

SINTESIS DAN KARAKTERISASI UREA *SLOW RELEASE FERTILIZER* (SRF) DENGAN MATRIKS KITOSAN TERMODIFIKASI PVA/CaCO₃

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF UREA *SLOW RELEASE FERTILIZER* (SRF) WITH CHITOSAN MODIFIED BY PVA/CaCO₃ MATRIX

*Yasfin Shafa Nurulisia dan Sari Edi Cahyaningrum**

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

**Corresponding author, tel/fax: 0812-3290484, email: saricahyaningrum@unesa.ac.id*

Abstrak. Pupuk urea merupakan pupuk yang sering digunakan dalam sektor pertanian karena memiliki kelebihan yaitu memiliki kadar nitrogen yang tinggi ($\pm 46\%$). Namun, hanya 30-40% kadar nitrogen yang berhasil diserap oleh tanaman dimana sisanya terlepas ke lingkungan. Oleh karena itu, pembuatan SRF merupakan solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk urea. Pada penelitian ini urea SRF telah berhasil disintesis melalui metode casting dimana pupuk urea dengan konsentrasi 0, 1000, 2000 dan 3000 ppm dilapisi dengan membran kitosan yang termodifikasi oleh PVA/CaCO₃. Selain sintesis, urea SRF juga dikarakterisasi melalui uji swelling, uji porositas dan uji release urea. Hasil yang diperoleh untuk uji swelling dan porositas adalah semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan maka derajat swelling dan %porositas yang dihasilkan semakin menurun. Sedangkan hasil uji release urea menunjukkan semakin tinggi konsentrasi urea yang ada pada urea SRF, menyebabkan laju pelepasan urea meningkat sehingga %release urea yang dihasilkan semakin besar.

Kata kunci : Membran, Urea, SRF, Kitosan

Abstract. Urea fertilizer is widely used in the agricultural due to its high content of nitrogen ($\pm 46\%$). However, only 30-40% of nitrogen that is effectively absorbed by plants, while the remainder is lost to the environment. Therefore, the development of SRF offers a potential solution to improve the efficiency utilization of urea fertilizer. In this study, urea based SRF was successfully synthesized using the casting method which is the urea with concentration of 0, 1000, 2000 and 3000 ppm was coated with chitosan which modified by PVA/CaCO₃. In addition to synthesis, the urea SRF was also characterized through swelling and porosity test showed that the higher the concentration of urea that added, the lower of swelling degree and %porosity of the urea SRF. Meanwhile, the result of the urea release test indicated that when the urea concentration increased led to a higher urea release rate, resulting in a greater percentage of urea release.

Keywords: Membrane, Urea, SRF, Chitosan

PENDAHULUAN

Pupuk urea merupakan salah satu jenis pupuk yang sering digunakan dalam sektor pertanian di Indonesia. Hal tersebut terjadi karena pupuk urea memiliki kelebihan antara lain kandungan nitrogen yang tinggi, harga yang murah dan proses pengaplikasian pada tanaman

yang mudah dan fleksibel [1]. Pemberian pupuk urea dengan dosis yang tepat mampu mempercepat proses pertumbuhan seperti akar, batang dan daun tanaman [2], [3]. Akan tetapi, pupuk urea juga memiliki kelemahan seperti sifatnya yang higroskopis menyebabkan urea mudah larut dan terbawa oleh air. Hal tersebut

menyebabkan penurunan efisiensi dari pupuk urea karena hanya 30-40% kandungan nitrogen yang berhasil diserap oleh tanaman dan sisanya terlepas ke lingkungan [4], [5]. Selain itu, adanya proses denitrifikasi, evaporasi dan *leaching* juga menjadi penyebab menurunnya efisiensi dari pupuk urea [6]. Oleh karena itu, salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dari pupuk urea adalah dengan pembuatan *Slow Release Fertilizer* (SRF).

SRF merupakan pupuk yang memiliki kemampuan untuk melepaskan unsur hara yang terkandung didalamnya dengan perlahan atau terkontrol sehingga keberadaan unsur hara tersebut tetap ada dalam jangka waktu yang lama dengan mengurangi hidrofilitas dari pupuk urea [7]. Pada penelitian ini, SRF dibuat dalam bentuk membran karena memiliki kelebihan seperti mampu mengatur pelepasan urea secara difusi yang bergantung pada ketebalan dari membran pelapis, memiliki luas penampang yang luas sehingga mudah dijangkau akar tanaman dan proses pelapisannya didasarkan atas interaksi antara polimer penyusun membran dengan urea [6], [7], [8], [9].

Polimer alami lebih dianjurkan untuk menjadi matriks dari SRF karena sifatnya yang tidak beracun, *biodegradable* dan *biocompatible* sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan seperti kitosan [2], [4]. Kitosan memiliki gugus aktif berupa gugus amina yang mampu membentuk ikatan silang dengan senyawa lain [10], [11]. Penelitian Karbeka et al [12] menunjukkan bahwa urea yang dilapisi dengan matriks kitosan memiliki derajat swelling yang rendah dibanding dengan matriks kitosan termodifikasi. Selain itu, kitosan memiliki kelarutan dalam air yang rendah sehingga diperlukan polimer lain untuk meningkatkan sifat dari kitosan tersebut [4].

Modifikasi kitosan dengan PVA mampu meningkatkan daya serap air dari kitosan serta meningkatkan kekuatan dari membran yang dihasilkan sehingga membran yang dihasilkan tidak mudah rapuh dan patah [13], [14]. PVA merupakan polimer hidrofilik yang memiliki sifat *biodegradable* dan memiliki gugus aktif berupa gugus hidroksil yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus amina kitosan sehingga hidrofilitas membran kitosan dapat meningkat [14], [15]. Namun, menurut Ambarwati et al [16] hidrofilitas membran berpengaruh pada stabilitas membran dan laju pelepasan unsur hara yang

dilapisi oleh membran. Oleh karena itu penambahan Kalsium Karbonat (CaCO_3) berfungsi untuk meningkatkan kestabilan dan mengatur hidrofilitas membran yang dihasilkan [17].

CaCO_3 adalah mineral anorganik yang memiliki kestabilan yang tinggi sehingga mampu memperkuat ikatan membran [18]. Penelitian Stanley et al [17] menjelaskan bahwa penambahan CaCO_3 pada matriks PVA/Alginat dapat menghasilkan efisiensi enkapsulasi dengan pelepasan urea yang lambat pada tanah. CaCO_3 menyumbangkan ion Ca^{2+} yang mampu meningkatkan kekuatan struktur membran karena dapat membentuk kompleks dengan kitosan [6], [19].

Pada penelitian ini akan disintesis urea SRF dengan matriks kitosan yang dimodifikasi dengan PVA dan CaCO_3 dengan variasi konsentrasi urea 1000, 2000 dan 3000 ppm dan dilanjut dengan karakterisasi membran urea SRF yang dihasilkan melalui uji *swelling* dan porositas serta uji *release* urea.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: Kitosan (DD 87%), Asam Asetat Glisial 1% (v/v), Poli Vinil Alkohol (PVA), Kalsium Karbonat (CaCO_3) (*food grade*), Aquadest, Urea Konvensional (N=46%), NaOH 1M (Mr=40), p-DMAB, HCl 37%.

Alat

Beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometer UV-Vis, *Mitotuyo Thickness Gauge*, *magnetic stirrer*, oven, neraca analitik *OHAUS*, cawan petri, sonikator, gelas kimia, labu ukur, batang pengaduk kaca, spatula besi, botol vial kaca.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Larutan Urea SRF

Larutan kitosan 1% (1 gram kitosan dalam 100 mL asam asetat glisial) dicampurkan dengan larutan PVA 1% (1 gram PVA dalam 100 mL aquadest) dengan perbandingan volume 2:1 menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 300 rpm selama ± 24 jam hingga homogen. Setelah homogen, larutan kitosan/PVA disonikasi selama ± 20 menit dengan suhu 60°C . Kemudian,

diambil 100 mL larutan kitosan/PVA dan ditambahkan dengan serbuk CaCO_3 sebanyak ± 0.01 gram. Dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 30°C selama ± 2 jam. Jika sudah homogen, disonikasi dengan suhu 30°C selama ± 15 menit. Langkah selanjutnya ditambahkan urea dengan variasi (1000, 2000 dan 3000) ppm. Dihasilkan larutan membran kitosan/PVA/ CaCO_3 /Urea.

Sintesis Urea SRF

Sebanyak 10 mL larutan membran (kitosan/PVA/ CaCO_3 /Urea) dituang ke cawan petri dengan diameter 6 cm. Kemudian dioven dengan suhu 65°C hingga membran kering. Setelah kering, membran direndam dengan larutan NaOH 1M agar dapat terlepas dari cetakan. Langkah selanjutnya membran dicuci dengan aquadest sampai pH netral. Berikut tabel komposisi dari urea SRF.

Tabel 1. Komposisi Urea SRF

Bahan	Formulasi 10 mL			
	U0	U1	U2	U3
Urea (ppm)	0	1000	2000	3000
Kitosan 1% (mL)	6,67	6,67	6,67	6,67
PVA 1% (mL)	3,33	3,33	3,33	3,33
CaCO_3 (gram)	0,001	0,001	0,001	0,001

Uji Swelling Membran

Membran urea SRF dipotong dengan ukuran 1×1 cm kemudian ditimbang untuk memperoleh berat kering (W_k) lalu membran direndam ke dalam 10 mL aquadest selama ± 6 jam. Setelah itu, membran dikeringkan lalu ditimbang untuk memperoleh berat basah (W_b). Dihitung derajat *swelling* dengan rumus:

$$\text{Derajat Swelling (\%)} = \frac{W_b}{W_k} \times 100\%$$

Keterangan:

W_b = berat basah membran (gram)

W_k = berat kering membran (gram)

Uji Porositas Membran

Membran urea SRF dengan ukuran 1×1 cm direndam dalam aquadest selama ± 6 jam. Kemudian membran dikeringkan dan ditimbang untuk memperoleh berat basah (W_b). Setelah itu, membran dioven dengan suhu 100°C selama ± 6 jam dilanjutkan dengan membran ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering (W_k). Ketebalan dari membran juga diukur pada 5 titik lalu

dihitung rata-rata ketebalannya. % porositas membran dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Porositas} = \frac{W_b - W_k}{\rho \times a \times l} \times 100\%$$

Keterangan:

W_b = berat basah membran (gram)

W_k = berat kering membran (gram)

ρ = massa jenis air ($0,998 \text{ g/cm}^3$)

a = luas permukaan membran (cm^2)

l = tebal membran (mm)

Uji Release Urea

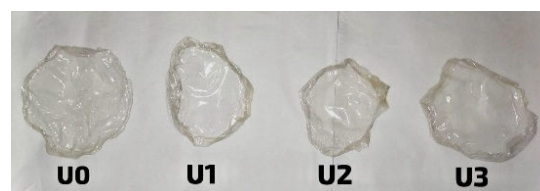
Setiap variasi membran urea SRF direndam dalam 100 mL air selama 40 hari kemudian setiap 2 hari sekali air rendaman diambil sebanyak 5 mL. Air rendaman tersebut ditambahkan dengan reagen *Ehrlich* sebanyak 0,2 mL sebagai pengompleks dari urea. Selanjutnya diuji kadar urea yang terlepas dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 417 nm. Perhitungan kadar urea yang terlepas didasarkan dengan persamaan regresi dari larutan standar urea.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Urea SRF

Urea SRF telah berhasil disintesis dengan metode *solvent casting* melalui proses pelapisan pupuk urea dengan matriks kitosan yang dimodifikasi dengan PVA dan CaCO_3 dengan komposisi yang tertera pada tabel 1. Metode *solvent casting* adalah metode pembuatan membran melalui proses pencampuran larutan penyusun membran dengan pengadukan mekanis yang konstan hingga homogen dimana setelah homogen larutan tersebut dituang ke dalam cetakan (*casting*) dan dikeringkan untuk menguapkan pelarutnya sehingga dihasilkan lapisan tipis berupa membran padat [20].

Pada penelitian ini dihasilkan 4 variasi urea SRF yaitu U_0 (urea 0 ppm), U_1 (urea 1000 ppm), U_2 (urea 2000 ppm) dan U_3 (urea 3000 ppm). Urea SRF yang dihasilkan berupa membran lembaran, tipis dan berbentuk bulat berwarna kekuningan yang dapat dilihat dari gambar 1.



Gambar 1. Membran Urea SRF

Derajat Swelling dan %Porositas Urea SRF

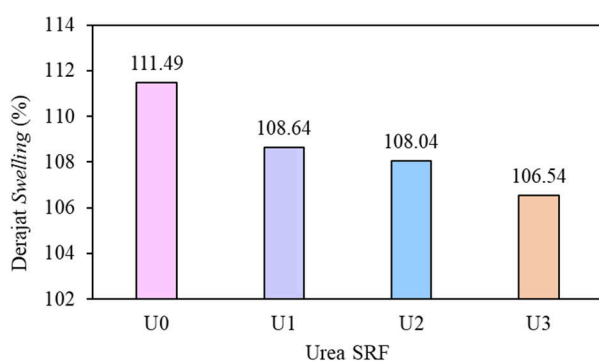
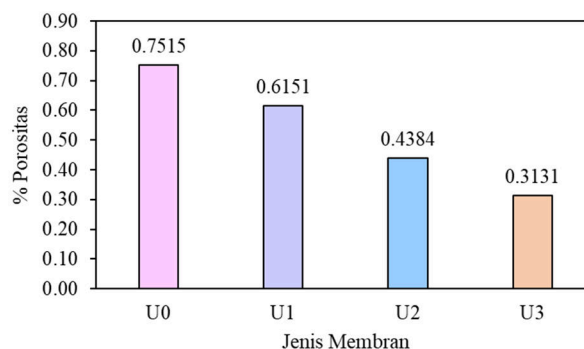
Derajat *swelling* menunjukkan kemampuan membran dalam menyerap air sedangkan %porositas menyatakan tentang jumlah pori yang terdapat pada membran [21].

Tabel 2. Derajat *swelling* dan %Porositas Urea SRF

Sampel	Derajat <i>Swelling</i> (%)	%Porositas
U0	111,49	0,7515
U1	108,64	0,6151
U2	108,04	0,4384
U3	106,54	0,3131

Berdasarkan data pada tabel 2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi variasi konsentrasi urea yang ditambahkan maka semakin rendah derajat *swelling* maupun %porositas yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan maka semakin mudah urea membentuk ikatan hidrogen dengan air, akibatnya interaksi yang terjadi antara matriks polimer penyusun membran dengan air semakin berkurang sehingga menghambat proses difusi air ke dalam membran yang menyebabkan derajat *swelling* semakin menurun [22].

Ditinjau dari %porositas yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan maka %porositas yang dihasilkan semakin rendah. Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan menyebabkan semakin banyak urea yang terperangkap pada pori sehingga menutupi sebagian pori yang dihasilkan [6]. Oleh karena itu, %porositas urea SRF menjadi menurun.

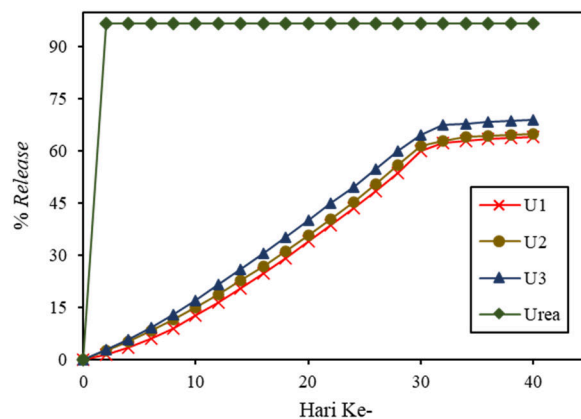
Gambar 2. Derajat *Swelling* Urea SRF

Gambar 3. Porositas Urea SRF

Berdasarkan gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa semakin banyak urea yang ditambahkan maka derajat *swelling* dan porositas akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian Chen et al [23] karena semakin banyak urea yang ditambahkan maka membran yang terbentuk akan semakin padat, menjadikan air sulit untuk masuk dan menembus membran.

Uji Release Urea

Uji *release* urea bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi urea yang ditambahkan terhadap kadar *release* urea yang dihasilkan. Berikut hasil uji *release* urea selama 40 hari pengamatan:

Gambar 4. Grafik *Release* Urea SRF

Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui bahwa membran urea SRF memiliki %*release* yang lebih rendah dibandingkan dengan pupuk urea biasa. Hal tersebut menunjukkan bahwa pelapisan urea dengan membran kitosan yang dimodifikasi dengan PVA/CaCO₃ mampu mengontrol laju pelepasan urea dengan perlahan hingga hari ke 40. Hasil % *release* dari membran urea SRF disajikan pada tabel dibawah:

Tabel 3. Kadar *release* (%) Urea SRF

Hari Ke-	Kadar <i>Release</i> (%)		
	U1	U2	U3
0	0,00	0,00	0,00
10	12,60	15,00	17,10
20	33,90	35,70	40,10
30	60,00	61,35	64,60
40	63,95	64,80	68,85

Kriteria SRF adalah memiliki kadar *release* kurang dari 75% pada hari ke 28 [24]. berdasarkan data pada tabel 3 dapat diketahui bahwa urea SRF yang disintesis telah memenuhi kriteria tersebut karena pada hari ke 40 hasil kadar *release* urea SRF variasi U1 sebesar 63.95%, U2 sebesar 64.80% dan U3 sebesar 68.85%.

Variasi penambahan konsentrasi urea juga berpengaruh pada kadar *release* yang dihasilkan dimana semakin tinggi variasi konsentrasi urea yang ditambahkan maka kadar *release* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal tersebut selaras dengan penelitian Hussain et al [25] dimana semakin banyak urea yang ditambahkan maka efisiensi enkapsulasi dari matriks pelapis urea akan semakin berkurang. Akibatnya, tidak semua urea masuk ke dalam membran dan hanya berada permukaan membran. Selain itu, konsentrasi urea yang tinggi dapat menyebabkan perbedaan gradien konsentrasi yang signifikan sehingga laju pelepasan urea juga semakin meningkat karena proses pelepasan urea yang menganut sistem difusi. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi urea yang ada pada membran menyebabkan laju pelepasan urea menjadi meningkat dibuktikan dengan kadar *release* urea yang semakin besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa urea SRF dengan variasi konsentrasi urea 1000, 2000 dan 3000 ppm telah berhasil disintesis dan dikarakteriasi dimana bentuk dari membran urea SRF adalah lembaran tipis dan berbentuk bulat berwarna kekuningan. Hasil karakterisasi membran urea SRF berdasarkan hasil uji *swelling* dan porositas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan maka derajat *swelling* dan %porositas yang dihasilkan semakin menurun. Berdasarkan hasil uji *release* urea, semakin tinggi

konsentrasi urea yang ditambahkan maka semakin besar kadar *release* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Swify, R. Mažeika, J. Baltrusaitis, D. Drapanauskaitė, and K. Barčauskaitė, "Review: Modified Urea Fertilizers and Their Effects on Improving Nitrogen Use Efficiency (NUE)," *Sustainability*, vol. 16, no. 1, pp. 1–20, 2024, doi: 10.3390/su16010188.
- [2] Jayanudin *et al.*, "Preparation of Chitosan Microspheres as Carrier Material to Controlled Release of Urea Fertilizer," *S Afr J Chem Eng*, vol. 38, pp. 70–77, 2021, doi: 10.1016/j.sajce.2021.08.005.
- [3] S. Saajan, R. Thakur, T. Sharma, and A. Kaur, "Effect of nitrogen on growth and yield of medicinal plants: A review paper," *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, vol. 07, no. 07, pp. 2771–2776, 2022, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/358284287>
- [4] X. Wang *et al.*, "Advances in controlled-release fertilizer encapsulated by organic-inorganic composite membranes," *Particuology*, vol. 84, pp. 236–248, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.partic.2023.06.019.
- [5] B. Beig, M. B. K. Niazi, Z. Jahan, A. Hussain, M. H. Zia, and M. T. Mehran, "Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: a review," *J Plant Nutr*, vol. 43, no. 10, pp. 1510–1533, 2020, doi: 10.1080/01904167.2020.1744647.
- [6] S. E. Cahyaningrum, R. A. Lusiana, and Taufik Abdillah Natsir, "Synthesis and characterization of Chitosan-Modified Membrane For Urea Slow-Release Fertilizers," *Heliyon*, vol. 10, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e34981.
- [7] M. E. A. El-Aziz, D. M. Salama, S. M. M. Morsi, A. M. Youssef, and M. El-Sakhawy, "Development of Polymer Composites and Encapsulation Technology for Slow-Release Fertilizers," *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 38, no. 5, pp. 603–616, 2022, doi: 10.1515/revce-2020-0044.

- [8] R. Sulistyono and D. Lestari, "Fertilizer Encapsulation to Support Food Security: Review," *Adv Biol Sci Res*, vol. 9, pp. 284–288, 2021.
- [9] A. R. Wijayanti and S. E. Cahyaningrum, "Effect of Urea Variation Concentration on Slow Release Fertilizer (SRF) Based Chitosan/NaTPP/Calcium," *Jurnal Pijar Mipa*, vol. 19, no. 5, pp. 893–897, 2024, doi: 10.29303/jpm.v19i5.7401.
- [10] C. Ardean *et al.*, "Factors Influencing The Antibacterial Activity of Chitosan and Chitosan Modified by Functionalization," *Int J Mol Sci*, vol. 22, no. 14, 2021, doi: 10.3390/ijms22147449.
- [11] R. A. Lusiana, P. W. Mariyono, H. Muhtar, S. E. Cahyaningrum, T. A. Natsir, and L. Efianti, "Environmentally friendly slow-release urea fertilizer based on modified chitosan membrane," *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 22, pp. 1–10, 2024, doi: 10.1016/j.enmm.2024.100996.
- [12] M. Karbeka, Z. A. Mautuka, D. Oktovina, and T. Lily, "Sintesis Pupuk Lepas Lambat Berbasis Kitosan-Biochar-Urea Sebagai Material Potensial Pelepasan Nitrogen," *Lantanida Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 113–123, 2024.
- [13] A. Than Htwe, H. Wutt Yee Htun, and D. Hla Ngwe, "Synthesis of Chitosan Based Poly Vinyl Alcohol Hydrogel for Loading with Controlled-Release Fertilizer," *Polymers and Polymer Composites*, vol. 16, no. 1, 2018.
- [14] D. fadia Zatalini, E. Hendradi, Philip Drake, and R. Sari, "The Effect of Chitosan and Polyvinyl Alcohol Combination on Physical Characteristics and Mechanical Properties of Chitosan-PVA-Aloe vera Film," *Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, vol. 10, no. 2, pp. 151–161, 2023, doi: 10.20473/jfiki.v10i22023.151-161.
- [15] P. T. Vo *et al.*, "The Nitrogen Slow-Release Fertilizer Based on Urea Incorporating Chitosan and Poly(Vinyl Alcohol) Blend," *Environ Technol Innov*, vol. 22, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101528.
- [16] S. A. Ambarwati, N. A. Hidayati, and H. P. Hutapea, "Sintesis Membran Kitosan/Poli Vinil Alkohol (PVA) Untuk Menurunkan Kadar Limbah Pewarna Tekstil," *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, vol. 7, no. 1, pp. 75–79, 2024, doi: 10.31602/dl.v7i1.14360.
- [17] N. Stanley and B. Mahanty, "Preparation and Characterization of Biogenic CaCO₃-reinforced Polyvinyl alcohol-Alginate Hydrogel as Controlled-Release Urea Formulation," *Polymer Bulletin*, vol. 77, no. 2, pp. 529–540, 2020, doi: 10.1007/s00289-019-02763-6.
- [18] Y. Q. Niu *et al.*, "Calcium Carbonate: Controlled Synthesis, Surface Functionalization, and Nanostructured Materials," *Chem Soc Rev*, vol. 51, no. 18, pp. 7883–7943, 2022, doi: 10.1039/d1cs00519g.
- [19] B. Liu, J. Zhang, and H. Guo, "Research Progress of Polyvinyl Alcohol Water-Resistant Film Materials," *Membranes (Basel)*, vol. 12, no. 3, pp. 1–13, 2022, doi: 10.3390/membranes12030347.
- [20] I. Kong, K. Y. Tshai, and M. E. Hoque, "Manufacturing of Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites by Solvent Casting Method," *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, pp. 331–349, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-07944-8_16.
- [21] R. A. Lusiana, K. Khabibi, R. Nuryanto, and M. R. S. Al Aziz, "Development and Characterization of a Chitosan and Polyvinyl Alcohol (CS/PVP)-Based Slow-Release Urea Fertilizer Membrane," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 27, no. 10, pp. 470–476, 2024, doi: 10.14710/jksa.27.10.470-476.
- [22] D. Lawrencina *et al.*, "Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release," *Plants*, vol. 10, no. 2, pp. 1–26, 2021, doi: 10.3390/plants10020238.
- [23] S. Chen *et al.*, "Hydrophobically Modified Water-Based Polymer for Slow-Release Urea Formulation," *Prog Org Coat*, vol. 149, pp. 1–10, 2020.
- [24] S. Jiang *et al.*, "Preparation and Characterization of Slow-Release Fertilizer Through Coating Acrylate Epoxidized Soybean Oil," *Environ Technol Innov*, vol. 34, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1016/j.eti.2024.103626.

- [25] M. R. Hussain, R. R. Devi, and T. K. Maji, "Controlled Release of Urea from Chitosan Microspheres Prepared by Emulsification and Cross-linking Method," *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, vol. 21, no. 8, pp. 473–479, 2012, doi: 10.1007/s13726-012-0051-0.