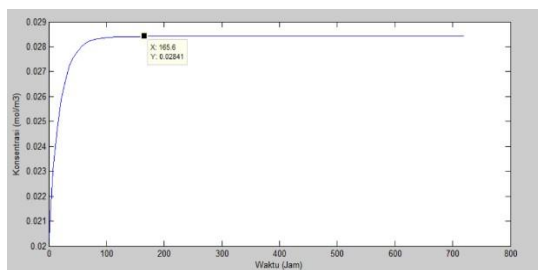
Komposisi PVA 2% dan alginat 0,5% menghasilkan konsentrasi tertinggi (0,0245 g/mL) saat menggunakan crosslinker CaCl_2 (Tabel 2), sedangkan dengan CaSO_4 (Tabel 4) hanya mencapai 0,0221 g/mL. hal ini

menunjukkan bahwa CaCl_2 memberikan pelepasan lebih besar dibandingkan CaSO_4 , karena membentuk struktur matrik yang lebih longgar. Dengan demikian, crosslinker CaCl_2 lebih efektif untuk sistem slow release ini.

Tabel 5. Nilai De dan Ke untuk masing- masing komposisi

No	Variabel	Ke (m/detik)	De (m ² /det SSE ik)
1	PVA 0,5%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	3.15×10^{-8}	4.00×10^{-11} 0.3327
2	PVA 1%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	3.15×10^{-8}	4.00×10^{-11} 0.2975
3	PVA 1,5%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	3.15×10^{-8}	4.00×10^{-11} 0.316
4	PVA 2%, Alginat 0,5% dengan CaCl_2	3.15×10^{-8}	4.00×10^{-11} 0.4654
5	PVA 0,5%, Alginat 0,5% dengan CaSO_4	3.15×10^{-8}	4.00×10^{-11} 0.3741

Dari hasil kurve fitting, Nilai De dan Ke bernilai seragam yaitu sebesar 4.00×10^{-11} m²/detik dan 3.15×10^{-8} m/detik. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi PVA dan Jenis Crosslinker tidak mempengaruhi laju diffusi pupuk dalam mikrokapsul. Nilai De diatas lebih kecil dibandingkan dengan Nilai De urea pada mikrokapsul alginat (5.23×10^{-10} m²/detik (Reviana & Lukman, 2022)). Hal ini menunjukkan PVA menghambat laju lepas lambat pupuk.



Gambar 7. Simulasi Laju Lepas Lambat Pupuk dalam Mikrokapsul

Dari hasil simulasi menunjukkan pupuk dilepas secara perlahan dari mikrokapsul

kebadan cairan, hingga pada waktu 165,6 Jam pupuk habis ditransfer kebadan cairan.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan ini, dapat disimpulkan bahwa butiran enkapsulasi urea dalam alginat – PVA ber jari – jari rata – rata 1,16 mm dengan crosslinker CaCl_2 dan 1,11 mm dengan crosslinker CaSO_4 . Semakin tinggi konsentrasi PVA dan alginat, semakin besar pelepasan urine kambing. Selain itu, penggunaan CaCl_2 sebagai crosslinker menghasilkan pelepasan urea yang lebih tinggi dibandingkan dengan CaSO_4 . Nilai De dan Ke bernilai seragam yaitu sebesar 4.00×10^{-11} m²/detik dan 3.15×10^{-8} m/detik

DAFTAR PUSTAKA

- A. T., C. G.-M., & A. C. (2020). Polyvinyl alcohol-based materials encapsulating carvacrol obtained by solvent casting and electrospinning. *Reactive and Functional Polymers*, 85(4), e104603. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104603>
- Ahmad, F. (2022). PENGARUH PEMBERIAN DOSIS PUPUK ORGANIK PADAT TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASILTANAMAN SAWI (*Brassica juncea* L.).
Jurnal Ilmiah Cendikia Eksakta, 7(2), 97-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.31942/ce.v7i27551>
- Bender, E. A. (2000). *An Introduction to Mathematical Modeling*. New York: Dover Publication.
- Fedho, M. A. (2023, Januari 10). Pupuk Indonesia Catat Produksi Sebesar 18,84 Juta Ton di 2022, Tahun 2023 Rencananya Naik Jadi 19,44 Juta Ton. Retrieved from The Iconomics: <https://www.theiconomics.com/market-expansion/pupuk-indonesia-catat-produksi-sebesar-1884-juta-ton-di-2022-tahun-2023-rencananya-naik-jadi-1944-juta-ton/>
- Hadisuwito, S. (2012). *Membuat Pupuk Organik Cair*. Jakarta Selatan: AgroMedia.

- Hafyams Shay, N., Pristiyono, & Halim, A. (2021). PEMBUATAN PUPUK ORGANIK CAIR DARI URINE KAMBING. *Minda Baharu*, 5(2), 101-108.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33373/jmb.v5i2.3361>
- Ibrahim, A. M. (2019, Juli 30). Petrokimia Gresik siapkan strategi wujudkan "Indonesia Emas 2045". Retrieved from Antara News: <https://www.antaranews.com/berita/984726/petrokimia-gresik-siapkanstrategi-wujudkan-indonesia-emas-2045>
- Imawan, A. C., Kurniawan, Y. S., Lukman, M. F., J. J., T. T., & D. S. (2018). 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*, 518(1), 108-115.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22146/ijc.26597>
- Lestari, R. D., Jayanudin, Irawanto, D., Rozak, Wardana, R. A., & Muhammad, F. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Kitosan Tertaut Silang Glutaraldehyde Sebagai Matrik Pupuk Urea. *Jurnal Intergrasi Proses*, 9(2), 27-33.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36055/jip.v9i2.9221>
- Masri, Z., Wilhm, J., Underwood, C. C., Bancroft, N. T., & Eccleton, J. (2019). Flavonol polymer technology for encapsulation of liquidphosphorus fertilizers for enabling a slow-release process in soil to extend usability and reduce leaching. *Communications in Soil Science and Plant*, 50(7), 1-16.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1581796>
- Mun'im, A., Yunita, Nursaskiawati, M. A., & Lestari, W. P. (2024, Oktober 9). Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2020-2024. Retrieved from Badan Pusat Statistik: <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/10/09/7290b829d2eaa972e4968d19/produkt-domestik-bruto-indonesia-triwulanan-2020-2024.html>
- Nanda, E., Mardiana, S., & Pane, E. (2017). Pengaruh Pemberian Berbagai Konsentrasi Pupuk Organik Cair Urine Kambing Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *Journal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 1(1), 24-37.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31289/agr.v1i1.1100>
- Reviana, I. D.S & Lukman, N. (2022). Kinetika Slow Released Pupuk Urea Terenkapsulasi dalam Alginate. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(3), 421-427.
<https://doi.org/10.35965/eco.v22i3>
- Sousa, A. M., Souza, H. K., Uknalis, J., Liu, S.-C., Gonçalves, M. P., & Liu, L. (2015). Electrospinning of agar/PVA aqueous solutions and its relation with rheological properties. *Carbohydrate Polymers* Vol 115, 115(22), 348-355.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.074>
- Xie, L., Jiang, M., Dong, X., & Bai, X. (2012). Controlled mechanical and swelling properties of poly(vinyl alcohol)/sodium alginate blend hydrogels prepared by freeze-thaw followed by Ca²⁺ crosslinking. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(1), 823-831.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/app.35083>