

PENGGUNAAN KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA)-KALSIUM KARBONAT SEBAGAI MATRIKS UREA *SLOW-RELEASE FERTILIZER* (SRF)

USING OF CHITOSAN-POLYVINYL ALCOHOL (PVA)-CALCIUM CARBONATE AS MATRIX FOR UREA *SLOW-RELEASE FERTILIZER* (SRF)

Nanda Onky Stefani 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, email: saricahyaningrum@unesa.ac.id

Abstrak. *Slow-release fertilizer merupakan cara untuk meningkatkan efisiensi penyerapan pupuk, khususnya urea yang diperlukan tanaman pada fase awal pertumbuhan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan karakterisasi slow-release fertilizer (SRF) urea termodifikasi kitosan-Polivinil Alkohol (PVA) dengan variasi konsentrasi kalsium karbonat. SRF urea dibuat dalam bentuk membran. SRF urea dikarakterisasi dengan cara uji swelling dan porositas, serta uji pelepasan urea selama 30 hari menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kalsium karbonat mempengaruhi karakteristik SRF urea dan laju pelepasan urea. Formulasi SRF urea C1 memiliki karakteristik optimal dengan swelling sebesar 202,5% dan porositas sebesar 15,56% menunjukkan bahwa SRF urea C1 mampu menahan laju difusi air. SRF urea C1 memberikan pelepasan urea sebesar 72% selama 30 hari diantara SRF urea C2 dan C3 namun tetap terkendali sehingga lebih sesuai terhadap karakteristik nya sebagai slow-release fertilizer. Dengan demikian, konsentrasi kalsium karbonat sebesar 0,01% dinilai optimal untuk menghasilkan pelepasan urea yang tinggi namun terkendali dalam aplikasi pupuk berbasis slow-release fertilizer urea.*

Kata kunci: *Slow-release fertilizer, urea kalsium karbonat, matriks kitosan-PVA*

Abstract. *Slow-release fertilizer (SRF) is a method used to improve the efficiency of nutrient absorption, particularly urea, which is essential for plants during the early growth stages. This study aims to develop and characterize SRF urea modified with chitosan–polyvinyl alcohol (PVA) incorporating various concentrations of calcium carbonate. The SRF urea was prepared in membrane form and characterized through swelling and porosity tests, as well as urea release analysis over 30 days using UV-Vis spectrophotometry. The results showed that increasing calcium carbonate concentration affected the SRF's physical properties and urea release rate. The SRF urea formulation labeled C1 exhibited optimal characteristics, with a swelling capacity of 202,5% and porosity of 15,6%, indicating its ability to regulate water diffusion effectively. SRF urea C1 released 72% of its urea content over 30 days, which was higher than that of formulations C2 and C3, yet still maintained controlled-release behavior. Therefore, a calcium carbonate concentration of 0.01% is considered optimal for producing an SRF urea formulation with both high and controlled urea release, suitable for application as a chitosan–PVA-based slow-release fertilizer.*

Key words: *Slow-release fertilizer, urea, calcium carbonate, chitosan-PVA matrix*

PENDAHULUAN

Pupuk berperan penting dalam meningkatkan hasil dan kualitas pertanian [1].

Pupuk urea diperlukan untuk merangsang pertumbuhan daun tanaman menjadi lebih rimbun, hijau dan segar [2]. Unsur hara yang diperlukan oleh tanaman pada masa pertumbuhan dan

perkembangan adalah nitrogen [3]. Pupuk urea memiliki kandungan nitrogen tertinggi dibandingkan jenis pupuk nitrogen lainnya sebanyak 46% [4]. Nitrogen pada pupuk urea diperlukan tanaman selama masa pertumbuhan vegetatif tanaman seperti pembelahan, pemanjangan, dan diferensiasi sel, serta pertambahan jumlah dan ukuran daun [5].

Pupuk urea dapat memenuhi kebutuhan nitrogen di awal masa pertumbuhan namun memiliki efisiensi penggunaan yang rendah [6]. Pupuk urea sangat mudah larut dalam air (higroskopis) sehingga terjadi pelepasan unsur nitrogen dalam waktu singkat. Tanaman hanya dapat menyerap sebesar 30-35% nitrogen dari pupuk urea [7]. Rendahnya efektivitas penyerapan nitrogen oleh tanaman menyebabkan kerugian pada biaya produksi dan permasalahan lingkungan [6]. Beberapa peneliti telah mengembangkan metode lain untuk meningkatkan efektivitas penyerapan pupuk terhadap tanaman salah satunya adalah *slow-release fertilizer*.

Slow-release fertilizer memiliki kemampuan untuk memperlambat pelepasan unsur hara ke dalam tanah sehingga lebih optimal dalam menyediakan nutrisi pada jangka waktu yang optimal selama masa pertumbuhan tanaman. Metode *slow-release fertilizer* yang banyak dikembangkan oleh peneliti yakni dengan cara melapisi pupuk menggunakan material tertentu untuk menghambat pelepasan unsur hara secara signifikan dalam waktu singkat [7].

Metode pelapisan *slow-release urea fertilizer* secara umum menggunakan matriks berbasis polimer [8]. Polimer mampu mengurangi tingkat difusi nitrogen akibat daya kelarutan yang tinggi oleh urea. Polimer yang bersifat ramah lingkungan lebih banyak dikembangkan karena kemampuannya untuk terdegradasi secara hayati dan tidak merusak ekosistem mikroorganisme tanah [9]. Dalam penelitian Beig menyatakan bahwa polimer semi hidrofilik (antara hidrofilik dan hidrofobik) merupakan material yang sesuai untuk menghambat *release* urea [10]. Berbagai jenis polimer yang telah dikembangkan sebagai matriks pelapis pupuk seperti polimer *biodegradable* poliuretan dan polistiren [6], ada juga material biopolimer seperti asam polilaktat, kitosan dan pati [11].

Kitosan merupakan biopolimer yang dapat terurai secara hayati, tidak beracun, dan bersifat hidrofilik. Kitosan mudah dimodifikasi menjadi bentuk membran dan dapat bereaksi dengan

senyawa lain melalui gugus hidroksil (-OH) dan amina (-NH₂). Kitosan memerlukan agen pengikat silang untuk meningkatkan stabilitas mekanik secara fisika sebagai material pelapis urea. PVA dapat meningkatkan hidrofilisitas dan porositas SRF urea, serta membentuk porogen membran kitosan [6]. Pada penelitian ini diperlukan material untuk menurunkan pelepasan urea dengan cara pengikatan secara kimia dari dalam strukturnya yakni menggunakan ion Ca²⁺ yang berasal dari kalsium karbonat. Kalsium karbonat merupakan material anorganik yang sering digunakan sebagai bahan pengisi yang dapat memperkuat ikatan kimia [12]. Efisiensi *slow-release urea fertilizer* berbahan dasar kitosan-PVA-CaCO₃ dapat ditingkatkan dengan modifikasi bentuk membran.

SRF urea berbahan dasar kitosan-PVA-CaCO₃ diharapkan dapat memperlambat *pelepasan* urea serta dapat memberikan nutrisi dalam jangka waktu yang lebih lama. Penelitian ini mengarah pada pengaruh konsentrasi kalsium karbonat terhadap kemampuan *pelepasan* urea pada membran *slow-release urea fertilizer* termodifikasi kitosan-PVA-CaCO₃.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini: Kitosan *flakes* DD 87%, PVA 1% (b/v), CaCO₃, Pupuk urea (N 46%), asam asetat glasial 98%, *para*-Dimethylaminobenzaldehyde (p-DMAB), HCl 37%, NaOH 1M, akuades.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: gelas kimia 100 mL, gelas kimia 250 mL, pipet tetes, bulb pipet, pipette ukur 10 mL, pipette ukur 5 mL, gelas ukur 10 mL, gelas ukur 25 mL, labu ukur 100, spatula, neraca analitik O-Hauss, *magnetic stirrer* (DLAB MS7-H550-Pro), *Thickness Meter* (Mitutoyo) sonikator, spatula, batang pengaduk, cawan petri diameter 6 cm, botol vial 10 mL, aluminium foil, oven, pH meter, Spektrofotometer UV-VIS.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Larutan Kitosan 1% (b/v)-PVA 1% (b/v) (Kitosan-PVA)

Kitosan *flakes* DD 87% ditimbang sebanyak 1 gram, dilarutkan pada 100 mL asam asetat glasial 1%. Dihomogenkan menggunakan *magnetic*

stirrer selama ± 2 jam pada suhu ruang dengan kecepatan 1000 rpm [7]. PVA 1% (m/v) dibuat dengan cara mula-mula ditimbang sebanyak 1 gram, dilarutkan pada 100 mL akuades yang telah dipanaskan hingga suhu mencapai 60°C dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama ± 2 jam [13]. Kedua larutan dicampurkan dengan perbandingan (2:1) (v/v) dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan 400 rpm selama 24 jam untuk memperoleh larutan campuran kitosan-PVA. Larutan campuran disonikasi pada suhu 60°C selama 15 menit untuk menghilangkan gelembung udara yang terbentuk selama proses homogenisasi [7].

Pembuatan SRF Urea Termodifikasi Kitosan-PVA- CaCO_3

SRF Urea dibuat dengan cara diambil sebanyak 100 mL larutan campuran (kitosan (2): PVA (1)) (v/v) ditambahkan CaCO_3 dengan variasi; C0 (tanpa CaCO_3), C1 0,01% CaCO_3 (m/v), C2 0,05% CaCO_3 (m/v), dan C3 0,1% CaCO_3 (m/v). Dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm, suhu 30°C , selama ± 2 jam. Disonikasi pada suhu 30°C selama 15 menit. Urea sebanyak 0,2 gram dimasukkan ke dalam larutan campuran 100 mL, kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm dan tanpa suhu selama ± 2 jam. Pembuatan SRF Urea menggunakan metode blend [14]. Larutan campuran kitosan-PVA- CaCO_3 -urea diambil sebanyak 10 mL, kemudian dicetak menjadi membran menggunakan cawan petri diameter 6 cm. Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama ± 8 jam. Membran direndam pada larutan NaOH 1M untuk melepas membran dari cetakan, dicuci menggunakan akuades untuk menetralkan membran, dan terakhir dikeringkan pada suhu ruang [7]. Dihasilkan SRF urea yang berbentuk lembaran tipis dan transparan variasi C0, C1, C2 dan C3.

Karakterisasi Membran

Uji Swelling

Uji *Swelling* dilakukan dengan cara setiap variasi SRF yang dipilih secara acak dipotong terlebih dahulu dengan luas masing-masing SRF urea per variasi sebesar 1 cm^2 . Setiap variasi diuji secara triplo atau 3x pengulangan untuk mendapat hasil yang akurat. SRF urea ditimbang

menggunakan neraca analitik OHAUS untuk mendapatkan massa awal membran sebelum mengalami *swelling*. Direndam selama 6 jam pada suhu kamar dalam cawan petri berisi 10 mL akuades. SRF urea diangkat, lalu di lap untuk mengurangi kadar molekul air yang masih menempel dipermukaan membran. Membran di ukur massanya menggunakan neraca analitik OHAUS untuk mengetahui massa membran setelah mengalami *swelling*. Penentuan derajat *swelling* membran:

$$\text{Swelling\%} = \frac{W_a}{W_b} \times 100\%$$

* W_b merupakan berat membran setelah mengalami pembengkakan setelah direndam 6 jam (gram), W_a merupakan berat membran sebelum mengalami pembengkakan (gram) [13].

Uji Porositas

Uji porositas dilakukan dengan cara setiap variasi SRF urea dipilih secara acak. SRF urea dipotong terlebih dahulu dengan luas masing-masing membran per variasi sebesar 1 cm^2 . Diukur ketebalan SRF urea tiap variasi dan pengulangannya. Ditimbang menggunakan neraca analitik OHAUS untuk mendapatkan massa awal membran sebelum mengalami pengembangan membran. Direndam selama 6 jam pada suhu kamar dalam cawan petri berisi 10 mL akuades. Kemudian, membran diangkat lalu di lap agar tidak terlalu basah [16]. Kemudian, membran basah di ukur massanya dan dicatat sebagai berat basah. Kemudian, membran di oven pada suhu 100°C selama 24 jam. Setelah membran dikeringkan, ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mendapat massa kering, dihitung massanya hingga mendapat massa konstan. Pengukuran persentase porositas membran:

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{A \cdot h \cdot \rho_{\text{air}}} \times 100\%$$

* W_0 : massa membran basah (gram), W_1 : massa membran setelah dikeringkan (gram), A: luas permukaan membran (cm^2), h: ketebalan membran (cm), ρ_{air} : massa jenis air ($0,998\text{ g.m}^{-3}$) [7].

Uji Pelepasan Urea

Uji *pelepasan* urea pada sampel SRF urea dilakukan menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. Spektrofotometri UV-VIS digunakan untuk mengukur absorbansi pada panjang gelombang 415,5 nm. Kurva standar untuk urea dibuat dengan konsentrasi 100, 300, 500, 700, 900, 1000 ppm untuk menilai *pelepasan* urea. Pada kurva tersebut

nilai R^2 yang didapat sebesar 0,99520. Pengamatan dilakukan selama 40 hari. Dimasukkan satu SRF urea masing-masing variasi secara acak ke dalam akuades berisi 100 mL. Kemudian, diambil akuadest perendaman SRF urea setiap hari berturut turut hingga hari ke-40. Pada masing-masing variasi membran dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Air rendaman SRF setiap hari diambil sebanyak 15 mL per variasi (untuk 3 kali pengulangan). Air rendaman SRF urea diletakkan dalam botol vial gelap masing-masing berisi sebanyak 5 mL. Setiap 5 mL air rendaman SRF direaksikan dengan 0,2 mL reagen erlich menggunakan mikropipet, lalu ditunggu ± 1 jam dan diujikan pada instrumen UV-VIS dengan panjang gelombang 415,5 nm. Absorbansi di plot terhadap konsentrasi dan diperoleh kurva linier mengikuti hukum *Lambert-Beer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan SRF Urea Termodifikasi Kitosan-PVA- CaCO_3

SRF urea pada penelitian ini dibuat dengan menggabungkan kitosan sebagai bahan pembentuk membran yang ditaut silang menggunakan PVA dan dipengaruhi dengan konsentrasi kalsium karbonat. Modifikasi kalsium karbonat dapat mempengaruhi karakteristik sekaligus pelepasan urea pada SRF akibat interaksi kimia antar komponen dalam matriks. Interaksi kimia yang terjadi yakni interaksi hidrogen dan interaksi elektrostatis. Interaksi hidrogen terjadi diantara gugus $-\text{NH}$ dari kitosan berikatan dengan gugus $-\text{OH}$ dari PVA. Modifikasi ini juga terjadi interaksi elektrostatis yang memiliki ion Ca^{2+} sebagai bahan yang menguatkan struktur ikatan membran dengan cara membentuk interaksi elektrostatis antara ion Ca^{2+} dari kalsium karbonat dengan gugus $-\text{OH}$ dari kitosan.

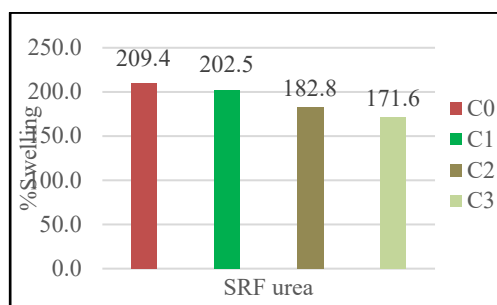
Karakterisasi Membran

Uji *Swelling*

Swelling dinyatakan sebagai daya serap air oleh membran. Berdasarkan data Gambar 1 diperoleh hasil *swelling* yang semakin turun seiring bertambahnya konsentrasi kalsium karbonat yang dipengaruhi oleh adanya penguatan ikatan ion Ca^{2+} dalam struktur SRF urea yang berinteraksi terhadap $-\text{OH}$ kitosan sehingga dapat membatasi kemampuan SRF urea untuk menyerap air [17]. Dibuktikan dengan SRF urea C1, C2, dan C3 yang semakin turun sehingga disimpulkan bahwa semakin banyaknya interaksi elektrostatis yang terjadi maka semakin lemah penyerapan air pada SRF urea. Penambahan kalsium karbonat secara optimal mampu menurunkan %*swelling* SRF. Berdasarkan data Tabel 1 menunjukkan bahwa *swelling* SRF dipengaruhi oleh konsentrasi karbonat. SRF C0 menghasilkan %*swelling* paling tinggi yakni sebesar 209,4% karena tidak ada material penguat ikatan yang dapat menghalangi daya serap air. Permukaan SRF urea semakin hidrofobik dipengaruhi oleh konsentrasi kalsium karbonat [7]. Sedangkan pada SRF urea C1, C2, dan C3 memiliki %*swelling* berturut-turut 202,5%, 182,8%, 171,6%. Nilai *swelling* yang tinggi pada SRF urea disebabkan oleh matriks kitosan dan PVA yang memiliki gugus $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}_2$ yang mudah berikatan terhadap molekul air sehingga memiliki sifat hidrofilik. Sedangkan kalsium karbonat bersifat hidrofobik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa %*swelling* semakin menurun akibat peningkatan hidrofobisitas SRF urea. Berikut hasil uji *swelling* yang disajikan dalam bentuk tabel data dan grafik:

Tabel 1. *Swelling* SRF Urea

SRF Urea	% <i>Swelling</i>
C0	209,4
C1	202,5
C2	182,8
C3	171,6



Gambar 1. *Swelling* SRF Urea

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Tabel 1 dan Gambar 1 menjelaskan bahwa diantara SRF urea C1, C2, dan C3 yang memiliki %swelling yang optimal adalah SRF urea C1 dengan kemampuan swelling sebesar 202, 5% yang menandakan bahwa pada matriks terbentuk ikatan intramolekuler hidrogen antara gugus OH atau NH₂ berinteraksi dengan molekul air.

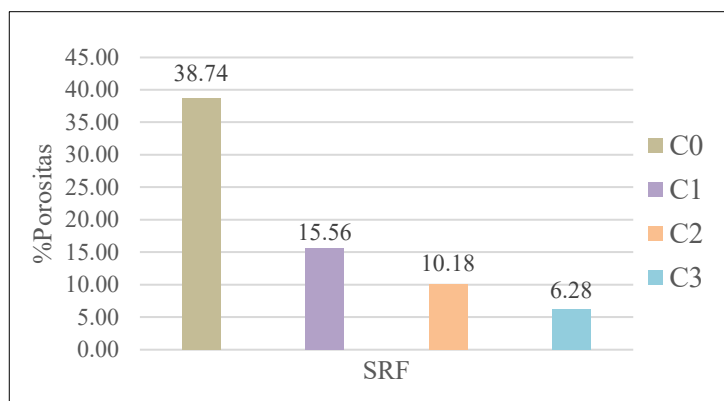
Uji Porositas

Porositas mengindikasikan jumlah ruang kosong (pori) dalam SRF. Semakin banyak pori yang ada membuktikan semakin tinggi porositas SRF. Porositas SRF dapat dipengaruhi oleh bahan aditif seperti PVA yang dapat berperan sebagai agen pembentuk pori dalam matriks SRF urea. Namun, SRF yang memiliki pori apabila ditambahkan bahan pengisi seperti kalsium karbonat mampu menghambat laju difusi molekul air untuk melewati pori SRF. Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan %porositas seiring dengan

peningkatan konsentrasi kalsium karbonat dikarenakan memiliki struktur yang lebih rapat sehingga kemampuan air untuk masuk ke dalam SRF urea semakin kecil. Perbedaan hasil %porositas masing-masing SRF C0 (38,74%), C1 (15,56%), C2 (10,18%) dan C3 (6,28%) disebabkan oleh struktur SRF urea yang lebih rapat karena terdapat kalsium karbonat yang lebih banyak menutupi permukaan serta menghalangi jalan masuknya air. Peningkatan konsentrasi kalsium karbonat pada SRF urea menurunkan difusi molekul air [18]. Berikut tabel data dan grafik hasil uji porositas:

Tabel 2. Porositas SRF Urea

SRF Urea	%porositas
C0	38,7
C1	15,6
C2	10,2
C3	6,3



Gambar 2. Porositas SRF Urea

Uji Pelepasan Urea

Hasil pelepasan urea dalam air dalam waktu 30 hari menggunakan instrumen UV-VIS

yang dilakukan untuk mengetahui pelepasan SRF. Berikut disajikan tabel dan grafik %pelepasan urea pada SRF urea:

Tabel 3. Hasil Uji Pelepasan Urea

Pelepasan Urea (%)	SRF urea	Hari Ke-			
		0	10	20	30
	C0	0	14,43	41,06	74,24
	C1	0	13,34	37,70	72
	C2	0	12,95	38,77	70,95
	C3	0	10,15	34,54	64,50

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pelepasan urea yang terjadi selama 30 hari pada SRF urea C0 sebesar

74,24%, SRF urea C1 sebesar 72%, SRF urea C2 sebesar 70,95%, dan SRF urea C3 sebesar 64,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pelepasan

urea yang paling optimal pada SRF urea C1 dibandingkan dengan SRF urea C2 dan C3 yang lebih lambat. walaupun diinginkan sistem pelepasan yang lambat namun tetap dibutuhkan sistem yang optimal.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa SRF urea berbahan dasar kitosan-PVA yang dipengaruhi oleh konsentrasi kalsium karbonat. Peningkatan kalsium karbonat berdampak signifikan terhadap karakteristik SRF urea seperti porositas dan daya mengembang (swelling), yang selanjutnya memengaruhi laju pelepasan urea. Formulasi C1, dengan konsentrasi kalsium karbonat 0,01%, menunjukkan pelepasan urea yang paling optimal, didukung oleh nilai porositas sebesar 15,6% dan swelling sebesar 202,5%. Karakteristik ini memungkinkan difusi urea yang lebih efisien melalui matriks SRF. Mekanisme ini dikaitkan dengan interaksi elektrostatik antara kalsium karbonat dan matriks polimer, yang memengaruhi jalur difusi. Dengan demikian, SRF urea C1 dapat dikategorikan sebagai formulasi paling efektif karena mampu memberikan pelepasan urea yang tinggi namun tetap terkendali, sesuai dengan konsep pupuk lepas lambat berbasis kitosan-PVA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Hou, et al., "High-Strength, High-Water-Retention Hemicellulose-Based Hydrogel and Its Application in Urea Slow Release," *International Journal of Molecular Science*, 24(11), p. 9208, 2023.
- [2] A. S. Gorung, J. J. Rondonuwu & T. Titah, "Pengaruh Pemberian Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor* L) Pada Tanah Sawah Di Desa Ranoketang Atas," *Soil Environmental*, 22(1), pp. 12-16 2022.
- [3] M. Fan, et al., "Effects of Combined Application of Slow-Release Nitrogen Fertilizer and Urea on Nitrogen Uptake, Utilization and Yield of Maize Under Two Tillage Methods," *Scientific Reports*, 15(5007), 2025.
- [4] M. Shahzamani, et al., "Preparation and characterization of hydrogel nanocomposite based on nanocellulose and acrylic acid in the presence of urea," *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 147, pp. 187-193, 2020.
- [5] R. Susanti, Rugayah, S. Widagdo, & D. H. Pangaribuan, "Pengaruh Dosis Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*)," *Jurnal Agrotek tropika*, 9(1), pp. 137-144, 2020.
- [6] R. A. Lusiana, Khabibi, R. Nuryanto, & 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*, 27(10), pp. 470-476, 2024.
- [7] R. A., Lusiana, et al., "Environmentally Friendly Slow-Release Urea Fertilizer Based on Modified Chitosan Membrane," *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, Volume 22, p. 100996, 2024.
- [8] H. M. Ye, et al., "Degradable Polyester/Urea Inclusion Complex Applied as a Facile and Environment-Friendly Strategy for Slow-Release Fertilizer: Performance and Mechanism," 2020.
- [9] T. D. S. Pereira, L. S. Fernandes, C. F. Souza, & R. Faez, "Biodegradable Enhanced Efficiency Fertilizer Based on Biopolymers/Zeolites Films, Assembly," *Agricultural Science & Technology*, 1(3), pp. 131-142, 2020, 2021.
- [10] B. Beig, et al., "Coating Materials for Slow Release of Nitrogen from Urea Fertilizer: A review," *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), pp. 1510-1533, 2020.
- [11] W. Yuan, et al., "Preparation and Properties of a Novel Biodegradable Composite Hydrogel Derived from Gelatin/Chitosan and Polylactic Acid as Slow-Release N Fertilizer," *Polymers*, 15(997), 2023.
- [12] D. Jahani, A. Nazari, J. Ghourbanpour, & A. Ameli, "Polyvinyl Alcohol/Calcium Carbonate Nanocomposites as Efficient and Cost-Effective Cationic Dye Adsorbents," *Polymers*, 12(10), p. 2179, 2020.
- [13] R. N., Annisa, R. A., Lusiana, Gunawan & H., Muhtar, "Optimization of Chitosan-Carboxymethyl Chitosan Membrane Modification with PVA to Increase Creatinine and Urea Permeation

- Efficiency," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 27(4), pp. 189-196, 2024.
- [14] P. T. Vo, et al., "The nitrogen slow-release fertilizer based on urea incorporating chitosan and poly(vinyl alcohol) blend," *Environmental Technology & Innovation*, Volume 22, p. 101528, 2021.
- [15] S. Chen, et al., "Preparation and Characterization of Slow-Release Fertilizer Encapsulated by Biochar-Based Waterborne Copolymers," *Science of the Total Environment*, Volume 615, pp. 431-437, 2018.
- [16] A. M. Nurratri, et al., "Pembuatan dan Karakterisasi Membran Paduan Kitosan-Polietilen Glikol 6000," *Open Journal Systems*, 14(9), pp. 3261-3269, 2020.
- [17] C. Sheng, Y. Zhou, X. Zhang, & G. Xue, "Mechanical, Thermal, and Swelling Properties of Cross-linked Hydrogels Based on Oxidized Cellulose Nanowhiskers and Chitosan/poly(vinyl alcohol) Blends," *Fibers and Polymers*, 19(10), pp. 2030-2038, 2018.
- [18] R. Wang, L. Shi, & C.Y., Tang, "Inorganic Fillers in Mixed Matrix Membranes for Gas Separation," *Journal of Applied Polymer Science*, 135(5), p. 46108, 2018.